

基于 PLC 模糊自适应 PID 门座式起重机变频调速系统的设计与实现

张建荣, 郭金妹

(江西应用技术职业学院 电子信息工程系, 江西 赣州 341000)

摘要: 为了进一步提高门座式起重机控制系统的平稳性和可靠性, 在研究传统的起重机控制系统的基础上, 设计了基于 PLC 模糊自适应 PID 的起重机变频调速系统, 利用先进的模糊自适应 PID 算法与 PLC 控制技术相结合实现智能变频控制。系统直接由 PLC 实现函数运算取代常规的查表方式, 改善调速性能, 实现了变频调速系统的快速控制; 同时, 通过 PLC 对起重机变频器进行无触点控制, 有效提高了的准确可靠性。仿真结果表明: 加入模糊自适应 PID 控制的起重机变频调速系统比传统系统响应速度快, 超调量低于 3%, 更加平稳可靠; 同时降低了起重机功耗, 节能近 20%, 并有效延长了电动机的使用寿命。

关键词: 门座式起重机; PLC; 模糊自适应 PID; 变频调速系统

Design and Implementation of Portal Crane Frequency Control System Based on PLC Fuzzy Adaptive PID

Zhang Jianrong, Guo Jinmei

(School of Electronic Information Engineering, Jiangxi College of Applied Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: In order to further improve the stability and reliability of the gantry crane control system, in advance of the research of traditional crane control system, designed a crane frequency control system which based on PLC fuzzy adaptive PID, combined advanced fuzzy adaptive PID algorithms with PLC control technology to realize intelligent frequency control. The system implemented function operation directly by PLC to replace the conventional look-up table, to improve speed performance, and achieve rapid control of Frequency Control System. At the same time, through the PLC to execute crane non-contact control, improve the accuracy and reliability effectively. Experimental and simulation results show that: adding fuzzy adaptive PID to crane frequency control system is more stable and reliable than traditional frequency control system, its response is fast, and the overshoot is less than 3%. And it can reduce power almost 20% and prolong the crane motor life.

Keywords: portal crane; PLC; fuzzy adaptive PID; frequency control system

0 引言

门座式起重机是港口主要装卸货物的大型设备, 随着港口货物装卸量的增加, 对起重机的反应速度和平稳可靠性能要求越来越高。传统起重机主要采用接触器—继电器连接控制, 调速方法多采用电机转子串电阻调速, 该控制系统存在故障率高、控制精度低、装卸速度慢及能耗高等缺点。针对这些问题, 国内针对起重机的设计和控制系统展开了研究。随着电子技术的飞速发展, 基于 PLC 程序控制的变频调速系统在门座式起重机中得到广泛应用^[1]。PLC 控制应用于变频调速系统中, 有效提高了起重机的可靠性和抗干扰能力。因此, 本文立足于当前研究基础, 提出了一种基于 PLC 模糊自适应 PID 的起重机变频调速系统。系统将模糊自适应 PID 控制与 PLC 相结合, 通过模糊自适应 PID 控制算法自动调整 PID 参数, 用 PLC 实现自适应 PID 控制决策, 进而对起重机变频调速系统实现闭环控制。将 PLC 模糊自适应 PID 应用于门座式起重机的变频调速系统, 实现对电机平滑调速, 可大大提高起重机的运行速度、控制精确度和平稳可靠性。

1 起重机变频调速系统设计

门座式起重机主要包括起升、变幅、旋转、行走四大工作机构^[2]。起升机构由 1 台变频器控制 1 台电机驱动货物的升降速度及 2 台常闭制动器, 包括主钩和副钩。变幅机构由 1 台变频器控制 1 台电机改变吊起货物的幅度及 1 台常闭制动器。旋转机构由 1 台变频器控制 2 台电机驱动电机使得旋转部分进行 360° 旋转及 2 台常开制动器。运行机构由 8 台电动机驱动大车的左右行和小车的前后行, 由 2 台变频器控制大小车的速度档, 同时需要 8 台制动器控制电机和 8 台液压夹轨器控制起重机稳定。起重机四大工作机构均采用变频器控制, 采用矢量控制变频调速, 主要控制大小车运行速度、主副钩升降速度、旋转部分的旋转速度及变幅机构运行速度, 因此对变频系统的控制尤为重要。采用变频器代替传统的继电器—接触控制, 可简化操作, 减少故障率; 选用变频调速系统代替转子串电阻调速, 可提高调速性能。

1.1 硬件系统设计

系统主要控制对象为三相异步交流电机、制动器、防风夹轨器、限位开关及声光报警器等, 系统采用西门子 PLC S7-300 控制研究, 其控制系统硬件结构框图如图 1 所示。起重机变频调速系统主要包括电机、变频器、PLC 控制器及上位机, 控制系统的核心是转速的智能模糊自适应 PID 控制; 在交流

收稿日期: 2015-02-03; 修回日期: 2015-03-24。

作者简介: 张建荣(1974-), 男, 赣州人, 硕士, 副教授, 主要从事电子信息与自动化方向的研究。

电动机上安装旋转编码器实时采集速度信号并传输至 PLC 系统中的 A/D 模块进行模数转换, 通过模糊自适应 PID 控制模块对数据进行模糊运算和参数自适应调整, 利用增量式 PID 算法计算控制参数并传递给 D/A 转换通道, 将数字参数转换成模拟电压信号, 通过光耦隔离电路传给变频器。PLC 和上位机采用 Profibus-DP 总线通讯, PLC 采集电机运行参数上传至上位机中显示, 并通过上位机下达指令控制变频器的输出, 从而远程控制电机的转速。

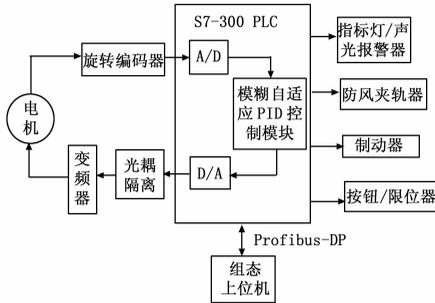


图 1 门座式起重机控制系统硬件结构框图

1.2 软件系统设计

调速系统软件设计流程图如图 2 所示, 由图可知: 系统启动后首先对系统进行初始化和自检, 初始化系统时钟、计数器及 ADC 模块, 并检查系统本身是否存在故障, 若发生故障则抱闸停车, 故障指示灯亮起。系统根据按键或上位机指示选择运行机构, 采集对应运行机构旋转编码器中的转速数据, 在 PLC 系统中对数据进行模糊自适应 PID 运算处理, 输出控制

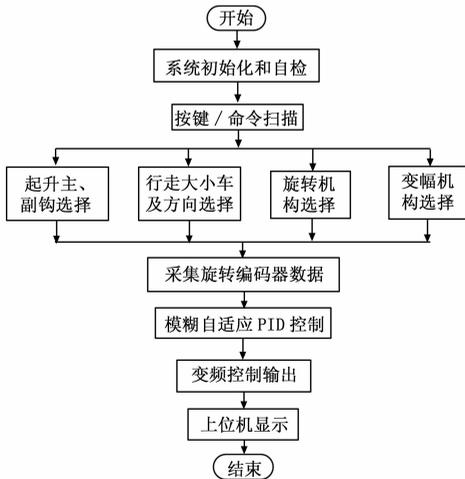


图 2 系统软件设计流程图

参数至变频器中对电机转速进行控制, 并将数据上传至上位机中进行显示。

2 模糊自适应 PID 控制器的设计

根据门座式起重机实际工作可知, 其起升和变幅机构工作速度约为 50 m/min, 旋转机构运行速度约为 1.2 r/min 及行走机构为 25 m/min, 由此可知起重机工作速度缓慢, 需控制精确才能确保到位。为了提高门座式起重机调速的精度和可靠性, 本文将传统 PID 算法与模糊控制有效结合, 应用于起重机变频调速系统中, 构建了如图 2 所示的模糊自适应 PID 变频调速控制系统结构。由图 2 可知, 操作人员根据实际需要将转速设定值输入至系统中, 并与电机实际转速值相比较, 得到误差 e 和误差变化率 ec 作为模糊控制器的输入变量语言, PID 的 3 个参数 Kp 、 Ki 、 Kd 为输出。控制器包括模糊控制器和常规的 PID 控制器^[3], 根据输入输出变量之间的模糊关系在线对 PID 参数进行自适应整定, 实现对变频调速系统的最佳控制。

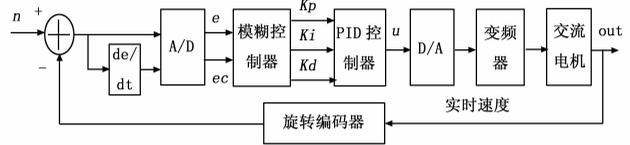


图 3 模糊自适应 PID 变频调速控制系统结构

2.1 输入输出变量模糊化

交流电机安上增量型旋转编码器, PLC 对编码器采样获取交流电机实际转速的精确值, 并与给定值进行比较得到偏差 e 和偏差变化率 ec 。取误差 e 和其变化率 ec 的基本论域 $e = \{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$, 将输出变量 Kp 、 Ki 和 Kd 的模糊子集记为 $\{NB, NM, NS, 0, PS, PM, PB\}$, 分别量化至 $(-0.3, 0.3)$ 、 $(-0.6, 0.6)$ 、 $(-6, 6)$ 的区域内。根据经验和工程应用情况可知, 本系统选用三角形隶属函数来获取输入变量 e 和 ec 的隶属度赋值表, 其中 NB 为 S 形隶属度函数, PB 为 Z 形隶属度函数。

2.2 建立模糊控制规则

系统采用二维模糊控制器, 以误差 e 和误差变化率 ec 为输入变量。模糊自适应 PID 是基于传统 PID 算法, 计算当前误差 e 和误差变化率 de 并利用模糊规则进行推理, 查询 e 和 ec 的模糊规则进行 PID 参数计算, PID 3 个参数规则的一般形式是:

If e is e_i and ec is ec_j , then Kp is Kp_k and Ki is Ki_k and Kd is Kd_k

其中 $i, j, k=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

表 1 $Kp/Ki/Kd$ 模糊规则表

$e \backslash ec$	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PM/NM/NB	PS/NS/NB	Z/Z/NM	Z/Z/PS
NM	PB/NB/PS	PB/NB/NS	PM/NM/NB	PS/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/Z/Z
NS	PM/NB/ZP	PM/NM/NS	PM/NS/NM	PS/NS/NM	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NS/PS/Z
Z	PM/NM/Z	PM/NM/NS	PS/NS/NS	Z/Z/NS	NS/PS/NS	NM/PM/NS	NM/PM/Z
PS	PS/NM/Z	PS/NS/Z	Z/Z/Z	NS/PS/Z	NS/PS/Z	NM/PM/Z	NM/PB/Z
PM	PS/Z/PB	Z/Z/NS	NS/PS/PS	NM/PS/PS	NM/PM/PS	NM/PB/PS	NB/PB/PB
PB	Z/Z/PB	Z/Z/PM	NM/PS/PM	NM/PM/PM	NM/PM/PS	NB/PB/PS	NB/PB/PB

2.3 设计模糊控制函数

PID 的 3 个参数 K_p 、 K_i 和 K_d 是随着输入 e 和 ec 的变化而变化的, 因此要求出参数 K_p 、 K_i 和 K_d , 就相当于要寻找一个由未知数 e 和 ec 构成的二元函数。为了确定函数的关系式, 本文利用 Matlab 中的模糊推理计算函数 $output = evalfis$ (input, fismat, munPts) 来完成的计算。在对输入输出变量进行采样后, 得到一系列观测数据, 选择部分合理的数据分别对参数的二元函数进行拟合, 得到的函数关系式分别为^[4]:

$$\Delta K_p = f_1(e, ec) = -0.008e^2 + 0.0004ec^2 + 0.0006e \cdot e + 0.0323ec - 0.0313e + 0.001 \quad (1)$$

$$\Delta K_i = f_2(e, ec) = 0.002e^2 - 0.0002ec^2 + 0.0021e \cdot e + 0.0065ec - 0.0053e - 0.0051 \quad (2)$$

$$\Delta K_d = f_3(e, ec) = 0.0764e^2 + 0.233ec^2 - 0.003e \cdot e + 0.4320e - 0.0123ec - 0.945 \quad (3)$$

拟合过程中求得的误差分别为: 0.013、 0.827×10^{-4} 和 5.042。其中 f_3 的拟合误差值相对较大, 根据实际仿真图可知是由于存在几个离散点导致, 但对整体性能影响不大, 因此仍可选用 f_3 作为 ΔK_d 的拟合函数。

3 模糊 PID 变频调速系统的 PLC 实现

3.1 实际控制系统说明

本文组成的控制系统硬件使用西门子 S7-300 CPU315-2DP, 模拟数字量处理采用 SM3 系列 AD 模块实现。PLC 采集旋转编码器信号作为模拟量输入, 旋转编码器变送的是 $0 \sim \pm 10$ V 的电压信号, 控制起重机工作转速的执行机构是交流电动机, 通过三相 SCR 移相调压装置控制变频器的电压, 移相调节装置是由 PLC 模拟量输出模块输出的 $4 \sim 20$ mA 电流控制^[5]。

3.2 PID 控制的 PLC 实现

由 PLC 实现 PID 控制算法的流程如下: 首先, 定义 e 和 ec 的变化范围分别为 $[e1, e2]$ 和 $[ec1, ec2]$ 。PLC 对 e 和 ec 进行采样, 将采集到的数据存放于寄存器中, 并判断 e 和 ec 的值是否越限, 若超过了则令采样值为其上下限。门座式起重机不同结构运行速度不同, 根据工作经验可知 e 和 ec 的值在 $0 \sim 3$ 之间, 所以将采集的精确值 e 和 ec 量化到 $[-3, 3]$ 的区域内, 其量化因子为均为 0.5, 其中 $E = 6 [e - (e1 + e2) / 2] / (e2 - e1)$ 和 $EC = 6 [ec - (ec1 + ec2) / 2] / (ec2 - ec1)$ 。结合上文推导的公式, 对参数进行解模糊化处理, 计算得出 $\Delta K_p = f_1(e, ec)$ 、 $\Delta K_i = f_2(e, ec)$ 和 $\Delta K_d = f_3(e, ec)$, 代入式 $K_p = K_{p0} + \Delta K_p$ 、 $K_i = K_{i0} + \Delta K_i$ 和 $K_d = K_{d0} + \Delta K_d$ 中, 计算出 K 时刻实时 PID 参数值, 并按照增量式 PID 公式求出被控变频器的频率控制量 Δu , 如式 (4) 所示。

$$\Delta u = f(K_p, K_i, K_d) = K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (4)$$

式中, K_p 、 K_i 、 K_d 为比例、积分、微分参数。 K_{p0} 、 K_{i0} 和 K_{d0} 是参数的初始值。将 ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_d 代入 K_p 、 K_i 和 K_d 中, 在将这 3 个参数代入 (4) 式中求出 Δu 是关于 e 和 ec 的二次函数。若计算得到的 Δu 越限, 则令 $u = \pm 10$, 控制输出 u 。

3.3 PLC 控制程序的设计

误差 e 和 ec 模糊论域均取 $[-3, 3]$ 的离散区间, 为 7 个

档, 经 PLC 中 A/D 转换模块后取值为 $[e1, e2]$ 和 $[ec1, ec2]$, 对其进行等分可得 8 个等分点, 将这 8 个等分点按从小到大分别存入 MD210—MD224 和 MD230—MD244 寄存器中。定义 CPU 采样时间, 采集电动机转速, 由 $e_i = n_i - n_k$ 和 $\Delta e = (e_i - e_{i-1}) / t$ 式计算出 e 和 ec 的值并置于 PLC 的寄存器 MD100 和 MD110 中。将 e 和 ec 分别量化至模糊论域区间, 用程序将其代入式 (1)、(2)、(3) 中计算得出 ΔK_p 、 ΔK_i 和 ΔK_d , 取 $K_{p0} = 0.6$, $K_{i0} = 0.2$, $K_{d0} = 0.1$, 计算出 PID 3 个参数值并代入 (4) 式中求出 Δu , 将其乘以量化因子得到实际输出 u , 输出控制变频器的运行^[6]。系统采用梯形图编写程序, 将 f_1 、 f_2 和 f_3 和的系数定义为 $a_1 - a_6$ 、 $b_1 - b_5$ 和 $c_1 - c_6$ 按顺序分别存入到 MD10—MD27 中, 计算程序如图 4 所示。

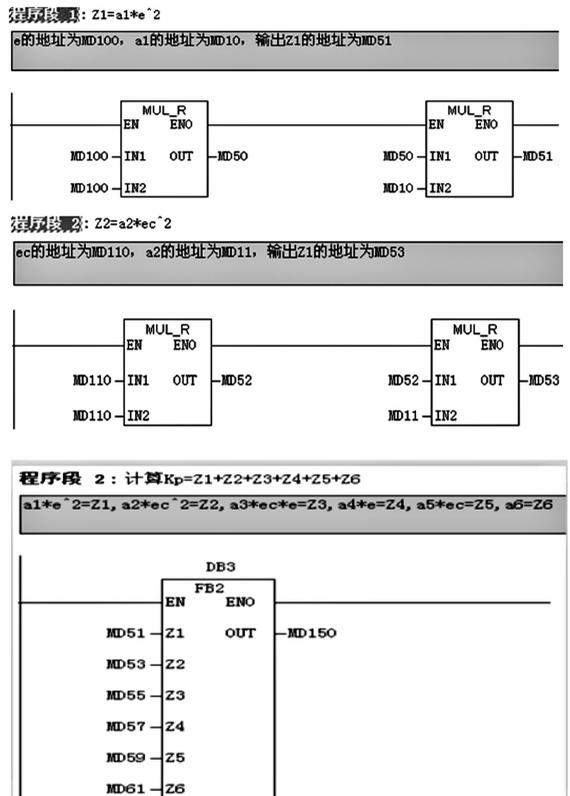


图 4 ΔK_p 函数部分计算程序

4 仿真及结果分析

门座式起重机中的变频器采用了电压矢量 PWM 控制, 根据相关资料得知可将变频器近似表示为带有纯滞后的一阶惯性环节, 其传递函数为 $G_a = K_a \cdot e^{-Ts} / (T_a \cdot s + 1)$, 其中 T_a 是平均滞后时间, 为 0.6 倍的变频器频率加速时间。同时, 异步电动机的传递函数为 $G_b = K_b / (T_b \cdot s + 1)$, 其中 T_b 为电机的时间常数^[7]。所以系统的变频调速系统传递函数由两个一阶惯性环节串联而成, 其数学模型 $G(s)$ 如式 (5) 所示, 其中令 $K = K_a \cdot K_b$ 。

$$G(s) = G_a \cdot G_b = \frac{K \cdot e^{-Ts}}{(T_a \cdot s + 1)(T_b \cdot s + 1)} \quad (5)$$

利用 Matlab 中的 simulink 工具箱建立仿真模型, 如图 5 所示^[8]。根据不同机构速度的需求, 分别取输入信号为 75、

50、25 和 20。 Ta 取 20, Tb 取 0.8, K 取 10; 经过参数优化, 模糊自适应 PID 调整得到的 PID 控制参数: $Kp=0.28$, $Ki=0.021$ 和 $Kd=0.01$ 。将模糊自适应 PID 调速系统与没加入智能算法的变频调速系统进行比较^[9], 响应对比结果如图 6 所示。

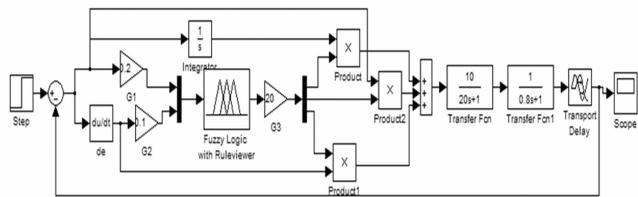


图 5 模糊自适应 PID 控制系统仿真模型图

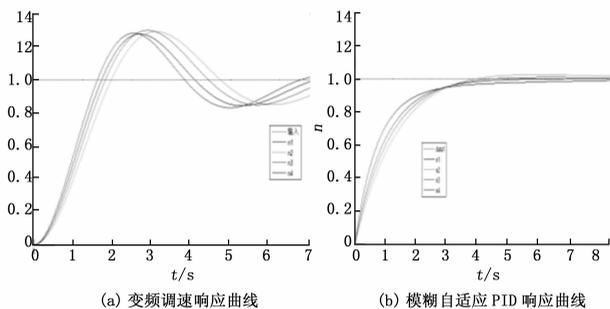


图 6 变频调速系统响应对比曲线

仿真结果表明, 加入模糊自适应 PID 智能算法的变频调速系统比传统的变频调速系统具有更好的适应性和控制效果, 超调量低于 2%, 稳定时间在 0.03 s, 控制平稳速度快, 显然加入智能算法至门座式起重机变频调速控制系统中具有良好的控制效果。

传统只采用继电器-接触器控制的起重机整机功率为 390 kW, 且有功率低下, 只有 0.7 左右^[2]; 采用模糊自适应 PID 变频调速方案, 起重机整机功率约为 310.3 kW, 减少了近 20%, 且有功率也提高至 0.89, 节能效果明显。

(上接第 2328 页)

4 结论

论文对一种金融双界面 IC 卡进行研究, 提出了设计结构, 然后对主要的电路单元, 如存储器, 振荡器和模拟前端电路进行可测试性设计, 最终采用 V777 测试系统对多个样片进行测试, 测试结果表明了可测试性设计的正确性。但是, 在本项目在可测试性设计中对硬件代码采用全人工设计, 在一定程度上提高了保密性和测试效率, 但随着芯片复杂程度增加, 这将造成工作量增大, 对设计造成一定的困难, 因此, 采用 EDA 工具与人工参与相结合的设计方法是将来的发展趋势。其次, 在本金融 IC 卡的可测试设计中, 对测试电路进行低功耗设计还有需要改进的地方, 这也是论文需要改进的另外一个方面。因此, 以上这两个方面都需要进一步研究。

5 结束语

在门座式起重机的运行过程中, 在 PLC 变频调速系统加入模糊自适应 PID 智能算法, 代替传统的接触器-继电器控制方式, 实现对起重机变频调速系统的精确控制。同时, 系统设计出 PLC 运行函数的方式代替常规的查表模式, 加快了对调速系统的控制速度。从实验仿真结果可以看出, 基于 PLC 模糊自适应 PID 起重机变频调速系统超调量低于 2%, 稳定时间在 0.03 s, 相较于传统的变频调速系统具有调速平稳快速、抗干扰且动态适应能力强等优势, 能精确控制起重机的运行机构。并且, 采用 PLC 自适应 PID 模糊控制, 可延长起重机的使用寿命, 有效减少起重机的用电量, 节能近 20%, 因此具有一定的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 熊学成. 基于 PLC 的门式起重机的变频调速控制系统 [J]. 中国水运, 2008, 8 (12): 135-136.
- [2] 刘 普. 基于 PLC 和变频器的港口门座式起重机控制系统的研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [3] 洪 炎, 郑晓亮, 苏静明, 等. 模糊 PID 在嵌入式冻结站变频节能中的应用研究 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47 (35): 224-227, 248.
- [4] 强明辉, 何 晓. 基于 PLC 模糊自适应 PID 伺服控制系统 [J]. 自动化与仪器仪表, 2013, (4): 180-183.
- [5] 许其义, 李 坤. 一种基于 PLC 的模糊自适应 PID 控制器设计 [J]. 电子技术, 2009, 36 (12): 32-33.
- [6] 王志凯, 郭宗仁, 李 琰. 用 PLC 实现模糊控制的两种程序设计方法 [J]. 工业控制计算机, 2002, 15 (2): 61-62.
- [7] 秦 帅, 张 斌, 李彬郎. 模糊自抗扰控制在永磁同步电机调速系统的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3199-3202.
- [8] Huang Y, Yasunobu S. A General practical Design Method for Fuzzy PID control from conventional PID control [J]. Fuzzy systems, 2005 (2): 969-972.
- [9] Tanaka K, M sugeno. Stability analysis and design of fuzzy control systems [J]. Fuzzy sets and systems, 1992, 45 (2): 135-156.

参考文献:

- [1] 赵本阳. 商业银行发展金融 IC 卡行业应用探究 [J]. 上海金融, 2011, 45 (9): 94-98.
- [2] 曾孝平, 任家峪, 熊 东. 基于 RFID 的非接触式 IC 卡读写器设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (10): 2357-2359.
- [3] 陈圣俭, 李广进, 高 华. 基于外壳架构与测试访问机制的数字芯核可测试性设计 [J]. 微电子学与计算机, 2012, 29 (6): 42-45.
- [4] 胡明明, 王小力. SoC 芯片可测试性设计策略的实现研究 [J]. 电路与系统学报, 16 (2): 56-61.
- [5] 曲 伟. 基于 IEEE1149 标准的电子装备可测试性设计技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (10): 2710-2712.