

# 大功率三相异步电动机软启动技术研究

王绍存 刘斌 宋允臣

( 山东鲁南精工机械有限公司 山东 枣庄 277599 )

**摘要:**三相异步电动机的特点是价格便宜、结构简单、维修方便等。本文对大功率三相异步电动机软启动技术进行了研究,提出一种高性能数字式电机软起动器。该起动器的结构比较复杂,是由上位机与下位机并行,不但包括通讯、过流保护、定子侧线电压电路,还由晶闸管移相调压、线电流模拟信号数据采集、按键及液晶显示、电机功率因数检测、IGBT斩波调压、电机转速检测、IGBT驱动等多个电路共同组成。软异步电动机软启动控制的实现采用FPGA,在软件的配合下软启动器各部分电路才能协调起来,完成系统的主要功能,包括系统保护、管理、起停控制、通讯等。仿真表明,相比于全压启动的功率1.45kW,三相异步电动机节能软启动功率为0.303kW,可节能79.10%。

**关键词:** 软启动; 电动机; 三相异步; 大功率; 节能

## 1 三相异步电动机软起动器硬件设计

在本次研究中对电子软起动器的设计,是与三相异步电动机软起动方法相结合后完成的,该起动器具有轻载节能、电机软起动、软停车等功能。单片机是系统的核心,其特点是具有较高的可靠性,体积小、功耗低、安装和维护等都比较方便。

### 1.1 三相异步电动机软起动器的整体结构

三相异步电动机的软起动器由多个电路构成,其整体结构如图1所示。

起 动三相异步电动机之前，要打开交流接触器的开关，也就是说 J1、J2 处于被打开状态，对上位机进行操作，输入电动机参数时，对起 动时间与方式作出规定，同时还要明确过流过压保护与制动方式，晶闸管模块移相调压控制信号在此基础上才能进行输出，此项操作是由系统上位机来完成的，同步进行软起 动异步电动机的操作，三相电网掉相、过流保护随之运行，还要运行三相不平衡保护电路、缺相，并且检测三相交流电的操作也要进行，将其状态确定下来，以加载电动机定子电流作为操作方式，使系统能够稳定运行。在装置 LCD 时需

要数据采集模块来进行，在完成后可以把系统线电流、线电压、功率因数以及电机转速的具体情况显示出来，动态展示系统工作状态，起动操作完成后，旁路起动器和交流接触器 J2 被起动，实施对电动机及电网的连接，采取这种做法可以使起动器的寿命被延长。

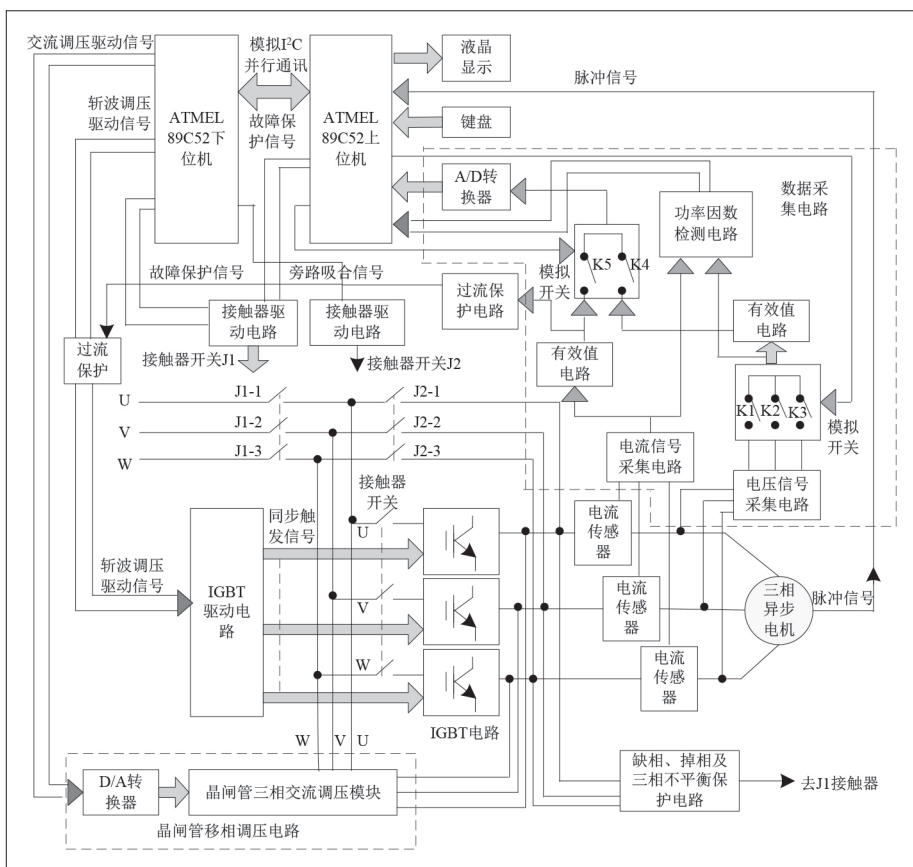


图 1 三相异步电动机软起动器整体结构图

电动机被启动后保持稳定运行，在监测电动机状态时需要把采集电路利用起来，具体包括采集、存储、显示定子侧加载线电流、电机转速与功率、线电压，除此之外还要获取电机功率因数等信号，在此基础上检测系统过流、缺相、欠压、过压情况。上位机把信息提供给下位机后，系统保护由下位机负责，随之产生了软启动和软停车驱动信号，同时还要进行启动参数计算、分析、反馈等操作。对于任意时刻输出脉宽宽度值能够进行自动计算是所要达到的设计目标。在晶闸管移相调压时需要在三相交流调压模块的基础上进行，所采用的是 TY-380D409-220 型号，在该模块的作用下使电路中分立元件多、可靠性能较低、结构复杂等问题被解决。

1.2 模拟 / 数字转换电路

在数据采集集中，模拟数字转换电路属于重要一环，模数转换采 ADS1110 转换器。图 2 为 ADS1110 与上位机接口电路图，其中在 Vin+ 与 Vin- 间，模拟输入电压要确定具体的范围，即 (GND-0.2V)~(VDD+0.2V)，以此来对 ADS1110 进行保护，而 DW1 和 C1 的接入操作是在模拟输入端来进行的。

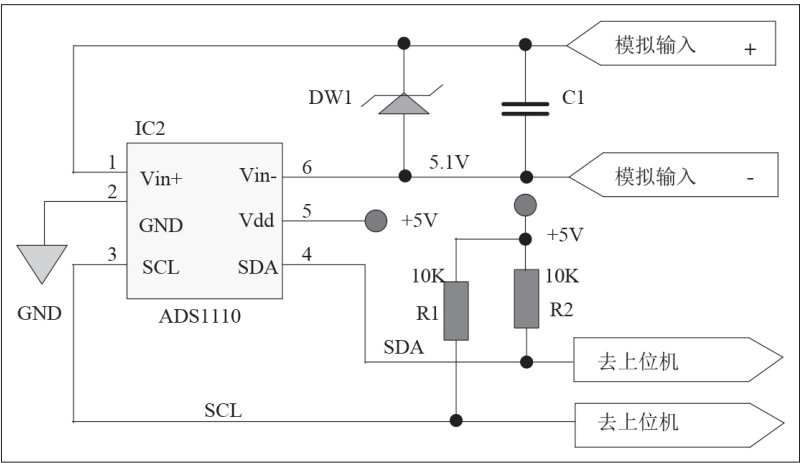


图 2 ADS1110 与上位机接口电路

1.3 节能软启动控制器主电路的设计

1.3.1 晶闸管电流容量的选择

晶闸管对工作环境有着一定的要求，温度 +40℃，同时还要具备一定的冷却条件，处于电机带负载运行状态时，在单相工频正弦半波的作用下，可以全导通晶闸管。在应用时必须要把每一相两个反并联晶闸管导通角取值范围确定，即处于 0°~180° 之间，晶闸管最大平均电流会在这个范围内产生，为了获取电流容量的准确数值需要通过  $I_N = (2 \sim 3)I / K_f$  公式来加以计算。

1.3.2 晶闸管的耐压选择

通过回路接法、电机容量、激励电流等数值把晶闸管耐压值确定下来。若电路有过压滤除功能，晶

闸管额定电压通过  $U_N = (2 \sim 3)\sqrt{2}U$  计算，晶闸管型号为 SEMIKRON 公司的 SKKT250。系统要对保护措施进行设置，在此基础上输入回路才能够保持正常的运行状态。过电流会损害晶闸管，晶闸管在过电流数值较大时可能被击穿，在电路中，采取设置过电流保护装置后可以使此问题得到解决。交流断路器有熔断器功能，确保晶闸管不受过电流损害。本次研究的实用性较强，在每一相晶闸管两端会与 Rc 阻容吸收回路之间，软启动器会形成并联，对电压上升具有较强的限制作用。

2 软启动控制系统的软件设计

FPGA 为软启动控制器控制工作，其逻辑单元采用 PROM 形式的查表结构，占用芯片面积很小，具有较快的反应速度。FPGA 为 RAM 型编程方式，其须和存储器芯片连用，防止掉电后丢失信息，配置芯片在每次上电时，在其工作时可进行程序信息更换。本研究软件控制工作采用 ALTERA 公司的 ACEX 系列 FPGA 芯片进行。

2.1 ACEX1K 系列器件

低功耗是 ACEX1K 系列器件性能特点，对于低功耗系统设计比较适用。芯片内 RAM，I/O 管脚具有完善功能。在其内部由快速通道技术将其连接起来，具有提高速度的作用，能够对连线传输延时作出预测。把专用进位链技术应用其中，可以大幅度提高加法器、计数器的速度。ACEX1K 系列器件将嵌入式阵列块技术、查表法相结合，提供高效低耗设计结构。嵌入式阵列块技术便于实现 ROM、RAM、FIFO、双口 RAM 等功能，这两种技术组合应用于复杂的存储器功能、逻辑功能。ACEX1K 系列芯片内部核心电压为 2.5V，功耗大幅降低。下表为部分系列器件内部逻辑组成。

表 ACEX1K 系列器件内部逻辑组成

| 器件编号    | 逻辑门数   | 逻辑单元数 | 嵌入式阵列块数 | RAM 数 | 寄存器数 | 最大 I/O 管脚数 |
|---------|--------|-------|---------|-------|------|------------|
| EP1K10  | 10000  | 575   | 3       | 12195 | 720  | 132        |
| EP1K30  | 30000  | 1718  | 6       | 24602 | 1335 | 174        |
| EP1K50  | 50000  | 2892  | 10      | 40898 | 1952 | 252        |
| EP1K100 | 100000 | 4989  | 12      | 49214 | 3175 | 340        |

2.2 FPGA 实现异步电动机软启动控制的系统功能框图

本研究异步电动机软启动控制的实现采用 FPGA。图 3 所示为 Altera 公司的 ACEX1K-EP1K30TC144-3 内部实现框图。

基于 FPGA 三相异步电动机软启动器可使以下功能得到实现：在设定启动、停车时间时，设置三位显示及

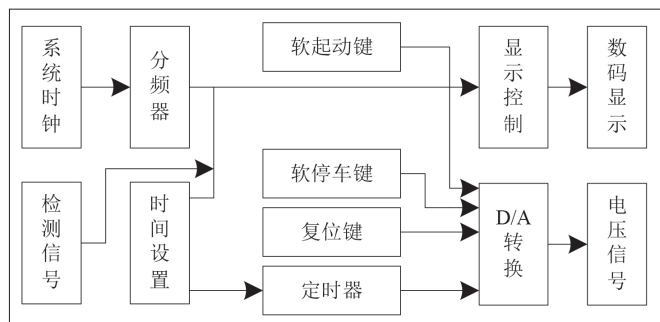


图 3 FPGA 控制的软起动实现框图

四位按键；开关 1 属于奇偶键，对软起动时间、软停车时间设置具有切换的功能。开关 2 对每一位数字 0 ~ 9 进行循环操作；开关 3 为光标键，其作用是确定设置位，确定起动初始电压是可调的，为 UN16 级，其状态为全压起动 100%。起动电流 IN7 级可调节，电机最大起动电流在所设定的范围内得到限制。可使用软起动器上转换开关，选择自动、手动控制。软起动器上 Modbus 接口完成通信，可实施远程操作。通过将电压、电流、功率因数等模拟信号经 ADC0809 送入 ACEX1K-EP1K30TC144-3 并进行处理，在判断后由状态指示灯显示。

## 2.3 系统主程序设计

以软件来配合协调软起动器各部分电路操作, 系统主程序流程图如图 4 所示, 完成系统的主要功能包括系统保护、管理、起停控制、通讯等。

### 3 结语

三相异步电动机特点是价格便宜、结构简单、维修方便等,本文对大功率三相异步电动机软启动技术进行了研究,得出以下结论:

(1) 在晶闸管调压电路和软起动器电路工作原理的基础上, 提出一种高性能数字式电机软起动器, 该启动器由上位机与下位机并行, 不但包括通讯、过流保护、定子侧线电压电路, 还由晶闸管移相调压、线电流模拟信号数据采集、按键及液晶显示、电机功率因数检测、IGBT 斩波调压、电机转速检测、IGBT 驱动等多个电路共同组成。

(2) 软异步电动机软起动控制的实现采用 FPGA, 在软件的配合下软起动器各部分电路才能协调起来完成系统的主要功能, 包括系统保护、管理、起停控制、通讯等。

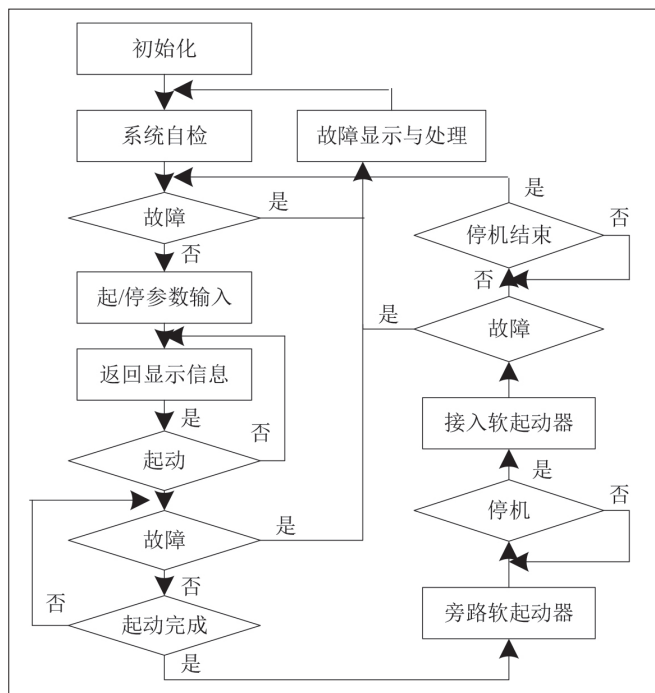


图 4 系统主程序框图

(3) 全压和直接两种启动的仿真结果表明, 在软启动时, 在达到设定电流限制时保持恒定直至启动结束, 避免瞬时冲击电流造成的不利影响。相比于全压启动的功率 1.45kW, 同时把三相异步电动机节能软启动功率确定下来, 即为 0.303kW, 可节能 79.10%。

## 参考文献:

- [1] 王智宇. 三相异步电动机直接启动与限流式软起动的 MATLAB 对比仿真 [J]. 中国设备工程, 2017(20): 76 - 78.
- [2] Sundareswaran K, Srinivasarao N P. Ant colony based feedback controller design for soft-starter fed induction motor drive [J]. Applied Soft Computing, 2012, 12(5): 1566 - 1573.
- [3] Syed A R K, Muhammad A S. A Neuro fuzzy application: soft starting of induction motors with reduced energy losses [J]. Electric Power Components and Systems, 2012, 40(12): 1339 - 1350.
- [4] 樊立萍, 张亮. 异步电动机的模糊软起动仿真 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(3): 123 - 126.
- [5] 常雨芳. 高压大功率电动机自耦磁控软起动方法及其关键技术研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.