

# 基于 DSP 和 CPLD 的全数字交流软启动器

唐海红, 赵中原

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)



第一作者 唐海红

**摘要:** 本文介绍了以 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320LF2407A 为核心控制元件, Altera 公司的 MAX II 系列 CPLD 芯片 EPM 1270 作为外围逻辑电路扩展, 以晶闸管改变导通角调压的控制方式, 利用 PI 控制算法实现的全数字高性能软启动系统。作者在深入分析软启动器控制方法和启动模式的基础上, 介绍了该软启动器的设计和调试工作, 具体为:

1. 控制部分电路硬件设计;
2. DSP 控制器的程序设计;
3. 实现了以启动电流和电压为主要控制指标的四种软启动模式和两种软停机模式。

**关键词:** 数字信号处理器; 复杂可编程逻辑器件; 晶闸管调压; PI 控制算法

**中图分类号:** TP303+3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1817-0633(2007)05-0053-03

## DSP and CPLD-based Digital AC Soft Starter

TANG Hai-hong, ZHAO Zhong-yuan

(School of Electronic Engineering, UESTC, Chengdu 610054)

**Abstract:** The paper introduces a digital soft starter of high performance, with the DSP chip of TMS320LF2407A produced by TI as the core of controller, Altera-made MAX II series CPLD chip EPM1270 as the extension of peripheral logic circuits, it adopts the method on PI control algorithm that changes the output voltage by setting the triggering angle of thyristors. The author describes in detail the design and debugging of the soft starter based on a deep analysis of the controlling scheme and starting modes, as follows:

1. Design of the circuit of controller;
2. Design of the program on DSP;
3. Implementing four modes of soft starting and two modes of soft stopping, the starting current and voltage as the main control target of the above modes.

**Keywords:** DSP; CPLD; Voltage Regulating by Thyristor; PI Control Algorithm

## 0 引言

异步电动机的启动就是转速从零开始到稳定运行为止的这一过程。衡量异步电动机启动性能的好坏要从启动电流、启动转矩、启动过程的平滑性、启动时间及经济性等方面来考虑, 其中最主要的是:

- (1) 电动机应有足够大的启动转矩。
- (2) 在保证一定大小启动转矩的前提下, 启动电流越小越好。

由于刚启动时差转率  $s=1$ , 忽略励磁电流, 启动电流即短路电流, 数值很大。一般电动机的启动电流可达额定电流值的 4~10 倍。这样大的启动电流, 一方面使电源和线路上产生很大的压降, 影响其他用电设备的正常运行, 使电灯亮度减弱, 电动机的转速下降, 欠电压继电保护动作而将正在运转的电气设备断电等; 另一方面将引起电机发热, 特别对频繁启动的电机, 发热更为厉害。而且, 启动时虽然电流很大, 但定子绕组阻抗压降变大, 电压为定值, 则感应电动势将减小, 主磁通  $F_m$  也将减小; 而启动时功率因素很小, 从转矩的物理表达式  $T=CT\phi_m I'2\cos\phi2$  可看出, 此时启动转矩并不大。

传统的启动方法一般分为直接启动和降压启动。直接启动最为简单, 但启动电流非常大, 其危害如前文所述; 减压启动是指电动机在启动时降低加在定子绕组上的电压, 启动结束时加额定电压运行的启动方式。减压启动虽然能降低电动机启动电流, 但由于电动机的转矩与电压的平方成正比, 因此减压启动时电动机的转矩减小较多, 故此法一般适用于电动机空载或轻载启动。

软启动器是一种集电机软启动、软停车、轻载节能和多功能保护于一体的新颖电机控制装置。软启动器主要由串接于电源与被控电动机之间三对反并联晶闸管调压电路构成。现代软起

动器基本上都采用了电力电子技术和微机控制技术, 以单片机作为中央控制器控制核心来完成测量及各种控制算法, 因此, 软启动器具备了很强的功能和灵活性。软启动器主要是通过 PID 算法实现电流、转矩的闭环控制, 以及通过实时检测功率因素以实现电机轻载运行时的节能。由于交流异步电动机的广泛应用, 数字化智能软启动器拥有一个巨大的市场。目前国内不少公司和科研院所都作了智能软启动器相关的研发, 并且北京、西安、天津、上海等多家企业都有自己的软启动器产品上市。尽管智能软启动在国际上已经是一项比较成熟的技术, 国内在将其转化为生产力的路上却才刚刚起步。现阶段国内上市的产品多处于推广试验阶段, 均存在着这样或那样的不足, 在通用性、智能化、可操作性、多机联网等诸多方面都还远未能满足市场的要求。因此现阶段数字化软启动器的开发在节约能源和提高生产效率方面仍然有它的意义。

## 1 系统的控制方案

软启动器本身的作用是防止直接启动造成对电网的冲击和对机械部分的冲击, 因此衡量异步电动机启动性能的好坏主要从启动电流、启动转矩、启动过程的平滑性、启动时间及经济性等方面来考虑。电流和转矩便成为软启动器实现闭环控制最重要的反馈量。电机上的电压是软启动器直接控制的量, 对电压的控制实际是为了满足电流和转矩的要求。电机是感性负载, 且功率因素在启动过程中并不是一个恒定值, 加在电机上的电压不能反映电机启动性能, 因此不需要对电压进行闭环控制。一方面, 转矩控制的软启动方式主要应用在一些对启动转矩要求严格的重载启动场合, 一般要求被控制的电机有转矩传感器, 而电流反馈则对电机没有特殊要求, 应用在对启动转矩要求不严格

的大多数场合;另一方面转矩控制也需要电流控制的配合,电流成为必需的反馈量。所以我们侧重对电流信号处理进行描述。根据功率输出公式  $P_{输出} = \sqrt{3} * I_{实际} * U_{实际} * 功率因数$  (输出功率=实际电流 \* 实际电压  $U$  \* 根 3 \* 功率因数), 我们可以通过改变加于电机两端的电压来控制输出功率的大小。

本系统采用变导通角调压的控制方式, 因此最高的控制频率取决于工频交流电的频率。我国的交流电频率是 50Hz, 每相电换相一次可以进行一次调压, 三相电各相差 120 度, 每 20ms 有 6 次换向, 因此最高控制频率为 300Hz, 即每 3.3ms 控制一次。控制器之前的前级电路(本文中由 CPLD 担任)将每相的换向点取出, 变换成脉冲, 然后将 3 路换向脉冲相加, 形成 300Hz 同步换向脉冲送 DSP 触发控制算法的执行。DSP 的程序保证控制算法和控制量的输出与这个同步换向脉冲严格同步。在 CPLD 将二进制的延时控制量转化为控制可控硅的触发脉冲的模块中, 触发脉冲的延时则以和三相相电压过零点同步的三相同步脉冲为基准。

增量式 PI 控制示意图见图 1:

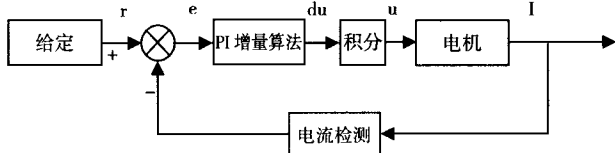


图 1 增量式 PI 控制示意图

节能控制是通过软启动控制部分不断检测电机的工作状态, 从而改变输入的电压。当检测到电机在轻载或负载之间不断变化时, 通过可控硅能在百分之一秒内调整输入电机的电压, 使电机的输出功率与实时负载刚好匹配, 从而减低铜损、铁损, 改善电机启动、停机性能, 从而达到节能和改善系统性能的目的。

## 2 控制系统硬件设计

整个硬件电路分为主电路和控制电路, 系统结构框图如图 2:

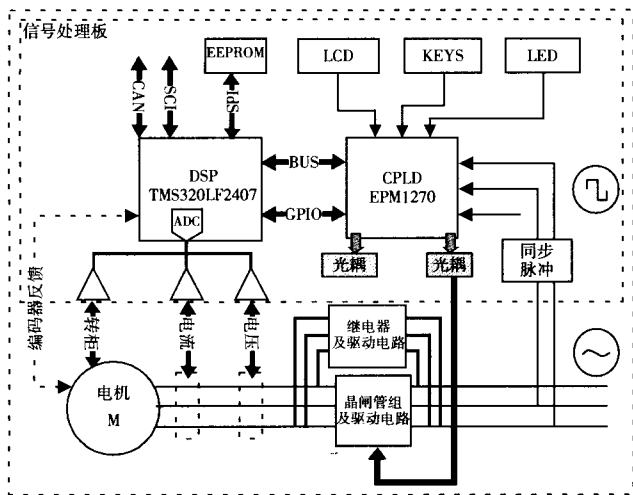


图 2 系统结构框图

主电路主要是由晶闸管、继电器及配套的驱动电路和电流互感器构成。控制部分的触发信号经光耦到达驱动电路, 经过驱动电路放大后的脉冲再通过脉冲变压器耦合到晶闸管的门极和阴极, 实现触发。控制电路主要包括: 中央控制单元, 同步脉冲形成单元, 反馈信号调理单元; 控制电路的开关量形式的输出信号均通过光耦和主电路接口, 以保证强弱电的隔离。

中央控制单元实现以下功能:

- (1) 采集反馈信号, 实现控制算法, 和三相同步脉冲同步送出触发脉冲。
- (2) 实现各种保护功能。
- (3) 控制 LCD 显示, LED 指示灯显示和键盘输入, 实现人机交互。
- (4) 存储和读取相关参数。

同步脉冲形成单元是形成于三相电同步的方波, 为中央控制单元提供可作为参考的同步信号, 为中央控制单元送出控制量和实现缺相检测的必要信号。

同步脉冲的形成:

- (1) 通过差动放大电路实现相电压的两两相减, 并给予一定倍数的衰减, 得到三路幅度适当, 相位等于三相线电压的正弦波。
- (2) 经过上一步得到的三相同步正弦信号, 再经过迟滞比较器, 将正弦波转变为同步的方波信号即同步脉冲信号并滤除电源中的脉冲干扰。

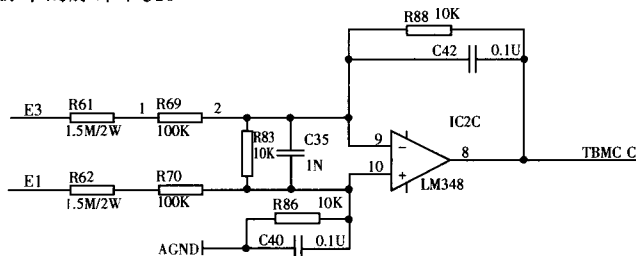


图 3 差动放大电路

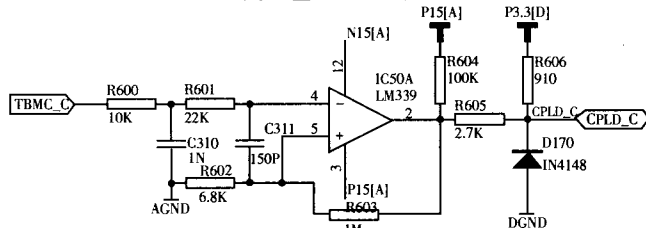


图 4 迟滞比较器电路

反馈信号调理单元主要有两个任务:

- (1) 将反馈的直流或交流信号, 作相应的处理(比例变换, 绝对值, 滤波等)使之满足 ADC 的输入电压范围和系统要求的频率带宽范围。
- (2) 利用比较器, 在电压、电流、等不满足正常工作所在的范围时, 为中央单元作出相应的保护动作提供开关量信号。

## 3 控制系统软件设计(见图 5(a)~5(d))

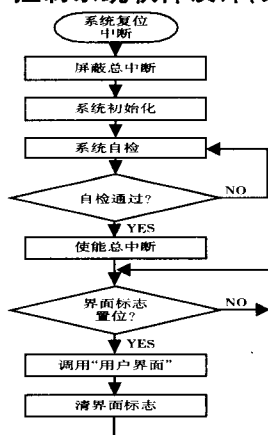


图 5(a) 主程序流程图

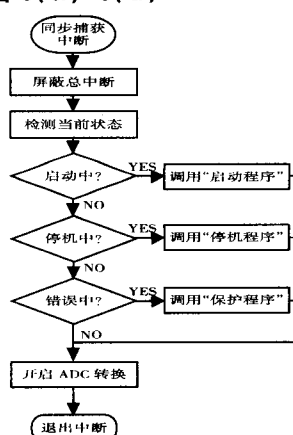


图 5(b) 电机控制任务流程图

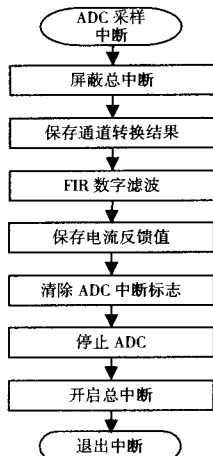


图 5(c) 数据采集任务流程图

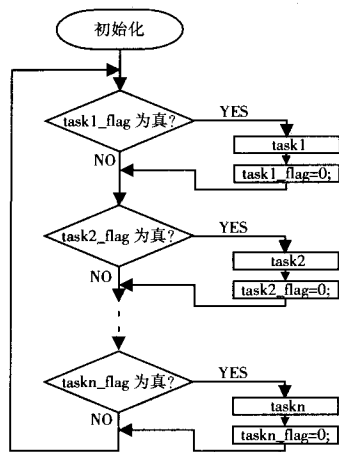
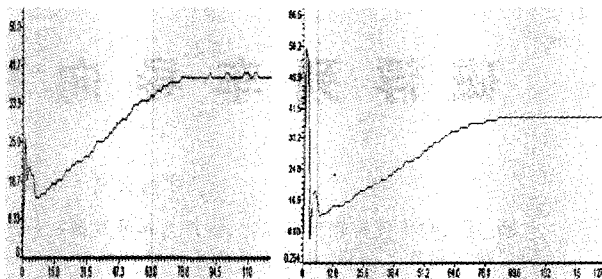
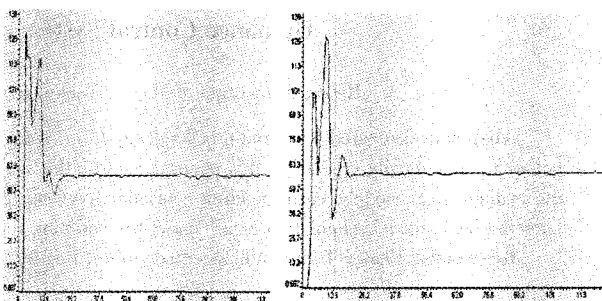


图 5(d) 调度各任务流程图



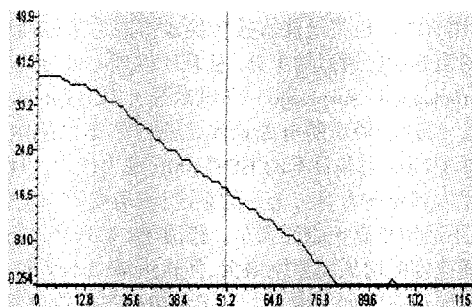
阻性负载电压斜坡启动 I-T 曲线

阻性负载突跳电压斜坡启动 I-T 曲线



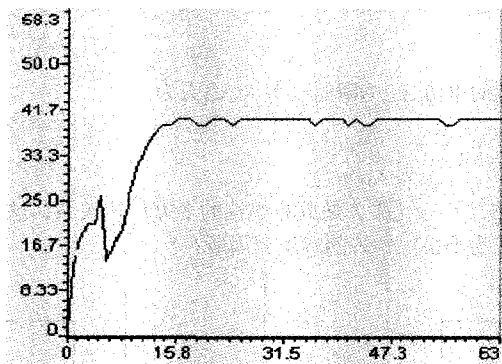
轻载电机限电流启动 I-T 图 (限流值 120)

轻载电机电流斜坡启动 I-T 图



阻性负载电压斜坡停机 I-T 图

### 4 系统实验结果



电流 PI 响应

(横坐标单位 0.1s, 纵坐标为反馈电流经量化后的值)

从电流 PI 响应的曲线可以看出,开始由于加电压造成了一个冲击电流,但很快便调整过来,于是造成图像上出现了一个电流尖峰。由于任何负载加电压时都不可避免出现冲击电流,因此应当说电流 PI 响应出现这样的尖峰属于正常现象。

下面五图为四种不同启动方式和一种停机方式的 I-T 曲线,从图上我们可以看出设计达到了预期的效果。

### 5 结束语

(1)以 DSP 和 CPLD 为主要控制器件,可控硅为执行机构,构成的数字化软启动系统,在启动和停机模式的多样化、启动电流、启动平滑性、灵活的参数设置和友好的人机界面等诸多方面都远远超过了传统的用模拟电路作为主控单元的软启动器。

(2)软件部分绝大多数用 C 语言编写,不仅便于升级、维护,而且很多模块、代码如人机界面、多任务调度等可以非常方便的

移植到其它嵌入式系统中。其中 C 和汇编混合编程的采用,也为以后开发实时系统积累了经验。

#### 参考文献

- [1] 张勇. 电机拖动与控制. 机械工业出版社.
- [2] 金以慧. 过程控制. 清华大学出版社.
- [3] 刘和平. TMS320LF240x DSP 语言开发应用. 北京航空航天大学出版社.
- [4] 清源科技. TMS320LF240x DSP 应用程序设计教程. 机械工业出版社.

#### 作者简介

唐海红 男,生于 1978 年,电子科技大学硕士研究生,主要从事雷达信号处理与控制方面的研究。

#### 参考文献

- [1] 西门子(中国)有限公司. Micro Win 编程手册.
- [2] LANDIS&STAFA CO.LTD. LFL1 燃烧火焰安全控制器使用说明书.
- [3] 西门子公司. QRA10M.C 火焰探测仪使用说明书.
- [4] 西门子公司. LFE10 火焰探测开关使用说明书.

#### 作者简介

褚燕利 武警工程学院讲师,长安大学信息学院硕士研究生。

(上接 76 页)

本次设计是作者在实际工作中对 PLC 的一次应用。自改造完成后,该系统已经顺利运行 8 个月。分别对改造前后 8 个月的系统运行情况进行统计,统计结果如下:

统计结果表明,改造后系统的故障发生率较低,且发生故障时,维护简单、方便、容易,节约了大量的生产时间,保证了生产任务的按计划完成,创造了较大的经济效益。改进效果较为显著。