

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2022.04.010

基于专家 PID 的电镀行车速度控制系统

陈文科^{1*}, 张瑞康², 刘 强²

(1. 长沙民政职业技术学院 电子信息工程学院, 湖南 长沙 410004;

2. 中南大学 机电工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 行车在电镀生产线中承担产品起吊及运转工作, 其运行速度稳定性、精确性直接影响电镀生产效率。传统 PID 算法对大滞后、多扰动且难以建立数学模型的电镀行车自动化系统速度控制效果不佳。本文提出一种基于专家 PID 的电镀行车速度控制系统。该系统以可编程逻辑控制器为控制核心, 根据电镀行车运行要求及工程专家的经验, 建立专家控制器规则库, 实现 PID 参数的优化修整, 以确保行车运行速度符合工艺要求。实验结果表明: 与传统 PID 相比, 专家 PID 控制效果在超调量、响应速度、稳定性方面具有优势。

关键词: 可编程逻辑控制器; 电镀行车; 专家 PID; 控制系统

中图分类号: TP273

文献标识码: B

Speed Control System of Electroplating Traveling Crane Based on Expert PID

CHEN Wenke^{1*}, ZHANG Ruikang², LIU Qiang²

(1. College of Electronic and Information Engineering, Changsha Social Work College, Changsha 410004, China; 2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The crane is responsible for lifting and running products in the electroplating production line. The stability and accuracy of its running speed directly affect the efficiency of electroplating production. The traditional PID algorithm has a poor speed control effect on the electroplating drive automation system with large lag, multiple disturbances and difficult to establish a mathematical model. This paper proposed an electroplating drive speed control system based on expert PID. The system used PLC as the control core, and an expert controller rule base was established to optimize PID parameters according to the electroplating drive requirements and engineering experts' experience, it ensured that the driving speed meets the process requirements. Experimental results show that expert PID control has advantages in overshoot, response speed, and stability compared with traditional PID.

Keywords: PLC; electroplating traveling crane; expert PID; control system

在电镀自动化生产线中, 采用行车进行电镀产品的起吊及运转, 其运行稳定性和精确性直接影响电镀生产效率^[1]。电镀行车多采用三相交流电机驱

动, 由于其在运行过程中启停频繁, 且要求速度可调, 多采用变频器调节行车运行速度。但在该类行车速度控制方案中, 一般采用传统 PID 算法进行控

收稿日期: 2020-04-20

修回日期: 2020-05-27

*通信作者: 陈文科(1986—), 男, 硕士研究生, 工程师、讲师, email: cwk861211@163.com

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目(18C1804)

制,存在抗干扰能力不强、控制精度低等不足^[2]。基于此,本文设计了一种基于专家PID的电镀行车速度控制系统,通过光电编码器检测行车速度,采用西门子 S7-200 Smart PLC 实施专家 PID 算法,以确保行车运行速度符合工艺要求。

1 控制系统总体结构

电镀生产过程中,待镀工件通常放置在吊篮中,通过行车转运至不同工位,完成不同工艺处理。如图 1 所示,某电镀生产线中,待镀工件从上料工位放置在吊篮后,通过行车依次运送至前处理等多个工位。



图1 电镀行车平面示意图

Fig.1 Schematic diagram of electroplate crane

为准确实现行车定位及稳定运行,以 PLC 为控制系统硬件核心,设计了如图 2 所示控制系统。该系统采用 RS485 总线+Profinet 总线的双总线结构,通过 RS485 总线采集升降电机和平移电机运动位置及运行速度,通过 Profinet 总线实现升降电机和平移电机的变频驱动控制,通过编写 PLC 程序,采用专家 PID 控制算法,实现行车速度的闭环控制。

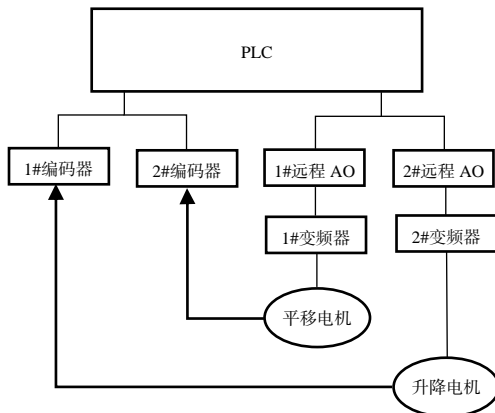


图2 控制系统结构框图

Fig.2 Block diagram of control system

2 行车速度专家 PID 控制算法

针对传统 PID 算法对大滞后、多扰动且难以建立数学模型的电镀行车自动化系统速度控制效果不

佳,结合专家控制方法与 PID 控制策略,本文提出图 3 所示的行车速度专家 PID 控制算法^[3]。

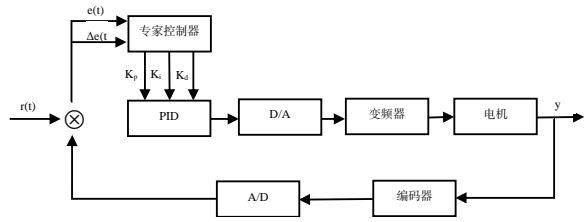


图3 行车速度专家 PID 控制算法

Fig.3 Driving speed expert PID control algorithm

专家 PID 由专家控制器和 PID 控制器有机结合而成,专家控制器负责根据速度偏差 $e(t)$ 和速度偏差变化率 $\Delta e(t)$,按照专家经验设计的专家控制规则优化调整 PID 参数 K_p 、 K_i 、 K_d ,以满足系统的工艺要求。专家控制规则采用“IF-THEN”形式设计,具体如下:

(1) IF $|e(t)| \geq \max$

THEN $K_p(k) = \lambda_1 * K_p(k-1)$ AND $K_i = 0$ AND $K_d(k) = \lambda_2 * K_d(k-1)$

该规则用以提高系统快速响应性,且防止出现超调。

(2) IF $|e(t)| < \min$

THEN $K_p(k) = K_p(k-1)$ AND $K_i = K_i(k-1)$ AND $K_d(k) = K_d(k-1)$

该规则用以防止系统出现超调及振荡。

(3) IF $\min \leq |e(t)| < \max$ AND $e(t) \times \Delta e(t) = 0$

THEN $K_p(k) = \lambda_3 * K_p(k-1)$ AND $K_i = \lambda_4 * K_i(k-1)$ AND $K_d(k) = \lambda_5 * K_d(k-1)$

该规则用以降低系统响应速度,减少超调,防止振荡。

(4) IF $\min \leq |e(t)| < \max$ AND $e(t) \times \Delta e(t) < 0$

THEN $K_p(k) = \lambda_6 * K_p(k-1)$ AND $K_i = 0$ AND $K_d(k) = \lambda_7 * K_d(k-1)$

该规则用以减少控制量,确保系统不出现超调。

(5) IF $\min \leq |e(t)| < \max$ AND $e(t) \times \Delta e(t) > 0$

THEN $K_p(k) = \lambda_8 * K_p(k-1)$ AND $K_i = \lambda_9 * K_i(k-1)$ AND $K_d(k) = K_d(k-1)$

该规则用以减少控制量,且防止出现超调。

其中 λ_1 – λ_9 为加权系数, λ_1 、 λ_8 的取值范围为 $(0, 1)$,其他参数取值范围为 $(1, \infty)$ 。 \min 、 \max 表示偏差极限值。

3 控制系统实现

3.1 硬件实现

电镀行车控制电路包括 PLC、变频器远程控制模块和行车速度检测模块。PLC 与变频器采用 Profinet 总线通信, PLC 与行车速度检测模块采用 RS485 总线通信。基于对 PLC 通信接口、IO 资源及性价比的考虑, 选用 PLC 为 S7-200 smart 系列 CPU SR40, 其控制电路如图 4 所示。

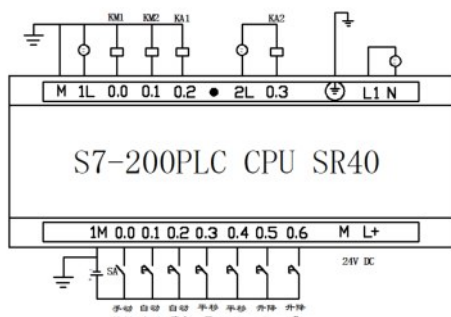


图 4 PLC 控制电路

Fig.4 PLC control circuit

图 5 为变频器远程控制模块。其中, Profinet 远程模拟量输出模块由华泰 Profinet 适配器 FR8210 和远程模拟量输出模块 FR4004 构成, 输出两路 0~10 V 用于行车电机变频器 D700 的频率给定, 实现电机的可逆变频调速控制。

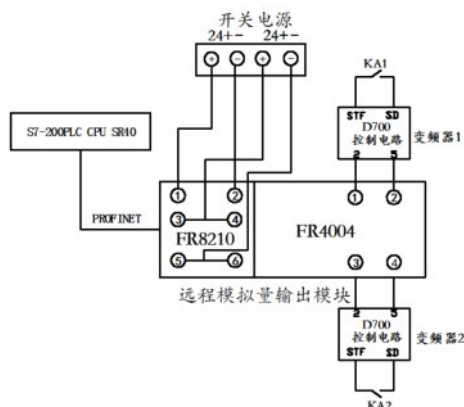


图 5 变频器远程控制模块

Fig.5 Inverter remote control module

为了检测行车电机运行位置和运行速度, 采用电机同轴安装多圈绝对值编码器 GEX60 进行测量, 检测数据通过 RS485 总线反馈至 PLC, 为电机闭环调速提供转速反馈, 其电路如图 6 所示。

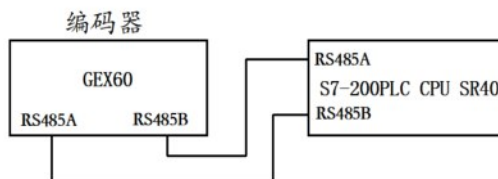


图 6 速度检测电路

Fig.6 Speed detection circuit

3.2 软件实现

根据电镀作业要求, 行车既需要能手动操作, 又要能实现自动运行。手动操纵行车时, 为开环控制转速; 自动控制时, 采用专家 PID 控制算法调节转速, 其控制程序流程如图 7 所示。在自动控制模式下, 电镀生产线行车速度控制系统通过 PLC 的 RS485 总线接口采集行车电机的转速信息, 并将其转换为数字量, 同时计算转速偏差及偏差变化率, 根据偏差及偏差变化率选择不同的 PID 参数, 实现对行车电机的专家 PID 控制^[4-6]。

根据前文所述专家控制规则, 具体对应应有五种 PID 控制参数的计算规则, PLC 控制器根据偏差及偏差变化率对控制参数 K_p 、 K_i 及 K_d 进行计算, 选择不同的 PID 参数对转速进行调节。

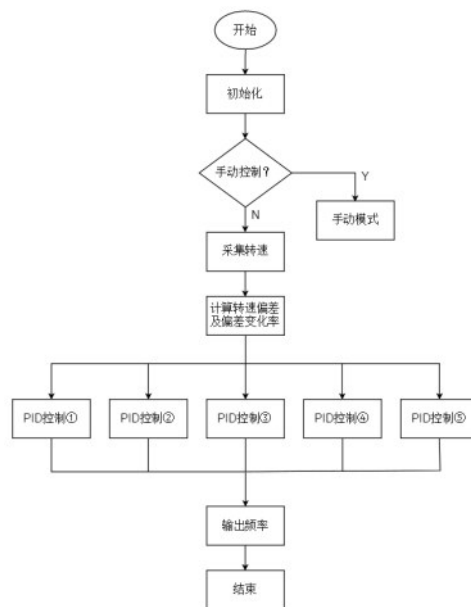


图 7 主程序流程图

Fig.7 Main program flow chart

4 实验结果

为了对比基于专家PID算法和传统PID算法的电镀行车速度控制效果,在硬件中分别载入基于专家PID和传统PID的PLC控制程序,并通过上位机对行车速度波形进行记录^[7]。图8为基于传统PID算法的行车速度响应曲线,图9为基于专家PID算法的行车运行速度响应曲线。

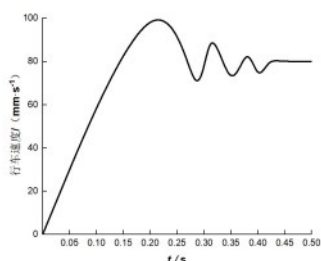


图8 基于传统PID算法的行车速度响应曲线

Fig.8 Driving speed response curve based on traditional PID algorithm

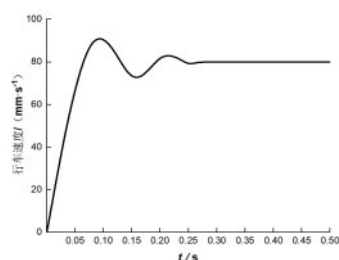


图9 基于专家PID算法的行车运行速度响应曲线

Fig.9 Driving speed response curve based on expert PID algorithm

采用传统PID控制算法时,速度响应较慢,速度上下波动大,速度控制稳定时间较长,不利于行车稳定运行;采用专家PID控制算法时,速度响应速度较

快,速度上下波动较小,速度稳定时间较短。对比两图可知,与传统PID行车速度控制相比,专家PID行车速度控制具有更快的响应速度、更小的超调量、更少的振荡次数,能较快达到稳态,具有较优的控制效果。

5 结语

由于传统PID控制算法在具有明显时变性、滞后性且难以建立数学模型的电镀行车自动化系统中控制效果不理想,设计了以PLC为硬件核心的专家PID电镀生产线行车速度控制系统,实现了电镀行车速度的精准控制。专家PID根据速度偏差及偏差变化率,依据专家经验建立的PID参数优化规则实时调整PID参数,提高了行车速度的响应速度,减少了超调量,具有较强的稳定性,满足电镀自动化生产线对行车的速度控制要求。

参考文献

- [1] 杨文刚. 电镀生产工艺参数的可编程逻辑控制系统设计[J]. 电镀与精饰, 2017(2): 30-34.
- [2] 陶志刚. 基于PLC的镀锌生产线自动控制系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.
- [3] 李兴莹. 基于PLC的生产-教学两用型柔性电镀行车控制系统的设计[J]. 电镀与环保, 2017, 37(4): 62-64.
- [4] 陶永华. 新型PID控制及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [5] 王建平, 赵婵娟. 基于PLC的专家PID控制算法在精密压药液压机控制系统中的应用[J]. 化工自动化及仪表, 2016, 43(6): 579-583.
- [6] 史敬灼, 刘玉. 超声电机简单专家PID速度控制[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 120-125.
- [7] 陈文科, 刘强, 欧阳实. 基于模糊PID的镀液温度智能控制系统[J]. 电镀与精饰, 2019(10): 28-32.