

文章编号:1671-251X(2014)09-0044-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.09.011

齐智文,曲兵妮,袁观娜,等.基于C8051F040单片机的软启动器设计[J].工矿自动化,2014,40(9):44-48.

基于 C8051F040 单片机的软启动器设计

齐智文¹, 曲兵妮², 袁观娜², 李祁琪¹, 于亚运²

(1.太原理工大学 信息工程学院, 山西 太原 030024;

2.太原理工大学 煤矿电气设备与智能控制山西省重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要:针对煤矿井下刮板输送机 and 粉碎机因启动电流大而损害电动机、影响其他设备正常运行的问题,采用 C8051F040 单片机控制晶闸管通断的方案设计了一种软启动器,介绍了该软启动器的总体结构,软硬件设计方案,以及电压斜坡启动、限流启动、电压突跳+电压斜坡启动、电压突跳+限流启动 4 种启动方式;对该软启动器的硬件电路进行测试,测试波形正确,验证了电路设计的合理性;以限流启动方式对该软启动器进行测试,结果表明该软启动器能够有效降低三相异步电动机的启动电流。

关键词:刮板输送机; 粉碎机; 三相异步电动机; 软启动器; 限流启动

中图分类号:TD614.5 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of soft starter based on C8051F040 single chip microcomputer

QI Zhiwen¹, QU Bingni², YUAN Guanna², LI Qiqi¹, YU Yayun²

(1.College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2.Shanxi Key Laboratory of Mining Electrical Equipment and Intelligent Control,
Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: For problem that large starting current of scraper conveyor and grinder used in coal mine underground could damage motors and influence normal operation of other devices, a soft starter was designed by use of C8051F040 single chip microcomputer to control thyristor on-off. The overall structure of the soft starter and design schemes of software and hardware circuits were introduced as well as four starting modes including voltage sloping starting, current-limiting starting, voltage stepping adding voltage sloping starting and voltage stepping adding current-limiting starting. The hardware circuits were tested with results of correct waveforms, which verified rationality of design of the circuits. Experimental test was carried out for the soft starter with current-limiting starting mode, whose result verified the soft starter could effectively decrease starting current of three phase asynchronous motor.

Key words: scraper conveyor; grinder; three phase asynchronous motor; soft starter; current-limiting starting

0 引言

三相异步电动机具有结构简单、可靠性高、成本低、维护方便等优点,广泛应用于各个领域。其启动电流通常为额定电流的 5~10 倍^[1],对电网造成较

大冲击;同时较大的启动转矩会对电动机和机械负载造成较大的机械应力冲击,损坏生产设备^[2-3]。这种影响在大功率三相异步电动机应用场合,如煤矿井下刮板输送机、粉碎机等尤为突出,不仅会损害电动机本身,还会对其他设备的正常运行及人员安全

收稿日期:2013-11-22;修回日期:2014-07-21;责任编辑:李明。

基金项目:山西省自然科学基金资助项目(2012011027-2)。

作者简介:齐智文(1987—),男,山西朔州人,硕士研究生,研究方向为控制工程与自动化技术,E-mail:qzw7012@163.com。

造成威胁^[4]。因此必须装备软启动器。

目前市场上的软启动器主要有星角软启动器、自耦变压器软启动器、串电抗软启动器、串联电解液式软启动器^[5]等,在一定时期得到了广泛应用。但这些软启动器体积大,成本高,布线复杂,控制功能简单,安全性差,正逐步退出软启动器市场^[6]。电力电子技术的成熟和发展,尤其是晶闸管的出现,为软启动技术提供了硬件支持^[7]。本文采用 C8051F040 单片机控制晶闸管通断的方案,设计了一种可对三相异步电动机进行降压启动的软启动器,以达到降低启动电流、减小启动机械应力冲击的目的。

1 软启动器启动方式及辅助功能

本文设计的软启动器具有电压斜坡启动、限流启动、电压突跳+电压斜坡启动、电压突跳+限流启动 4 种启动方式。在不同的应用场合,选择不同的启动方式,既能满足启动工艺要求,又能最大化降低启动电流。

电压斜坡启动方式通过控制触发角使输出电压从一个较小的电压逐渐增大到全压。电压增大的过程可以是线性的,也可以是分段线性的,可根据启动负载类型来调整。该启动方式属于开环启动方式,控制方法简单,适用于确定性且重复性高的负载。

限流启动方式通过适当的控制策略,根据主回路电流反馈值控制触发角大小,从而将电动机启动电流控制在一定范围内。限流值可以参数化设置,根据电动机容量和电网容量适当调整限流值与额定电流的比值,一般控制在 3~5。该启动方式适用于负载重复性不高的场合,其启动时间与负载大小有关,启动过程中电流不会超过设定的限流值。

电压突跳+电压斜坡启动方式在启动初始输出较大电压,经过一段时间后转为电压斜坡启动。该启动方式可有效解决启动初始启动转矩大的问题,同时也具备电压斜坡启动的优点,适用于启动摩擦转矩大的场合。但该启动方式在允许范围内增大了启动电流。

电压突跳+限流启动方式在启动初始输出较大电压,一段时间后转为限流启动。该启动方式既解决了启动初始启动转矩较大的问题,又具备限流启动的优点,但同样在允许范围内增大了启动电流。

该软启动器还可实现晶闸管过热保护、漏电保护、断相保护、过载过流保护、短路保护、堵转保护、晶闸管过压保护等保护功能,以及参数显示、参数设定、启动方式选择、软停车、多台软启动器联动等

功能。

2 软启动器硬件设计

2.1 软启动器硬件结构

软启动器总体硬件结构如图 1 所示。单片机接收漏电保护、晶闸管过热保护、按键信息,综合判断是否闭合接触器 K_1 、 K_2 。单片机根据同步信号、电流检测信号,通过程序运算输出一定规律的触发信号,经晶闸管触发电路触发晶闸管,改变电动机的输入电压和输入电压基波频率。单片机还负责控制软启动器电压、电流、系统时间、启动方式等的显示。

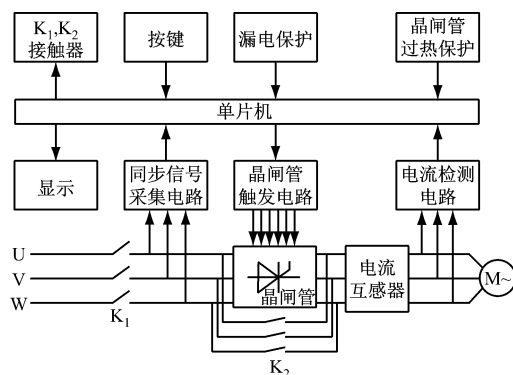


图 1 软启动器总体硬件结构

2.2 单片机

单片机选用 C8051F040,其集成了软启动器用于信号采集和控制的几乎所有外设及相关元器件,很大程度上减少了外围器件的数量。其最大系统时钟可达 25 MHz,内部包括 64 kB 的 FLASH 和 4 352 B 片内 RAM,12 位 100 ksps 的 ADC,PGA 和 8 通道模拟多路开关,以及 5 个 16 位通用定时器^[8-9]。

C8051F040 内部集成了 3 个电压比较器,这是软启动器设计选用该型号单片机的重要原因。三相电压同步信号的准确检测是软启动器正常工作的前提。目前常用的由 LM339 搭建的同步信号采集电路存在三相信号不对称、回差电压大、可编程性差等缺点。采用 C8051F040 内部电压比较器产生的电压同步信号可有效克服这些缺点。

C8051F040 内部电压比较器硬件电路配置为史密司比较器,正向回差电压、负向回差电压、响应时间都可以通过寄存器设置。正负向回差电压可设置为 0.5,10,20 mV,响应时间可设置为 0.1,0.5,1,4 μ s,大大提高了单片机系统的可编程性,便于软件调试。

2.3 同步信号采集电路

同步信号采集电路用于捕捉三相交流电压的过

零点时刻,并以方波形式发送给 C8051F040,作为延时触发角的零点基准。同步信号采集电路如图 2 所示。

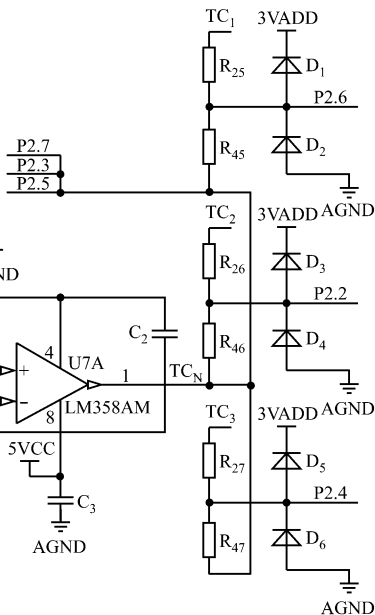


图 2 同步信号采集电路

因 C8051F040 内部已有电压比较器,外部电路只需提供同步电压模拟信号和比较基准信号,C8051F040 即可产生电压同步信号。由于 C8051F040 无法接收交流模拟信号,所以采用三相电压互感器将 380 V 电压转换为幅值较小的正弦信号,再经过电阻限流分压转换为幅值不超过 1.65 V (C8051F040 供电电压 3.3 V 的 1/2)的正弦电压。将 1.65 V 偏置电压与电压互感器中线输出 TC_N 连接,其中 1.65V 偏置电压由 R₂₈、R₂₉ 分压后经电压跟随器 LM358AM 提供。C8051F040 模拟地与 LM358AM 电源地 AGND 连接,即可将交流信号提升为直流信号。该直流信号被发送到 C8051F040 的 P2.2—P2.7 端口进行电压比较,从而生成电压同步信号。TC₁、TC₂、TC₃ 为三相电压互感器的二次侧输出,二极管 D₁—D₆ 起限压保护作用。

2.4 晶闸管触发电路

晶闸管触发电路可将 C8051F040 输出的晶闸管触发信号转换为具有一定功率的可触发晶闸管的驱动信号。软启动器共需要 6 路晶闸管触发电路,以其中 1 路为例进行说明,如图 3 所示。该电路采用宽脉冲触发方式确保晶闸管可靠触发,触发脉宽设为 28 个电角度($\frac{28}{360} \times 20 \text{ ms}$);采用 TLP521 光电耦合器实现以 C8051F040 为核心的弱电控制部分与晶闸管强电部分的隔离;采用 5 V 电压(5VCC1)

供电。当 C8051F040 端口 P3.5 为高电平时,TLP521 导通,三极管 Q₇ 导通,R₄ 两端电压触发晶闸管;当 P3.5 端口为低电平时,TLP521 不导通,晶闸管不触发。

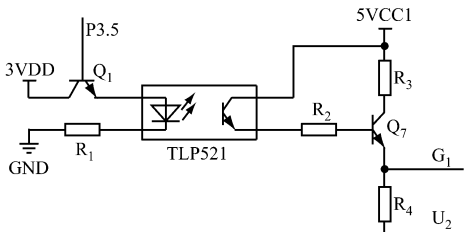


图 3 晶闸管触发电路

由于晶闸管采用反并联方式连接,6 路晶闸管触发电路的供电电源不能共地,否则可通过供电电源的地线将晶闸管短路,所以 6 路晶闸管触发电路的供电电源必须相互隔离。采用 6 个 2 W 的 DC/DC 电源模块将功率较大的 5 V 电压转换为 6 个功率较小的隔离 5 V 电压,为 6 路晶闸管触发电路供电。

2.5 电流检测电路

电流检测电路如图 4 所示。该电路用于将电流互感器的输出信号转换为 C8051F040 可接收的电压信号,由 C8051F040 进行 A/D 采样。采用 LCTA7CC-50 A/25 mA 三相电流互感器,用 50 Ω 精密电阻取样,采集幅值不大于 1.76 V 的交流电压信号。该交流电压信号经 LM358AM 做加法运算转换为符合 C8051F040 采样要求的直流电压信号。C8051F040 对采样信号进行滤波、程序运算后得到电流有效值。TA3 为三相电流互感器的 1 路输出,二极管 D₇、D₈ 起限压保护作用。

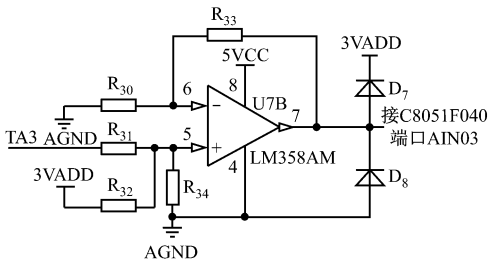


图 4 电流检测电路

3 软启动器硬件电路测试

对同步信号采集电路进行测试,结果如图 5 所示(仅给出单相电压波形)。寄存器设置响应时间为 1 μs,可看出电压同步信号的上升沿和下降沿几乎为电源电压信号的过零点,完全满足软启动器的同步信号要求。

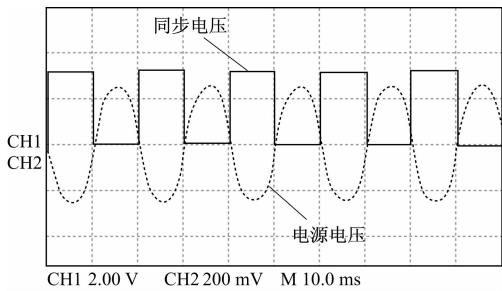


图 5 同步信号采集电路测试结果

对晶闸管触发电路进行测试,结果如图 6 所示。在触发脉冲上升沿时刻,晶闸管导通,此时晶闸管压降几乎为 0;电压换向时晶闸管截止,此时晶闸管两端电压等于供电电压。可见晶闸管在触发脉冲的作用下能够及时、有效地导通。

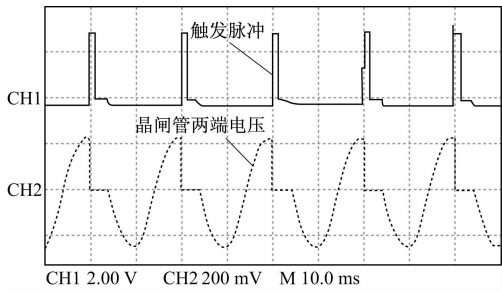


图 6 晶闸管触发电路测试结果

4 软启动器软件设计

软启动器功能分支较多,选择模块化设计方式。主程序主要执行初始化、故障排查、保护、参数设定和启动方式检测等任务。主程序可调用同步信号检测、显示、各启动方式、触发等子程序。

多种启动方式中,最核心的是限流启动方式,其他启动方式几乎都要调用该启动方式子程序。限流启动方式通过不断测量电流有效值,并与设定限流值进行比较,从而实现触发角调节。该子程序流程如图 7 所示。

5 实验测试与分析

为验证软启动器设计的正确性,采用一台三相异步电动机进行实验。电动机参数:额定功率为 3 kW,额定电压为 380 V,额定转速为 1 440 r/min,额定电流为 6.1 A。以限流启动方式启动电动机,设定限流值为额定电流的 4 倍(24.4 A),负载为额定负载(20 N·m),由磁粉制动器提供负载。电动机限流启动和直接启动结果如图 8 所示。其中横轴为时间,min;纵轴为电流有效值,A,B,C 分别表示电动机三相线电流有效值,A。

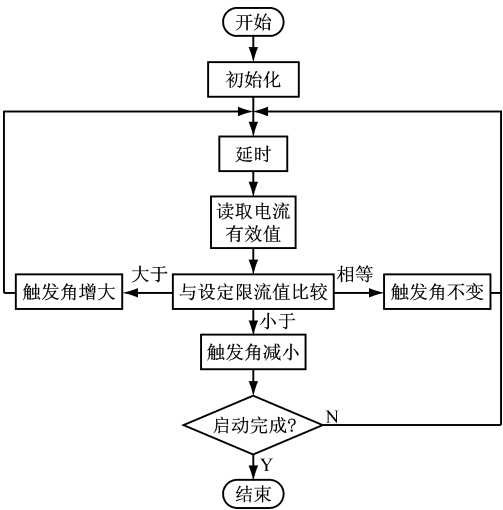


图 7 限流启动方式子程序流程

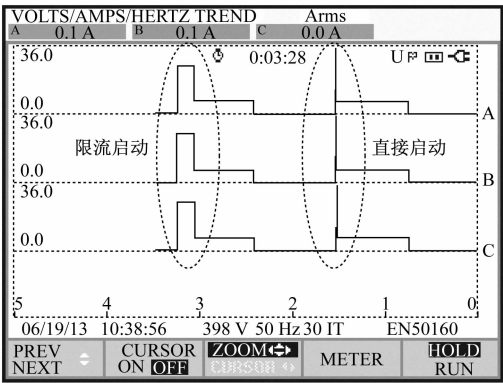


图 8 限流启动和直接启动实验结果对比

从图 8 可看出,采用软启动器以限流启动方式启动电动机时,启动过程用时约 10 s,完成启动后电动机以额定电流运行;电动机直接启动时,电流有效值在极短时间内上升到 36 A,约为额定电流的 6 倍。可见限流启动方式能够有效限制三相异步电动机的启动电流。

6 结语

软启动器采用单片机控制晶闸管通断的方法,具有较强的稳定性和可靠性,以及容量大、成本低、控制性能优越等特点。测试结果表明,该软启动器硬件电路设计合理,测试信号波形正确,并可有效降低三相异步电动机的启动电流,可应用于煤矿井下刮板输送机、粉碎机等设备。

参考文献:

[1] 李涛丰,汪洪亮,康勇,等.大功率电机直接起动的逆变器控制模式切换策略[J].电工技术学报,2012,27(6): 69-76.
[2] 潘克战,赵广胜,唐维萍.基于 ARM 和 CPLD 的三相

- 异步电动机智能软启动器的设计[J]. 工矿自动化, 2010,36(4):114-117.
- [3] 余致廷,郑勇,张前海,等. 基于多级离散变频的高转矩软启动技术[J]. 电源技术,2012,36(9):1374-1376.
- [4] 苗继军,赵利杰,王俊伟. 软启动器在煤矿大采高工作面中的应用研究[J]. 工矿自动化,2013,39(3):23-26.
- [5] 宁国云,袁佑新,黄声华,等. 大型电动机软启动装置性能分析与比较[J]. 电气传动,2011,41(8):52-57.
- [6] 陈博. 基于 PLC 的高压大电机磁控软启动装置[J]. 武汉大学学报:工学版,2012,45(2):220-224.
- [7] 方舒燕. 电力电子技术及在电力系统中的应用现状及前景[J]. 高电压技术,2005,31(5):64-66.
- [8] 李明东,黎文安,任波,等. 基于 C8051F040 单片机的介质损耗变频测量仪设计[J]. 电力自动化设备,2006,26(9):51-53.
- [9] 张锐,孟庆洪,彭勇,等. 开放式 PLC 及其扩展模块的实现[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2005,29(1):147-150.