

# 交流电动机软起动控制器的设计

骆德汉\* 郎文辉

(中国科学技术大学经济技术学院 合肥 230052)

【摘要】介绍交流电动机升压限流软起动技术和软起动控制器，给出交流电动机软起动的基本概念，分析升压限流软起动的基本原理，并对软起动控制器的软硬件设计作介绍，重点讨论了以8098单片机为核心，以无触点可控硅为主要控制器件的软起动控制器的硬件结构，给出了软件主体结构框图和核心程序——同步信号产出的中断服务程序的设计思想和方法。

关键词 交流电动机；升压限流；单片机

中图分类号 TM 921.51

交流电动机过大的起动电流会引起较大的电网线路压降，加速电动机绕组绝缘老化，造成对生产设备的冲击，并影响设备的工作稳定性和寿命等等。为解决交流电动机起动性能不良的影响，可采用软起动技术。软起动可分为变频调速控制和电力电子调压控制起动，用变频器控制交流电动机起动，适合于风机、泵类等负载速度需要调节的应用场合，采用软起动器控制交流电动机起动，适合于负载大且速度不需要调节的机械传动系统<sup>[1~3]</sup>。

电动机由软起动控制器控制起动不仅可抑制过大的起动电流，而且起动电压和起动时间均可调，相对于变频调速设备，具有结构简单、价格低廉、使用可靠、易于维护等优点，在大功率交流电动机上获得越来越广泛的应用。

## 1 软起动原理

电动机软起动是一种连续无级渐渐升压限流起动方式，其主要思想是通过软件控制，使电动机在起动时，定子电压由某一初始值逐渐上升至全电压，并在电压上升过程中，限制起动电流的增加，以实现小电流起动，大电流工作。即软起动是以软件控制代替常规继电器线路控制来满足电动机平稳升压起动。

软起动器是一种以实现软起动思想为基础，硬件以微处理器控制为核心，以无触点可控硅为主要控制器件的交流调压装置，在软件的支持下实现电动机升压限流起动，并在电动机起动后继续参与电动机的运行控制。

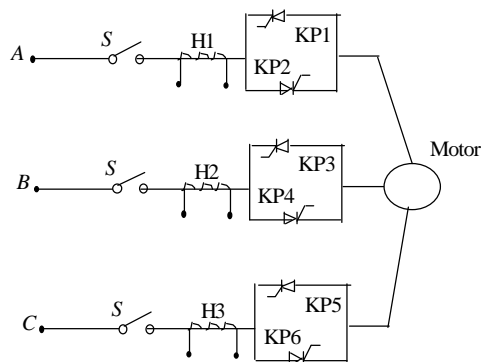


图1 软起动控制器主回路原理图

图1是软起动控制器主回路控制原理图。由图1可知，电动机定子电路中接入了可控硅电子调压装置和定子电流检测装置。调压装置由6个可控硅KP1~KP6组成，三相定子电流检测分别由霍尔传感器H1、H2、H3完成。在起动过程中，可控硅KP1~KP6的触发角由软件控制，从而使加在交流电动机三相定子绕组上的电压由零逐渐平滑地升至全电压。同时，电流检测装置检测三相定子电流并送给微处理器进行运算和判断，当起动电流超过设定值时，软件控制升压停止，直到起动电流下降到低于设定值之后，再使电机继续升压起动。若三相起动电流

2001年3月15日收稿

\* 男 43岁 博士 教授

不平衡并超过规定的范围，则停止起动。另外，由电机学原理可知，当电动机的输入电源频率不变时，电动机的输出转矩与输入电压的平方成正比。因此，软起动不仅使电动机定子电压连续平滑地增加，实现了升压限流起动，而且避免了电动机起动转矩的冲击和不平稳的现象。

## 2 软起动器硬件设计

软件起动器硬件结构一般由可控硅主电路、同步电压产生电路、电流信号采集处理电路、移相触发电路和以单片机为核心的系统扩展电路组成，硬件结构框图如图2所示。

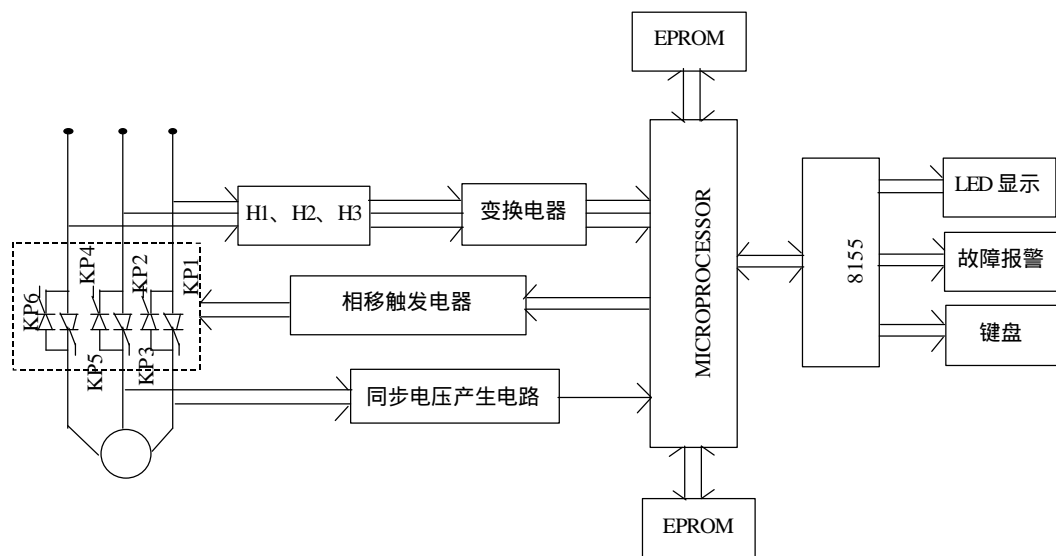


图2 软起动器硬件结构框图

### 2.1 可控硅主电路

软起动器电压控制主电路由三相反向并联可控硅KP1~KP6组成，可控硅的导通角由移相触发电路控制，并只需很小的电压即可控制其通断，从而实现对电动机起动电流的限制。

### 2.2 同步电压产生电路

图2给出了可控硅同步电压产生电路的框图，同步电压取自主回路电源线电压 $U_{AB}$ ， $U_{AB}$ 由同步变压器降压后作用于桥式整流电路，整流后的电压经比较器比较，通过整形、限幅后得到方波信号，该方波信号滞后 $U_{AB}$ 正向过零点 $60^\circ$ ，将此信号作为同步电压中断请求信号送入单片机系统。

### 2.3 移相触发电路

单片机系统接收到同步电压信号下降沿的中断请求后，中断服务程序产生同步移相触发信号，该信号通过移相触发电路作用在可控硅触发端，实现A相可控硅触发控制。因主电路的对称性，B、C相同步移相触发信号的产生不再需要另外硬件电路，只需单片机系统通过软件每半周产生3个彼此相隔 $60^\circ$ 的移相信号作为三相独立的同步触发信号，分别通过移相触发电路作用于主电路A、B、C三相可控硅触发端，并由软件确保三相平衡控制触发脉冲宽度相同，从而满足精确触发要求。

### 2.4 电流信号检测

电动机软起动时，三相定子电流分别由霍尔传感器H1、H2、H3检测，并经整流、放大后变换为 $0\sim+5\text{ V}$ 的信号进入单片机系统的A/D接口，通过软件对其进行计算处理，并通过高速输出端输出一定宽度的移相触发脉冲控制可控硅的导通角。

### 2.5 单片机系统

该系统选用Intel 8098单片机作为控制器,配置64K EPROM程序存储器和8 K非易失性EEPROM存储器,并用一片8255进行键盘输入、故障报警和LED输出的I/O口扩展。变换后的三相电流信号直接接入8098的A/D口的输入端,同步电压信号接入8098的HSL<sub>0</sub>产生高速输入中断请求信号。供给三相可控硅触发端的触发脉冲由HSO<sub>0</sub>、HSO<sub>1</sub>、HSO<sub>2</sub>输出端输出。由于系统有6个可控硅,而每个可控硅又必须提供上升沿和下降沿两个触发信号,因而本系统采用了分级触发策略。

### 3 软起动器的软件设计

软起动器的软件由主程序和中断服务子程序组成。为使控制程序设计简洁方便,主程序采用了模块化结构编程方式。

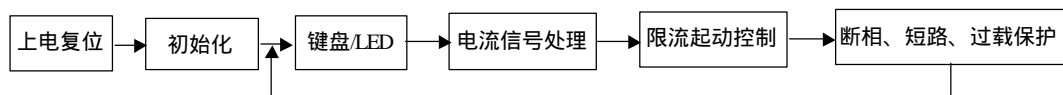


图3 主程序结构框图

#### 3.1 主程序结构

系统主程序结构框图如图3所示,它主要由初始化、键盘/LED输入/输出、电流信号采集处理、限流软起动控制以及断相、短路及过载保护等模块构成,各模块功能如下:

- 1) 初始化模块:初始化模块对系统中断向量、程序状态标志、控制参数等进行设置,同时对系统相关硬件,如存储器、8255、触发电路等进行自检,发现故障则报警退出;
- 2) 键盘/LED输入/输出模块:键盘/LED输入/输出程序用于读入键盘输入信号和显示软起动器有关输出参数;
- 3) 电流信号采集处理模块:该模块程序将定子电流变换信号,即0 ~ +5V的电压信号进行A/D转换,并进行处理后供给CPU产生一定宽度的相触脉冲;
- 4) 限流软起动控制模块:限流软起动控制模块程序根据采集的三相定子电流信号的大小,以同步信号为基准,依次轮流产生六路三相触发脉冲,各相触发脉冲宽度,即各可控硅导通角由相应定子电流信号的大小控制,从而实现起动电流闭环控制;

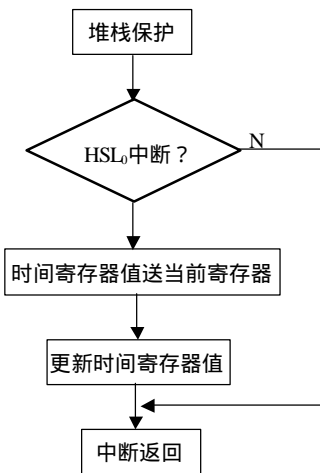


图4 同步信号中断服务子程序框图

- 5) 断相、短路及过载保护模块:该程序是为了提高系统的安全性而编制。它依据检测三相定子电流的大小来判断系统工作是否正常,若三相定子电流值超过规定的范围,则系统进行保护和报警。

#### 3.2 中断服务程序结构

系统中断服务程序有同步电压信号检测中断服务子程序和软件定时中断服务子程序,前者主要用于检测和产生同步信号,后者产生各相一定宽度的触发脉冲。

##### 3.2.1 同步信号中断服务子程序

当系统同步电压信号作用于8098的HSL<sub>0</sub>时,因初始化程序设置了相应中断向量并令其下降沿产生中断,从而程序进入同步信号中断服务子程序,高速输入单元中的时间寄存器自动记录此中断发生的时刻,中断服务程序读出时间寄存器值,从而确定了同步信号发生时刻,其程序框图如图4所示。

##### 3.2.2 软件定时中断服务子程序

系统以测得的同步信号发生时刻为基准，在一个电源周期 $T$ 内，产生6次软件定时中断，使6个可控硅依次触发一遍，即要求每间隔 $T/6$ 时间就触发一个可控硅。

当系统收到软起动指令后，中断服务程序根据设定的软起工作方式和时间，计算出每个 $T/6$ 时间间隔应前推或后推的可控硅触发角度，然后，在每个 $T/6$ 时刻到来时，计算出该时刻应触发哪个可控硅及触发脉冲的宽度，直至可控硅输出全电压。同时，根据A/D转换子程序所测得的三相定子电流值，判断电流是否超过设定的最大起动电流，若超过设定值，则停止可控硅触发角推移，等待电动机转速上升至电流低于设定值之后，继续自动推移可控硅触发角，直至输出全电压，从而实现限流起动控制。

## 4 结束语

本文所介绍交流电动机升压限流软起动技术已在实践中得到良好的应用效果，系统硬件的设计具有较好的可靠性，系统软件结构简单合理，具有较大的参考价值。

### 参 考 文 献

- 1 孙旭东. 大容量同步电动机的软起动控制. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(9): 22~25
- 2 龚世纛. 感应电动机综合控制系统. 电力电子技术, 1997. 2: 12~15
- 3 Chen Qigong. Fuzzy observation for stator resistance of an induction motor in a direct torque control system. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1999, 28(3): 291~294[陈其工. 直接转矩控制系统中感应电机定子电阻模糊观察. 电子科技大学学报, 1999, 28(3), 291~294]

## Design of Soft Starter for a.c. Motor

Luo Dehan      Lan Wenhui

(College of Economic Tech., University of Science & Technology of China Hefei 230052)

**Abstract** In this paper, the concept of a soft starter for a.c. motor is introduced. The technique boosting voltage with limited current is presented when the motor starts, and the design approach of soft starter is discussed. The hardware architecture of the starter is described, the block chart of interruption program for producing synchronal signal is given in details.

**Key words** a.c. motor; boosting voltage with limited current; soft starter