

枕式包装机变频调速控制系统设计

杜瑞涛, 冯振华

(许昌电气职业学院, 河南 许昌 461000)

摘要: **目的** 在包装机变频调速控制系统设计中, 受到控制方式的影响, 使得控制系统所需能耗较高, 为提高控制系统效能, 基于 PLC 技术提出包装机变频调速控制系统设计。**方法** 硬件部分, 对可编程控制箱、变频器进行设计。软件部分, 通过变频器参数的设计保证变频调速系统正常运行。针对 PLC 技术, 设计控制系统中所需的 PLC 程序, 达到控制包装机变频调速的效果。依靠触摸屏的方式呈现 PLC 程序输出结果, 最终完成包装机变频调速控制系统的设计。**结果** 实验结果表明, 文中设计的控制系统与 2 种传统控制系统相比, 所需能耗分别降低了 49.5% 和 39.2%。**结论** 控制系统运行所需的能耗降低, 该设计在实际应用中具有良好的效果。

关键词: 可编程逻辑控制器; 包装机; 变频调速; 变频器

中图分类号: TB486; TM34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)21-0260-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.21.034

Design of Variable Frequency Speed Regulation Control System for Pillow Packaging Machine

DU Rui-tao, FENG Zhen-hua

(Xuchang Electrical Vocational College, Henan Xuchang 461000, China)

ABSTRACT: In the design of variable frequency speed control system of packaging machine, due to the influence of control mode, the energy consumption of the control system is high. The work aims to design a variable frequency speed control system of packaging machine based on PLC technology. In the hardware part, the programmable control box and the frequency converter were designed. In the software part, through the design of the inverter parameters, the normal operation of the frequency control system was ensured. Aiming at PLC technology, the PLC program needed in the control system was designed to achieve the effect of controlling the frequency conversion speed regulation of the packaging machine. Finally the output of PLC program was presented through touch screen. The design of variable frequency speed control system of packaging machine was completed. The experimental results showed that compared with the two traditional control systems, the energy consumption of the control system designed in this work was reduced by 49.5% and 39.2% respectively. The energy consumption of the control system is reduced, and the research has a good effect in practical application.

KEY WORDS: programmable logic controller (PLC); packaging machine; variable frequency speed regulation; frequency converter

在现代电子技术不断发展的时代背景下, 控制技术也开始向深层次进步。在工业生产行业中, 交流变

频调速技术应用范围越来越广泛。以输入电源频率变化为核心技术, 调整电动机转速, 实现工作设备的变

收稿日期: 2022-01-26

作者简介: 杜瑞涛 (1984—), 男, 讲师, 主要研究方向为电气自动化工程。

频调速, 最终达到电动机调速的效果^[1-5]。变频调速技术具有效率高、范围广的特点使得该技术受到广泛应用, 但随着科技的不断发展, 对变频调速技术要求也越来越高。变频调速在包装机上的应用就是一件极具技术含量的工作, 一旦出现意外极有可能造成设备的损坏。这种情况下可编程控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 开始被应用于变频调速控制系统设计中, PLC 技术使得可编程控制器常常应用于设备控制系统之中^[6-10]。包装机变频调速控制系统设计, 可以预先制定显示电机转速、远程控制调速的软件, 利用 PLC 实现设备的智能控制。此外, 为了加强人机交互, 基于触摸屏实现对主机的控制。该系统在完成了包装机变频调速的同时, 也为变频调速系统的应用带来了更加广阔的空间。

1 枕式包装机结构

水果包装机机械结构见图 1, 该包装机主要由水果传送机构、包装膜传送机构、制袋成型器、抚平机构、纵封机构末端切断机构等组成^[11-13]。水果传送机构主要由物料传送电机、传送链条、物料拨叉等机构组成, 通过上述机构实现水果的传送, 并将水果传送到成型器中。薄膜输送辊轮主要负责对塑料复合膜进行运输, 包装机在运行时纵封机构与薄膜输送辊轮相互协调, 有效避免塑料薄膜所产生的误差。制袋成型器是将塑料复合膜制成袋装, 将水果包装在袋体中。纵封装置是将成型器制成袋体的复合膜进行纵向加热封合, 并牵引塑料复合膜往前运动。抚平装置对纵向热封过的塑料复合膜进行表面的整理, 以及对水果物料的向前推进起到助力作用。



图 1 包装机结构
Fig.1 Structure of packaging machine

2 包装机变频调速控制系统硬件设计

2.1 可编程控制箱设计

包装机变频调速控制系统的设计核心是控制设备 PLC, 正常情况下, 需要设计可编程控制箱来保证安全设置。文中使用德国的西门子 PLC 作为控制箱内的核心设备, 控制器周围添加隔离端子实现电路隔离, 保证设备安全性, 整个装置的电气原理见图 2。

通过图 2 的原理设计可编程控制箱, 在包装机变频调速控制中可以对变频器的转动方向、启动、停止、速度进行控制。可编程控制箱还可以发挥设备运行状况检测的作用, 通过模拟量信号的输入, 识别变频器运行是否处于正常状态。由于采用工业文本显示控制信息, 促进了操作者的控制便利性。最后, 隔离技术的应用加强了 PLC 的抗干扰能力, 提高了包装机变频调速控制的可靠性。

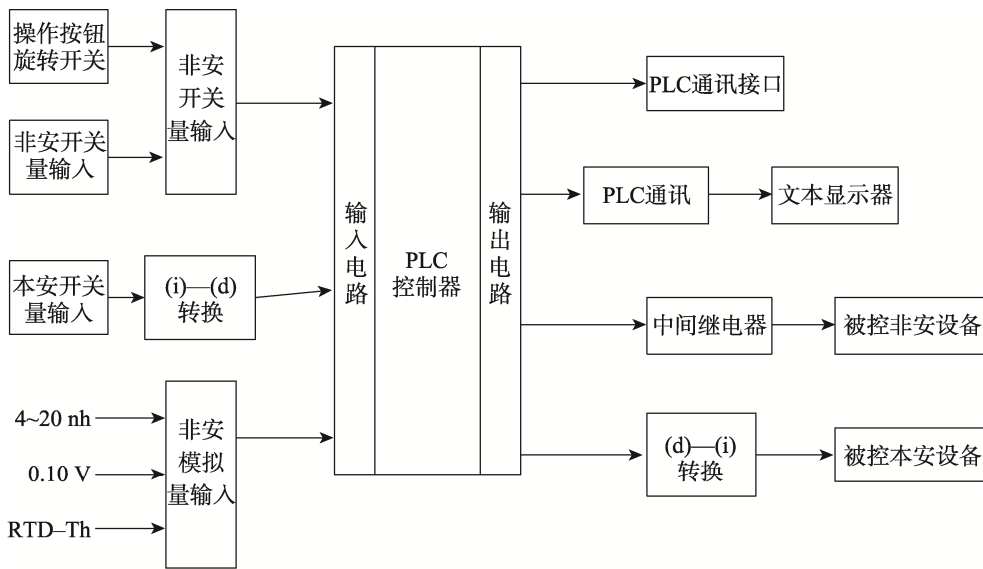


图 2 可编程控制箱电气原理图
Fig.2 Electrical schematic diagram of programmable control box

2.2 变频器设计

系统设计中另一个不可或缺的硬件就是变频器,良好的变频器设计可以控制设备电流、稳定电压、解决能耗。经由供电的频率的变化实现变频调速^[14-15]。具体的变频调速原理见图 3。

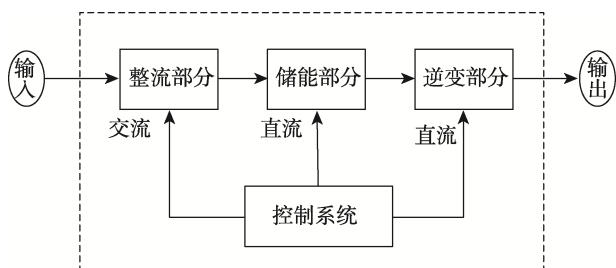


图 3 变频调速原理

Fig.3 Schematic diagram of variable frequency speed regulation

依据图 3 原理设计的变频器主要职能是控制电机的变速运行。变频器除了拥有变频调速功能还具有保护设备安全的能力。图 3 中整流部分由整流器构成,它的作用在于将原电源向直流电源转变,通过储能部分促进直流电的稳定性。稳定的直流电经由逆变部分转换为交流电输出。上述为包装机变频调速控制系统硬件部分的设计。

3 包装机变频调速控制系统软件设计

包装机变频调速控制系统软件设计以硬件为基础,首先对变频器的参数进行合理设置,然后基于可编程控制箱,完成控制系统所需的 PLC 程序。最终实现基于 PLC 技术的变频调速系统控制。

3.1 设置变频器参数

在系统软件设计方面,依据变频器结构设计首先对变频器的参数进行设置,以便达到更优的变频调速效果。通过对变频器的核心异步电机内部结构的了解,可以获得其转速公式为:

$$n = \frac{60 f_s}{p} (1 - s) \quad (1)$$

式中: f_s 、 p 为交流电的输入频率与定子极对数; s 为转差率,它的计算式为:

$$s = \frac{f_{sr}}{f_t} = \frac{f_s - f_r}{f_t} = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2)$$

式中: f_{sr} 为旋转频率; n_s 为同步转率。一般情况下 s 表示的参数变化都很小,可以忽略不计,所以影响最终转速输出的只有定子频率。通过电磁环境可以获得电机内部的电磁转矩计算式:

$$T = K_T F_M I_r \cos \theta \quad (3)$$

式中: I_r 为转子电流; F_M 为每极磁通量; K_T 为转矩常数; $\cos \theta$ 为转子电流的功率因数。对异步电机的转矩-转速特性及负载阻抗特性关系进行分析,发现其变化关系见图 4。

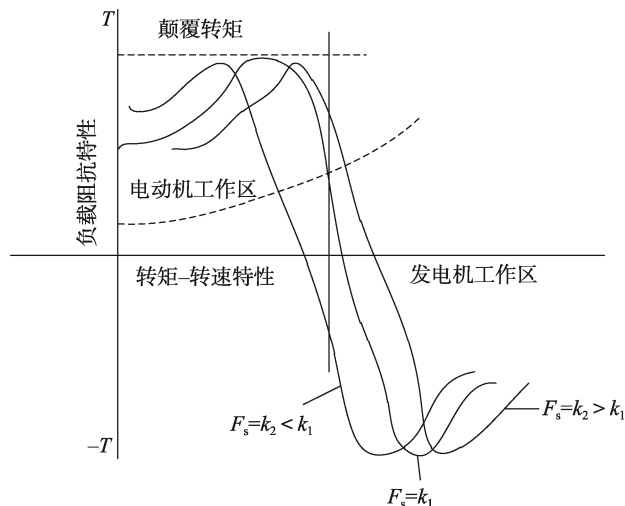


图 4 电动机转矩-转速特性及负载阻抗特性

Fig.4 Torque-speed characteristics and load impedance characteristics of motor

由图 4 可知,由于转差率增大会导致功率因子降低,使得启动转矩减小,与之相对应的是增加启动时的功率因子,转矩同样会随之增长。所以为了保证变频器使用效果,需要采用低频率交流电源。除此之外,变频器主要的参数设置见表 1。

表 1 变频器主要的参数设置

Tab.1 Main parameter setting of frequency converter

代码	参数名称	值	含义
Pr.79	工作模式选择	2	外部固定运行模式
Pr.73	模拟量输入选择	0	0~10 V
Pr.178	STF	60	STF 端子功能选择
Pr.179	STF	61	STF 端子功能选择

PLC 程序采用核心微处理器进行控制工作,融合了计算机技术形成具有灵活性。由于目前 PLC 技术普遍具有的功能是模拟量信号处理,也就是经由 A/D、D/A 模块将模拟量信号转换为电压或电流输出。再将输出的信号输入变频器,控制变频器电源输出频率。PLC 程序控制的方式需要保证,变频器与 PLC 程序距离保持不远并且要实现一对一控制。在包装机变频调速控制系统中,PLC 程序的应用正好符合需求。

PLC 程序的设计见图 5。程序开启时 M 8000 呈

现闭合状态, D5 代表着数据寄存器按照正常速度进行数据处理, 并将处理后的值保存在 D7 中。图 5 中启动按钮被按下时 MO 呈现闭合状态。然后利用 D/A 转换模块, 将 D7 的数据值向通道 16 转换。依据判定条件, 获取下降沿, 通过 D5 的值判断 Y1、Y2 正转或反转启动。此外, 发现特殊情况时, 通过 X2 控制电机停止工作。

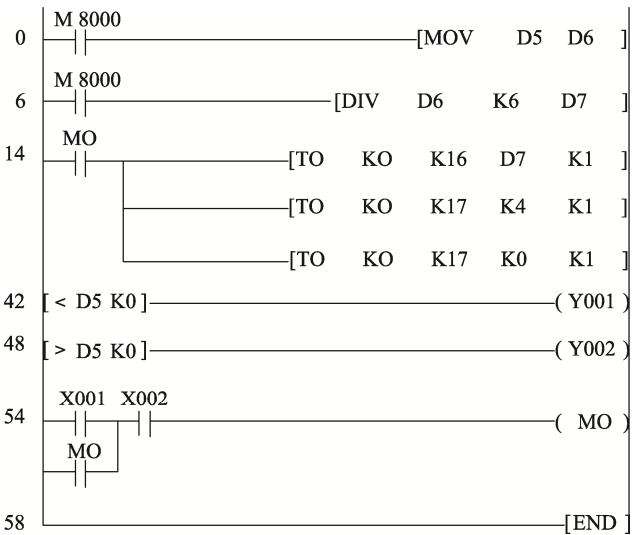


图 5 PLC 测试程序
Fig.5 PLC test program

3.2 基于 PLC 实现变频调速系统控制

通过对 PLC 程序进行设计, 完成了变频调速系统的控制。将 PLC、变频器的功能结合起来, 完成包装机变频调速控制。文中系统的设计可以实现设备运行状态的检测, 同时控制变频器的通信、现场管理等。利用 PLC 程序的控制使得系统结构更加简单, 变频调速控制的精度和抗干扰性能得以提升。基于 PLC 实现变频调速系统控制后, 触摸屏显示出变频调速控制信息, 经由触摸屏完成操作人员的远程控制。依靠传感器测速系统将转速信息传达给 PLC 程序, 采用模拟量信号处理的方式将对应的模拟量向触摸屏输出, 触摸屏显示出对应时间段的包装机变频调速系统的转速值, 并且以图像的方式将转速波形展现出来。操作人员通过对触摸屏上的数值、图像的分析, 识别电机运行状态是否符合工作要求。最终, 完成基于 PLC 的变频调速系统控制。

4 系统测试

4.1 系统运行测试

完成整体的系统设计后, 为了保证文中设计系统在实际应用中具备良好的效果, 特进行实验测试。将设计好的系统程序存放至 TPC7062K 中, 并且将一体

化触摸屏连接三菱 FX2N-48MR 的 PLC。利用编写完成的 PLC 程序完成数据的转换工作, 然后经由 FXON-3A 模拟电压信号, 用 0~10 V 的电压测试变频调速控制系统的性能。依据给出的模拟信号输出频率, 并且完成电动机运转, 系统的运行界面见图 6, 通过测试数据的分析, 判断系统的性能。

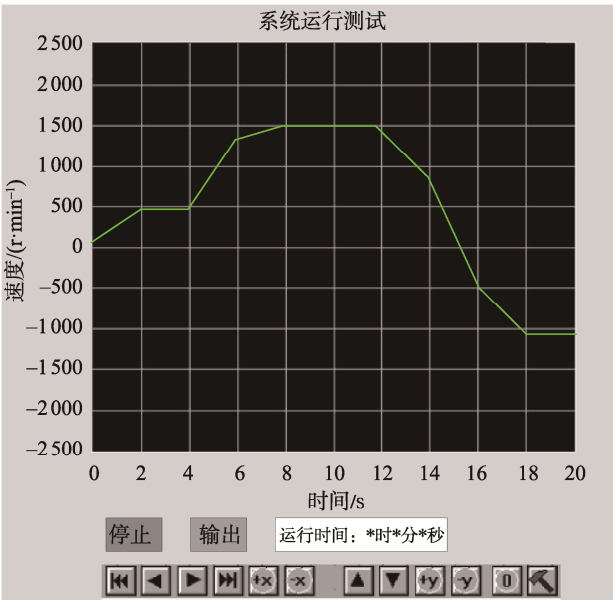


图 6 系统运行测试界面
Fig.6 Running test interface of system

文中设计系统的测试主要针对变频调速技术进行的, 从分段调速到模拟调速来进行不断测试, 从电机运行的曲线图来观察数字量调速的变化。采用数模转换模块设定好变频器的参数。根据图 5 所示的数据信息进行系统的整体运行调试, 确保系统运行结果与实际运行曲线相符合。确定文中设计的变频调速控制系统运行正常后, 对系统的运行所需能耗进行测试。为确保实验结果的合理性, 选择 2 个传统控制系统作为对照组, 对 3 个控制系统在相同条件下进行测试。

4.2 实验结果分析

在工作过程中, 包装机变频调速控制系统由于需要对变频器进行控制, 会产生较大能耗。对 3 种控制系统在不同压力下的能耗情况进行测试, 测试结果见表 2。

根据表 2 中的数据可以发现, 文中基于 PLC 技术设计的包装机变频调速控制系统, 随着压力不断降低, 在保证变频调速控制水平的情况下, 所需能耗同样在降低, 从最初的 0.368 kw·h 下降至 0.257 kw·h。2 种传统系统控制变频调速所需的能耗虽然也在发生波动, 但是并没有出现具体的规律变化, 而且能耗变化不大。当压力为 0.1 MPa 时, 文中系统与 2 种传统系统相比, 能耗分别降低了 49.5%和 39.2%。

表 2 控制系统不同压力下能耗统计
Tab.2 Energy consumption of control system under different pressure

压力/MPa	文中系统能耗/(kw·h)	传统系统 1 能耗/(kw·h)	传统系统 2 能耗/(kw·h)
0.6	0.368	0.542	0.458
0.5	0.351	0.537	0.479
0.4	0.324	0.512	0.415
0.3	0.308	0.514	0.457
0.2	0.279	0.503	0.474
0.1	0.257	0.509	0.423

5 结语

文中以 PLC 技术为基础,设计了一个包装机变频调速控制系统。通过文中的设计,有效实现了对设备变频调速的控制,并且在保证控制效果的基础上降低了控制系统运行所需的能耗,降低了生产成本。文中的设计系统在实际应用中具有良好的效果,但是随着研究的深入,必然会将系统更加完善。

参考文献:

- [1] 赵凯辉,何静,李祥飞,等. 包装印刷用永磁同步电机控制及无速度传感器控制技术综述[J]. 包装学报, 2017, 9(1): 13-20.
ZHAO Kai-hui, HE Jing, LI Xiang-fei, et al. Review of Permanent Magnet Synchronous Motor Control and Sensorless Technology for Packaging and Printing[J]. Packaging Journal, 2017, 9(1): 13-20.
- [2] 高培畅,杨培宏. 基于 PLC 技术的变频器自动控制研究[J]. 中国设备工程, 2021(4): 221-222.
GAO Pei-chang, YANG Pei-hong. Research on Automatic Control of Frequency Converter Based on PLC Technology[J]. China Plant Engineering, 2021(4): 221-222.
- [3] 刘喜庆,李卫庭. PLC 技术在自动化生产线中的应用[J]. 信息系统工程, 2021(1): 84-85.
LIU Xi-qing, LI Wei-ting. Application of PLC Technology in Automatic Production Line[J]. CC News, 2021(1): 84-85.
- [4] 王杰,谢源,谢涛,等. 基于 MRAS 的永磁同步电机无传感器矢量控制研究[J]. 电机与控制应用, 2018, 45(1): 30-34.
WANG Jie, XIE Yuan, XIE Tao, et al. Research of Permanent Magnet Synchronous Motor Sensorless Vector Control Based on MRAS[J]. Electric Machines & Control Application, 2018, 45(1): 30-34.
- [5] 魏国莲,林成全. 基于 PLC 技术的变频器自动控制研究[J]. 现代电子技术, 2020, 43(17): 92-95.
WEI Guo-lian, LIN Cheng-quan. Research on Frequency Converter Automatic Control Based on PLC Technology[J]. Modern Electronics Technique, 2020, 43(17): 92-95.
- [6] 柯希彪,鲁怀伟,李鹏飞. 基于模糊变结构模型参考自适应观测器的永磁同步电机控制[J]. 电机与控制应用, 2016, 43(12): 24-30.
KE Xi-biao, LU Huai-wei, LI Peng-fei. Permanent Magnet Synchronous Motor Control Based on Fuzzy Variable Structure Model Reference Adaptive System Observer[J]. Electric Machines & Control Application, 2016, 43(12): 24-30.
- [7] 邵俊波,王辉,黄守道,等. 一种表贴式永磁同步电机无位置传感器低速控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(5): 1534-1541.
SHAO Jun-bo, WANG Hui, HUANG Shou-dao, et al. A Position Sensorless Control Strategy of Surface-Mounted Permanent-Magnet Synchronous Motors for Low-Speed Operation[J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(5): 1534-1541.
- [8] ZHU J J. Electrical Control Technology and PLC Course Teaching Reform Strategy[J]. Procedia Computer Science, 2020, 166: 301-304.
- [9] ENGEL S, JONAS, CLAESSENS, et al. Combined Stochastic Optimization of Frequency Control and Self-Consumption With a Battery[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, 10(2): 1971-1981.
- [10] HONG S, Kim Y, LEE S, et al. A Frequency-Selective

- EMI Reduction Method for Tightly Coupled Wireless Power Transfer Systems Using Resonant Frequency Control of a Shielding Coil in Smartphone Application[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2020, 61(6): 2031-2039.
- [11] CHEN C, CUI M, LI F F, et al. Model-Free Emergency Frequency Control Based on Reinforcement Learning[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020(99): 1.
- [12] MAHDAVI M S, GHAREHPETIAN G B, MOGHADDAM H A. Enhanced Frequency Control Method for Microgrid-Connected Flywheel Energy Storage System[J]. IEEE Systems Journal, 2020(99): 1-11.
- [13] LIU B, WU T, LIU Z, et al. A Small-AC-Signal Injection-Based Decentralized Secondary Frequency Control for Droop-Controlled Islanded Microgrids[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2020(99): 1.
- [14] MAHATO B, JANA K C, THAKURA P R. Constant V/F Control and Frequency Control of Isolated Winding Induction Motor Using Nine-Level Three-Phase Inverter[J]. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, 2019, 43(1): 123-135.
- [15] MASOUD H, NAZARI. Communication-Failure-Resilient Distributed Frequency Control in Smart Grids: Part I: Architecture and Distributed Algorithms[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2019, 35(2): 1317-1326.

责任编辑: 曾钰婵