

# 数码印花机承印物运动控制系统仿真研究

马天凤 楚建安 林杰

(西安工程大学电子信息学院 西安 710048)

**摘要:**承印物输送是数码喷墨印花机的主要组成部分,为了提高数码喷墨印花机的稳定运行,对承印物运动控制系统进行 MATLAB/Simulink 仿真。首先阐述了印花机承印物运动控制系统的基本原理,对伺服电机和步进电机的特点做出了对比分析;然后介绍了永磁同步电机伺服控制原理;最后对数码喷墨印花承印物运动控制系统进行了建模并对永磁同步电机驱动采用 SVPWM 控制系统运行进行了仿真分析,从而实现了承印物运动系统速度响应快、转速、转矩控制性能好。实验结果表明,该方法在一定程度上提高了数码喷墨印花承印物运动伺服系统印花的精度和稳定性。

**关键词:**数码喷墨印花机;永磁同步电机;MATLAB/Simulink;SVPWM

**中图分类号:** TS853+5 TN01 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 540.5020

## Simulation research on motion control system of digital printing machine

Ma Tianfeng Chu Jian'an Lin Jie

(Electronic Information Institute, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The transportation of the substrate is the main component of the digital ink jet printing machine. In order to improve the stable operation of the digital ink jet printing machine, the MATLAB / Simulink simulation of the motion control system of the substrate is carried out. Firstly, the basic principle of the motion control system of the printer is described, and the characteristics of the servo motor and the stepper motor are compared and analyzed. Then the servo control principle of the permanent magnet synchronous motor is introduced. Finally, the motion control of the digital inkjet printing substrate The system is modeled and the simulation of SVPWM control system is carried out on the permanent magnet synchronous motor drive, which realizes the fast response speed, speed and torque control performance of the substrate movement system. The experimental results show that the method improves the accuracy and stability of the printing system of digital inkjet printing system to a certain extent.

**Keywords:** digital inkjetprinting machine; permanent magnet synchronous motor; MATLAB/Simulink; SVPWM

### 1 引言

数码喷墨印花机在印花的过程中承印物运动的位移是否精确会影响喷印图案的衔接效果,如果承印物运动控制系统不稳定运行,就会导致印花出现“错花”、“乱花”,严重影响了数码喷墨印花产品的产量和质量。因此提高系统的稳定性非常重要。传统都是利用步进电机来控制的,无法保证数码印花机的生产要求。随着机电技术的快速发展,使得伺服电机控制成为优势<sup>[1]</sup>。本文基于 SVPWM 控制理论,通过在 MATLAB/Simulink 中组合模块建立 SVPWM 仿真模型并得出结论。从而实现永磁同步电机控制数码印花机印花精度高、过载能力强,进一步提高了

承印物运动系统的平稳性。

### 2 承印物运动电机的基本原理

数码喷墨印花机主要分为放卷单元、承印物的输送单元、喷墨打印单元、倒带水洗单元、烘房单元、成品收卷单元,如图 1 所示。

承印物依附于导带,承印物运动电机用来驱动承印物作纵向移动。目前很多数码印花设备仍采用步进电机作为驱动承印物的运动,步进电机是一种无反馈检测的脉冲操作电机系统,不叠加误差,结构简单,价格更便宜,而伺服电机按反馈信号进行控制,伺服电机用于数码喷墨印花承印物运动控制优于步进电机主要体现在以下 5 个方面。

收稿日期:2017-04

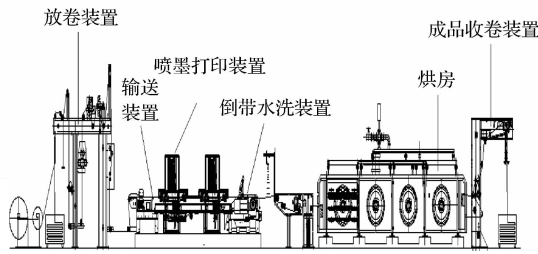


图1 数码喷墨印花机整机工艺流程

1)低频特性好。步进电机在低速运转时会发生低频振动,而伺服电机运行非常平稳;2)步进电动机与驱动控制器组成开环控制系统,而伺服电机则与驱动控制器组成闭环控制,对数码喷墨印花承印物运动的移动量具有检测与反馈修正功能;3)控制精度高。伺服电机轴后端的旋转编码器保证控制精度;4)过载能力强。步进电机的过载能力远不如伺服电机;5)速度响应快。步进电机从静止加速到额定转速需要200~400 ms,有的伺服电机从静止到工作转速的加速时间一般只需几毫秒<sup>[2]</sup>。

根据永磁同步电机具有结构简单,无需维护,具有精度高、更容易控制、现场适应能力强等诸多优势,研究用永磁同步电机驱动承印物运动系统,使承印物的位置精度大大提高,保证数码喷墨印花的稳定运行。

伺服电机依照指令信号进行位置、速度或转矩跟随的电机,一般采用永磁同步电机,伺服电机必须有伺服放大器才能旋转,为了达到伺服的目的,电机输出轴同轴装上编码器<sup>[3]</sup>,伺服电机的结构如图2所示,电机与编码器为同步旋转,电机旋转一圈编码器也旋转一圈,同时编码器将信号反馈给伺服放大器,伺服放大器根据反馈信息判断伺服电机转向、转速和位置是否正确,据此调节伺服放大器输出电压频率及电流大小<sup>[4]</sup>。

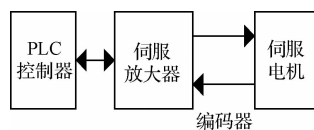


图2 伺服电机的结构

### 3 永磁同步电机伺服控制的原理

承印物运动伺服系统的导带运动装置每次喷印时承印物必须满足移动指定同等距离,而且要求整个喷印过程中静误差要小和动态误差在喷印质量允许的范围内。其中导带运动装置包括伺服电机、减速机、传动辊,如图3所示,其工作原理是由伺服电机连接减速机通过联轴器带动前传动辊转动,然后传动辊带动导带运行。永磁同步电机驱动采用基于电压空间矢量PWM(SVPWM)控制的电流、速度、位置三环控制算法的伺服放大器,配合编码器采集的信号,实现了喷印承印物伺服系统性能的提高<sup>[5-8]</sup>。电压空间矢量方法就是将逆变器和

永磁同步电机视为一体,按照跟踪圆形旋转磁场来控制逆变器的工作,使永磁同步电机输入三相正弦电压、电流。

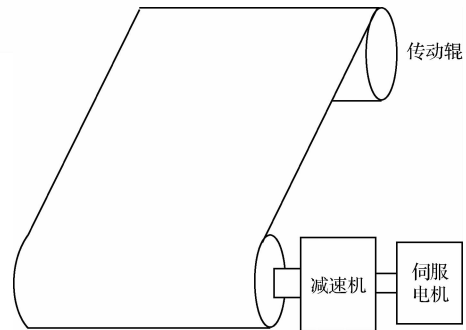


图3 导带运动示意图

在永磁同步电机调速控制中,采用电流矢量控制法 $i_d=0$ ,这种方法是通过坐标变换将电机定子电流分解成两个互相垂直的直流电流<sup>[9-10]</sup>,二者可独立调节,实现控制系统更为简单,转矩控制稳定,电机可达到较好的调速效果。永磁同步电机伺服控制原理如图4所示,其中位置环采用PID控制器,电流环和速度环均用PI控制器。

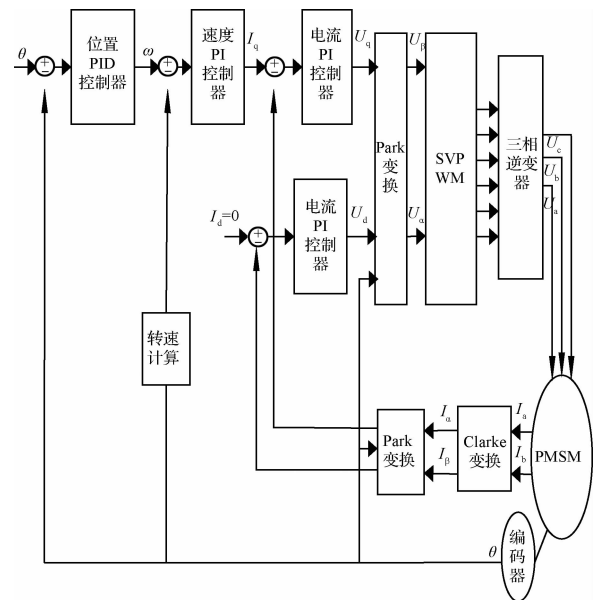


图4 永磁同步电机伺服控制原理

承印物运动的控制精度取决于所选电机后端的编码器的分辨率,即伺服电机接收到一个脉冲时电机轴所转动的角度 $\theta$ <sup>[11-14]</sup>。假设伺服电机编码器的分辨率为3600脉冲/转,在编码器输入信号之后,若要进行 $n$ 倍频细分处理,则伺服电机的控制精度为:

$$\theta = \frac{360^\circ}{3600 \times n} \quad (1)$$

通过控制传动辊的圆周运动,带动承印物在纵向发生不同距离的位移,承印物的运动属于低速运动,在电机带

动传动辊做圆周运动时需要做减速运动,则控制精度可表示为:

$$\theta_d = \frac{\theta}{i} \quad (2)$$

式中:  $i$  为减速比,  $\theta$  为伺服电机的控制精度。

在控制承印物步进距离时,可以通过每个脉冲对应导带的移动距离,即脉冲当量  $P$ ,其单位为 mm/脉冲,可以表示为:

$$P = \frac{\theta_d}{180^\circ} \pi R \quad (3)$$

式中:  $R$  为传动辊的半径。

脉冲当量的选取应根据数码印花机的工作精度来选取,考虑机械系统和控制精度的误差,其选值应小于期望的工作精度。根据上述不同喷印精度时承印物的步进距离不同,导带步进指定距离所需的脉冲数为:

$$Q = \frac{S}{P} \quad (4)$$

式中:  $S$  为承印物指定位移距离。

#### 4 承印物运动仿真实验

##### 4.1 伺服电机矢量控制模型

为了验证伺服系统能够达到控制要求,对导带伺服系统进行仿真,其中电压脉宽调制技术采用具有明显优点的 SVPWM 技术,在常规的 PWM 变压变频调速系统中,由 3 组 6 个桥臂功率开关组成的逆变器共有 8 种不同的工作状态,其中有效工作状态为 6 种,在  $\alpha$ 、 $\beta$  坐标系下 8 个基本电压空间矢量如图 5 所示<sup>[15]</sup>。

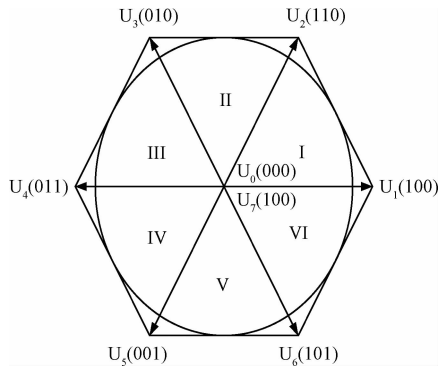


图 5 基本电压空间矢量图

实现该调制技术的仿真主要需要以下 4 个模块:

- 1) 扇区判断模块,如图 6 所示;
- 2) 矢量作用时间模块,如图 7 所示;
- 3) 电压矢量切换点模块,如图 8 所示;
- 4) PWM 波生成模块,如图 9 所示。

##### 4.2 仿真与分析

基于上述 SVPWM 控制理论,通过组合以上各模块完成 SVPWM 模块的仿真模型<sup>[16]</sup>,如图 10 所示。根据 MATLAB/Simulink 自带模块建立了 PID 控制策略建立

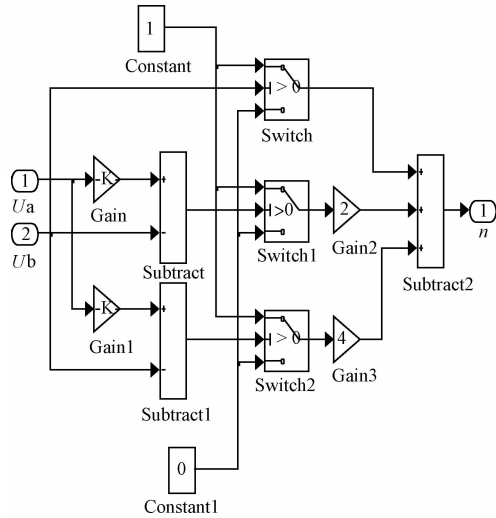


图 6 扇区判断模块

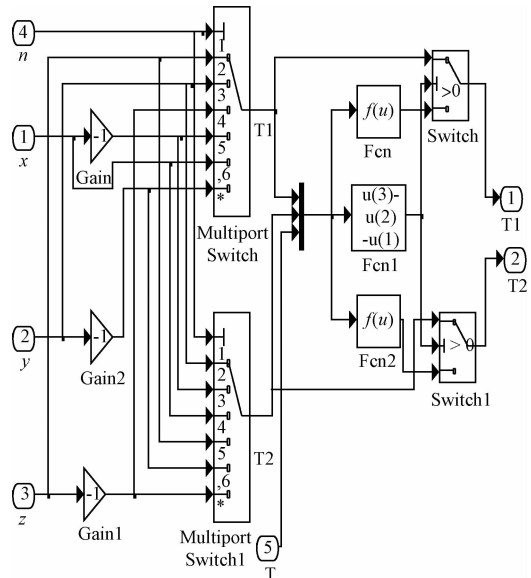


图 7 矢量作用时间模块

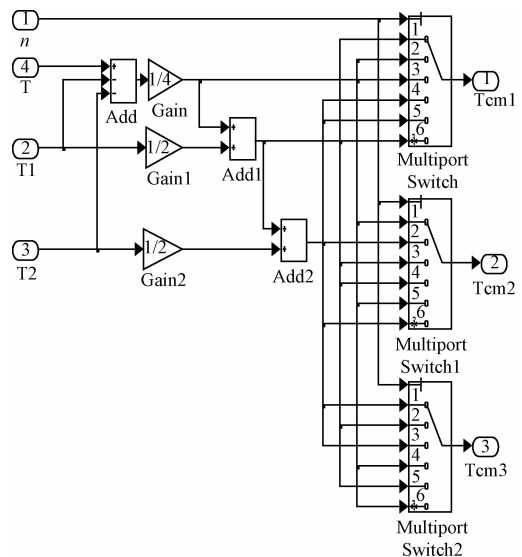


图 8 电压矢量切换点模块

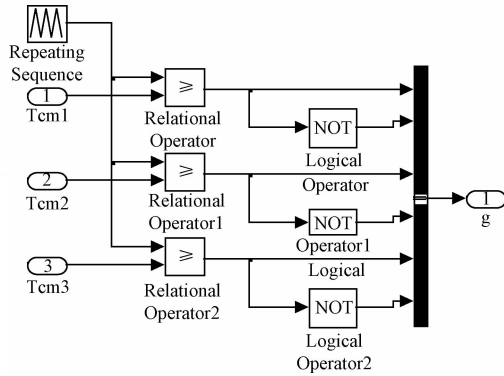


图9 PWM波生成模块

三闭环控制系统如图 11 所示,从内到外依次为电流 PI 控制器、速度 PI 控制器和位置 PID 控制器。

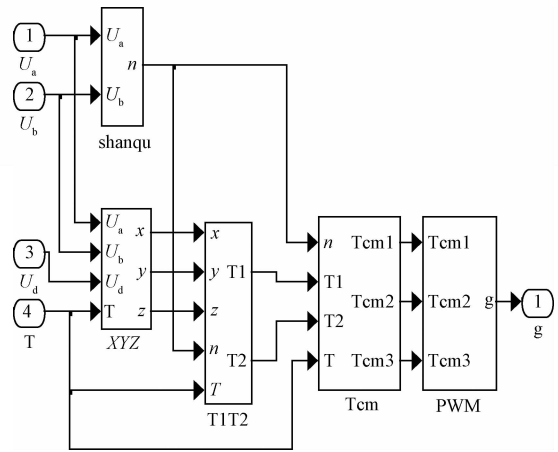


图10 SVPWM仿真模型

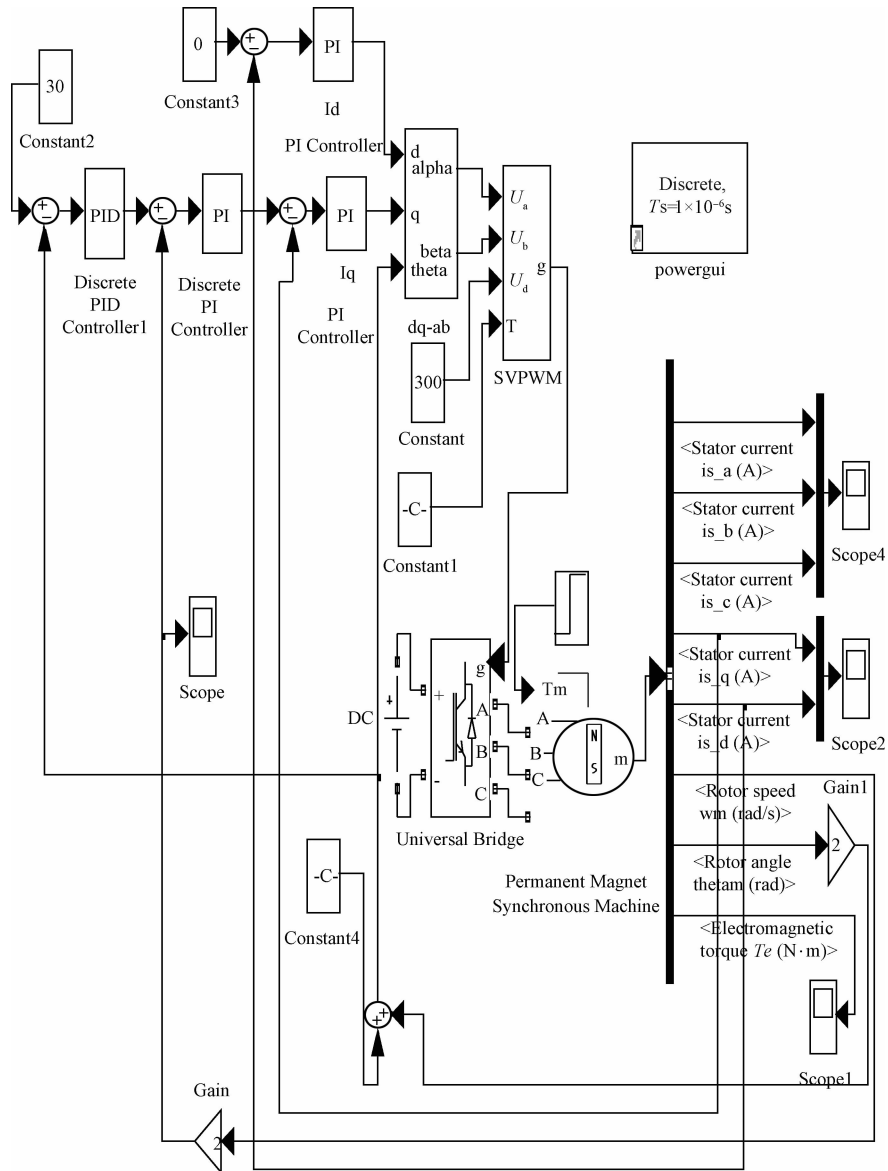


图11 承印物运动伺服系统 SVPWM 仿真模型

本仿真系统中,在0.1 s施加一个负载扰动,此时负载力矩为10 N·m,图12(a)~(d)为承印物运动伺服系统仿真结果<sup>[17]</sup>。在设给指定位置30 rad后可以看出位置伺服系统响应速度较快,在0.3 s时就可以达到指定位置;电流和转速也能有较快响应给定信号,当负载转矩在0.1 s阶跃后,转速曲线出现短暂波动,然后迅速恢复稳定。

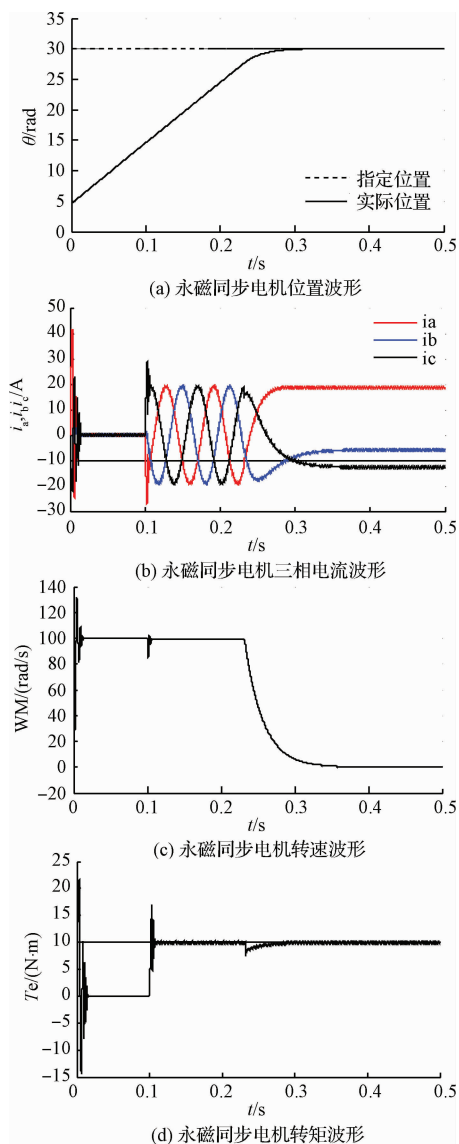


图12 承印物运动伺服系统仿真结果

## 5 结论

根据永磁同步电动机的数学模型,提出了数码喷墨印花承印物运动控制位置、电流、转速和转矩的闭环控制方案。利用MATLAB/Simulink建立了永磁同步电动机控制系统的仿真模型,对系统整体模型进行了仿真,验证了该系统具有启动快、过载能力强和调速特性好等特点,为永磁同步电动机控制系统设计与实现提供有效方法,在实现永磁同步电动机高精度的控制数码喷墨印花承印物的运动方面具有实际意义。

## 参考文献

- [1] 刘雄平. 伺服电机控制技术的应用与发展[J]. 时代农机, 2015, 11(6): 14-15.
- [2] 张锐, 白连平. 永磁交流伺服电机控制系统的研究[J]. 电气技术, 2011, 27(3): 6-9.
- [3] 熊小丽. 印刷系统伺服电机定位控制器的研究与设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
- [4] 李兵. 数控系统伺服电机控制浅析[J]. 中国科技纵横, 2010, 19(4): 23-25.
- [5] 赵晓春. 基于DSP的永磁同步电动机矢量控制及弱磁调速的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2014.
- [6] 赵凯辉, 陈特放, 张昌凡, 等. IPMSM非奇异快速终端滑模无速度传感器转矩控制[J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(2): 294-303.
- [7] 李红梅, 陈涛. 永磁同步电机参数辨识研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(5): 638-647.
- [8] 赵涛, 张永浩. 基于SVPWM的PMSM矢量控制伺服系统研究[J]. 制造业自动化, 2011, 33(7): 18-21.
- [9] 王桂荣, 李太峰. 基于SVPWM的PMSM矢量控制系统的建模与仿真[J]. 大电机技术, 2012, 31(2): 9-12.
- [10] 李玉东, 易庚, 李凯存. 基于dSPACE的永磁同步电机低速无位置传感器控制系统[J]. 电子测量技术, 2016, 39(12): 21-26.
- [11] 刘蒲瑞. 基于DSP宽幅高性价比喷墨绘图仪设计与实现[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [12] 陈瑞寿, 项安, 刘青松, 等. 基于SVPWM控制的永磁同步电机伺服系统设计与仿真[J]. 机电一体化, 2013, 19(1): 65-70.
- [13] 熊微洁, 胡伊菁, 邓惊雷. 基于SVPWM的永磁同步电机闭环控制伺服系统的研究与实现[J]. 电脑知识与科技, 2016, 12(1): 253-255.
- [14] 刘洋, 王帅, 杨晓霞, 等. 一种永磁同步电动机的宽调速范围控制方法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(4): 51-54.
- [15] 田玉周. 基于以太网网印花机传动系统[D]. 西安: 西安工程大学, 2013.
- [16] 王春民, 嵇艳鞠, 栾卉, 等. MATLAB/SIMULINK永磁同步电机矢量控制系统仿真[J]. 吉林大学学报信息科学版, 2009, 27(1): 17-22.
- [17] 贺应和. 数控系统伺服电机控制浅析[J]. 硅谷, 2008(16): 143-143.

## 作者简介

马天凤, 1990年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为新型数码圆网印花机运动控制。

E-mail: 623029165@qq.com

楚建安, 1962年出生, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向为纺织印染。