

# 基于 FPGA 和模糊 PID 的纸材上料机控制系统设计

宋玉春, 丘志敏, 肖耘亚, 刘瑶

(韶关学院, 韶关 512005)

**摘要:** 采用 FPGA 芯片设计了纸材上料机直流调速控制系统, 提出了预设运行速度曲线实现惯性分离的控制策略, 设计了模糊 PID 双闭环算法, 缩短速度上升的时间并提高稳态精度, RS232 接口使系统可以多机协同工作, 并且通过判断算法解决了卡纸、重张问题。在 Quartus II 6.0 中设计了包括速度电流检测、模糊 PID 算法、调速给定和 RS232 的控制核心。试验表明, 系统动作准确、反应快速、性能稳定。

**关键词:** FPGA; 模糊 PID; RS232; 上料机

**中图分类号:** TB486; TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)05-0015-04

## Design of Paper Feeding Control System Based on FPGA and Fuzzy PID

SONG Yu-chun, QIU Zhi-min, XIAO Yun-ya, LIU Yao

(Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

**Abstract:** The DC motor speed control system of paper feeding machine was designed based on FPGA. A control strategy of inertia separation, which machine runs according to a predetermined speed curve, was put forward. The double closed-loop speed regulation algorithm of fuzzy PID was designed to reduce rising time and steady state error. The paper jam and overlapping problems was settled well with a judgment method. A RS232 interface was designed to form a multi-machine cooperation system. The control core, including speed and current detection, fuzzy-PID algorithm, speed setting and RS232, was designed by Quartus II 6.0. Tests results showed that the system has accurate operation, fast response and steady performance.

**Key words:** FPGA; fuzzy-PID; RS232; feeding machine

现代包装印刷技术日益向着高度机械化和自动化的方向发展<sup>[1]</sup>, 但包装印刷企业的纸材上料环节自动化程度还不高, 生产中还存在大量人工操作。难于实现自动上料主要有 2 个原因: 包装印刷产品多种多样, 纸材长度、宽度、厚度和材质差异很大, 单一机械很难适应多种物料, 整个工艺也就很难完全自动化; 重张和卡纸可能造成生产线停滞而且恢复时间长。笔者针对一种采用摩擦分离原理的纸材上料机, 设计了一套能够与机械紧密配合的控制系统, 实现了快速、准确、可靠地分离一叠纸材原料, 并且可组成多机系统。设计方案选择用 FPGA 芯片实现整个控制核心, 优点是: FPGA 的高集成度使其可以完成极其复杂的时序与组合逻辑电路功能<sup>[2]</sup>, 硬件电路实现算法

响应速度快, 利于提高控制性能, 软件设计硬件方法使系统移植性好、可升级, 功能仿真和实时仿真方便设计验证、缩短设计周期。

## 1 上料机工作原理

摩擦分离方式相对气体吸附方式可大大提高效率, 摩擦分离方法有 2 种: 一种是象打印机那样的上方出纸方式, 缺点是需要停机加纸; 另一种是下方出纸, 上方加纸, 加纸不影响正常运行, 可连续生产, 本设计选后者。为了适应不同尺寸的纸材, 料仓可 5 自由度调整: 侧板可以横向调整, 前后挡板可以前后移动, 前后挡板可以调整与水平面夹角, 底板可以上下

**收稿日期:** 2011-01-10

**基金项目:** 广东省省部产学研资助项目(0712226100099); 广东省高校自然科学基金重点资助项目(05Z020)

**作者简介:** 宋玉春(1973—), 男, 满族, 辽宁凌源人, 硕士生, 韶关学院讲师, 主要从事智能控制理论与应用、计算机控制技术、节能技术研究。

调整并可以改变与水平面夹角,以使纸张同摩擦皮带保持合适接触角度和接触面。为方便加纸,前挡板、后挡板设计成 5 cm 宽的条形结构。活动挡板调节螺钉固定在前挡板上,根据纸张的厚度和材料性质来调整出纸的间隙。主电机采用在工业上广泛应用的直流电机,它易于速度、位置控制且调速范围宽<sup>[3]</sup>。选用型号为 ZD97B,参数为: $p_n=100\text{ W}$ , $U_n=200\text{ V}$ , $n=1\ 800\text{ r/min}$ 。系统工作原理见图 1。

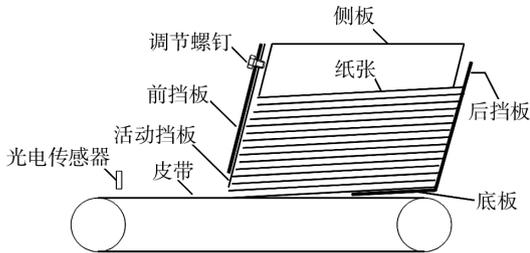


图 1 系统工作原理

Fig. 1 Working principle of the system

## 2 控制系统设计

### 2.1 设计方案

系统硬件见图 2,包括速度控制和速度给定两大

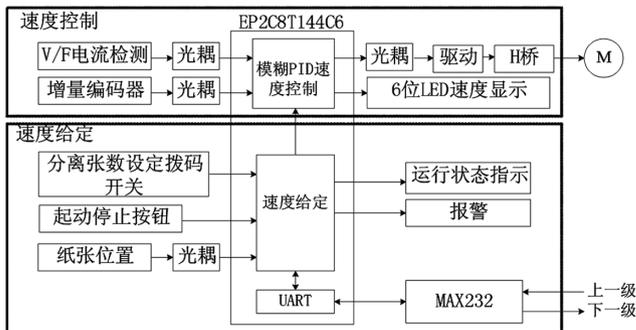


图 2 硬件组成

Fig. 2 Block diagram of hardware compositions

部分。FPGA 主要处理数字信号,所以上料机控制系统输入输出全部采用开关、脉冲信号。EP2C8T144C6 具有成本优化的架构,8 256 个 LE,18 个  $18 \times 18$  位乘法器,2 个增强型锁向环,77 个用户 I/O<sup>[4]</sup>。晶阵采用 50 MHz 有源晶阵,配置芯片采用可重复擦写的 EPCS4,容量 4 M bits。

#### 2.1.1 速度控制方案选择

采用脉宽调制(PWM)直流调速技术,它具有调

速精度高、响应速度快、调速范围宽和耗损低等特点<sup>[5]</sup>。为提高纸材分离效果,采用模糊 PID 双闭环速度控制算法对主电机速度按预定曲线精确控制,同时为便于监测,速度译码后在 6 位 LED 上显示。

#### 2.1.2 惯性分离控制策略

摩擦皮带的理想动作是快速启动、停止、快速启动、稳速、停止。这时料仓中纸材底层倒数第 2 张因惯性仍停留在原位,而最底一张被摩擦出,可有效避免 2 张一起或部分重叠出纸。一次启动连续分离张数由 8 位二进制拨码开关设定,当设定值为 0xFF 时连续运行。检测纸张数目和位置用反射式光电开关实现,作用是判断卡纸与重张错误,判断方法如下:当纸材未按预定时间到达说明有卡纸或其他故障;而对多张纸材重叠问题,到达光电开关前在叠张上层加少许摩擦力,然后检测到纸张长度异常即说明重张。故障报警由三极管 9013 驱动蜂鸣器实现,运行和停止状态由红、绿发光二极管指示。为实现多机协调运行,一次分离动作的启动和停止可由来自 RS232 的命令控制,启动命令来自上一级,完成后发出下一级启动命令。通信参数固定设为:波特率 9 600,8 位数据,无奇偶校验,1 位停止位。

### 2.2 模糊 PID 算法

模糊 PID 算法控制结构见图 3。根据速度给定、

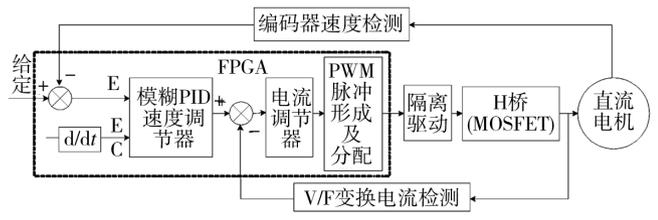


图 3 模糊 PID 算法控制结构

Fig. 3 Control structure diagram based on fuzzy PID algorithm

速度检测值,用模糊 PID 算法产生电流调节器给定,电流环进行调节后送到 PWM 脉冲形成和分配环节,形成触发信号,控制 H 桥的 MOSFET,使电机按预定速度曲线运行。

#### 2.2.1 模糊 PID 原理

转速调节器采用二维模糊 PID 算法,模糊控制技术不需要知道被控对象的数学模型,利用实际经验来确定控制规则,但是简单的模糊控制中由于没有积分环节,系统输出存在稳态误差,故将模糊控制和 PID 控制技术相结合进行转速环设计<sup>[6]</sup>。电流环可减小

系统响应时间,能够随转速的偏差调节电动机电枢的电流,使系统调节时间减小、响应快速。

控制系统中模糊 PID 速度调节器、电流调节器和 PWM 脉冲形成及分配电路,全部由 FPGA 芯片实现,整个控制系统结构紧凑,体积小。电流检测采用霍尔电流传感器 SCK7 把直流电机电枢电流变换为 0~4 V 电压,然后用 V/F 变换芯片 LM231 把模拟的电压转化成相应频率的脉冲信号;转速检测直接用旋转编码器产生脉冲信号;驱动电路包括隔离、放大和电荷泵电路;H 桥由 4 个工作在斩波状态的 N 沟道功率 MOSFET 组成,可方便地实现直流电机的四象限运行。

### 2.2.2 FPGA 实现模糊 PID 算法

FPGA 中实现模糊控制可用 2 种方法:一种是直接用硬件实现模糊算法,但设计复杂,硬件消耗大;另一种是采用 MATLAB 离线设计,得出模糊控制表,然后通过查表法实现模糊控制。这里采用后者。

模糊 PID 算法原理见图 4。误差绝对值大于 20

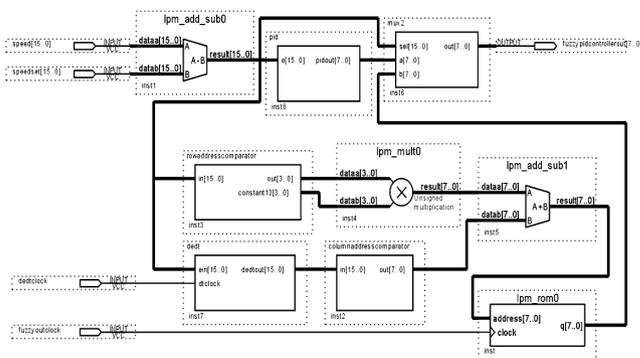


图 4 模糊 PID 原理

Fig. 4 Schematic diagram of fuzzy PID

r/min 采用模糊算法,否则采用 PID 算法,两者的切换由 2 路选择器 mux2 控制。

模糊控制表存储在定制的 ROM 模块 lpm\_rom0 中,ROM 对应的数据文件为 fuzzydata. mif,控制表中的数据按行展开输入到 fuzzydata. mif 中,共  $13 \times 13 = 169$  个数据。当前速度由端口 speed 输入,速度设定数据由端口 speedset 输入,由 lpm\_add\_sub0 模块计算出误差信号,一路输入到行地址形成比较器 rowaddresscomparator 中进行量化成误差论域里的元素,一路输入到 dedt 单元中计算误差变化,再由列地址形成比较器 columnaddresscomparator 形成列地址,最后由 lpm\_add\_sub1 计算出当前状态在 lpm\_rom0 对应的地址,由 lpm\_rom0 输出模糊控制数据。其中 dedtclock 为 dedt 模块的采样时钟, fuzzyoutclock 为 lpm\_rom0 的控制时钟。

### 2.2.3 功能仿真

功能仿真又称前仿真,其目的是检查 HDL 代码所描述的逻辑功能是否和预期的功能一致<sup>[7]</sup>。全部模块已在 Quartus II 中仿真通过,这里给出最主要的模糊 PID 算法模块仿真波形。仿真时间 100 ms,仿真波形图见图 5,可知,速度设定值 500 r/min,当实际速度为 350 r/min 和 450 r/min 时,执行模糊算法,模块输出值为 95,19,0,19;当实际速度为 485 r/min 时执行 PID 算法,模块输出值为 6。结果表明,模糊 PID 算法模块功能正确。

### 2.3 电流检测和电流环

霍尔电流传感器 SCK7-10 A 额定输入电压 10 A,额定输出电压 4 V,线性度  $\leq 1\%FS$ ,响应时间  $< 5 \mu s$ 。V/F 变换芯片 LM231 输入电压 0~10 V,额定输出频率 10 kHz,增益 1.00 kHz/V,DIP8 封装,接口简单。FPGA 电流检测输入端频率范围 0~4 kHz,对应电流 0~10 A。

电流环采用 PID 模块,参数 D 设为 0,P 和 I 采用工程整定方法,其传递函数为:

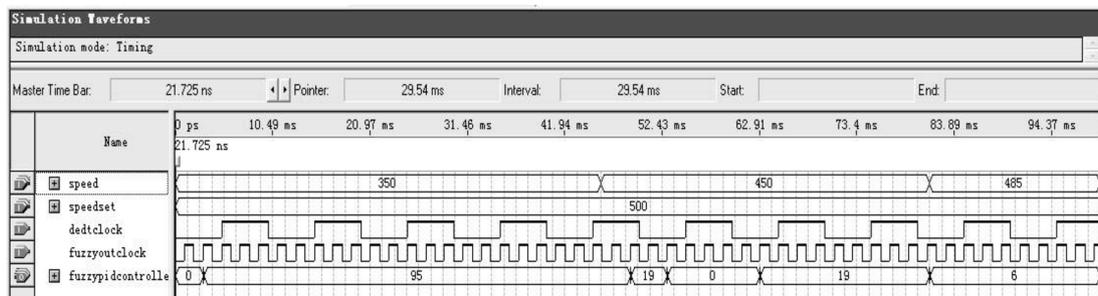


图 5 模糊 PID 算法模块仿真波形

Fig. 5 Simulation waveform of the fuzzy PID module

$$W_{ACR} = \frac{K_i(\tau_i s + 1)}{\tau_i s} \quad (1)$$

式中:  $K_i$  为电流调节器的比例系数;  $\tau_i$  为电流调节器的超前时间常数。比例系数  $K_i$  根据所需要的动态性能指标选取,  $\tau_i$  取被控对象的大时间常数, 以使调节器零点与控制对象的大时间常数极点对消<sup>[8]</sup>。

### 3 测试结果

控制系统设计是针对某包装印刷企业的上料涂胶工艺: 印刷品的每一页都印刷好并分别整理成一叠, 用上料机按次序在每一叠中分离出一张送到输送带上, 在输送带的末端叠加在一起, 成为按页码排列的毛坯。上料机数量与页数相等, 各上料机由 RS232 接口连接, 组成串联系统, 当一个上料机完成一页输送任务后, 给下一个上料机发送信息, 协调整个系统, 使输送带上各页依次排列并控制页与页之间的距离。

对上料机作如下测试: 纸材规格 260 mm × 187 mm × 0.2 mm; 把主电机速度值通过串口传送到上位机, 并图形显示。分离 1 页的速度曲线见图 6, 0~900

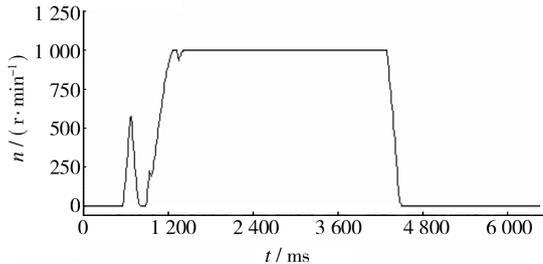


图 6 分离一页纸的速度曲线

Fig. 6 Velocity curve of separating a page of paper

ms 是第 1 个启动停止过程, 短的速度上升时间使最底一张纸材快速移出约 2 cm, 而它的上面一张因惯性不动, 这样即使纸张厚度小于 0.3 mm, 且活动挡板调节并不是很精确, 也有很好的分离效果。900~4500 ms 是第 2 个启动停止过程, 启动时仍有上述作用, 而中间速度平稳时运送纸材到输送带上。

速度稳定时, 在模糊 PID 算法作用下主电机运行速度基本不变, 前后级配合时冗余时间就不必设定太多, 提高系统运行效率; 上升沿很陡, 使纸张分离效果更好, 降低了对挡板缝隙准确度的要求, 系统维修调试更方便, 同时系统反应快速, 运行周期减小。

### 4 结论

采用 FPGA 芯片实现了上料机速度检测、模糊 PID 算法、RS232 通信和速度设定的复杂数字逻辑。运行速度曲线接近分离纸材的理想控制曲线: 快速启动、停止, 然后再快速启动、稳速、停止, 具有很好的分离效果, 保障了上料机纸材适应性等性能目标的实现, 试验证明惯性分离策略是非常有效的。系统同时具有下述优点: 卡纸、重张检测装置与判断算法增强了系统的故障处理能力; RS232 通信模块方便组成联机系统; 电流环保证了动态特性——用允许的最大电流快速启动, 在转速调节过程中, 快速得到需要的电流, 减小调节时间, 提高了生产效率。

### 参考文献:

- [1] 孙虎儿. 小杂粮自动定量包装自动控制系统的设计[J]. 包装工程, 2008, 29(12): 81-82.
- [2] 李相平, 张刚, 李亚昆, 等. FPGA 在相控阵波束控制器中的应用[J]. 电子工程师, 2008, 34(1): 1-3.
- [3] KARA T, EKER I. Nonlinear Closed-loop Direct Identification of a DC Motor with Load for Low Speed Two-directional Operation[J]. Electrical Engineering, 2004, 86(2): 87-96.
- [4] Altera Corporation. Cyclone II Device Handbook[K]. Data Sheet, 2006.
- [5] 黄楚芳, 陈鸿. 基于 FPGA 直流电机调速器的实现[J]. 电子测试, 2009(2): 65-68.
- [6] 陈梅, 杨琳琳, 李鑫, 等. 直流调速系统的模糊/PID 速度控制器设计[J]. 电气传动自动化, 2008, 30(2): 31-33.
- [7] 王冠, 俞一鸣. 面向 CPLD/FPGA 的 Verilog 设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [8] 游志宇, 杜杨, 张洪, 等. 基于场效应管的直流电机驱动控制电路设计[J]. 国外电子元器件, 2008(2): 3-6.