

文章编号: 1005-8451 (2011) 03-0035-04

## 感应电机智能软启动控制器的设计

林 辉<sup>1</sup>, 常继彬<sup>2</sup>

(1. 西安铁路职业技术学院 电气工程系, 西安 710014;

2. 重庆科技学院 电子信息工程学院, 重庆 401331)

**摘 要:** 介绍 80C196MC 单片机的智能软启动控制器, 利用其强大的功能实现对感应电机软启动的高精度控制。通过单片机检测电压、电流的过零点, 依此计算出实际功率因数角, 并与设定的最佳功率因数角进行比较, 及时输出触发脉冲, 实时调节电机的电压, 达到无冲击启动和节能的目的。试验证明系统具有优良的性能。

**关键词:** 感应电机; 软启动; 单片机; 功率因数

**中图分类号:** TM301.2 **文献标识码:** A

### Design of intelligent soft-starting control for induction motor

LIN Hui<sup>1</sup>, CHANG Ji-bin<sup>2</sup>

(1. Xi'an Railway Vocational & Technical Institute, Xi'an 710014, China;

2. Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** Here presented a kind of intelligent soft-starting controller based on Intel80C-196MC. The control function of the controller could be more accuracy by this MCU. The voltage and current through the zero-crossing could be detected by MCU. According to these, the actual power factor angle was calculated and compared with the best set value. It was output the trigger pulses in time, adjusted real-time voltage of the motor to achieve soft starting and energy saving. It was proved by experiment that the System was excellent with perfect performance.

**Key words:** induction motor; soft starting; single-chip microcomputer; power factor

感应电机具有结构简单、制造方便、运行可靠、坚固耐用、价格低廉、很少需要维护及可工作于恶劣环境等优点, 在工业生产中被广泛应用。感应电机直接启动时的电流会高达额定电流的 5~8 倍, 产生的电流冲击, 会对电机及其所拖动的设备造成电气和机械冲击, 造成电网电压的瞬间下降, 影响其他电气设备的正常运行<sup>[1]</sup>。随着电机控制技术的发展, 国内外相继开发出一些电机启动控制设备, 能够满足大多数负载的启动要求。但感应电机所带负载往往处于变化状态, 在空载或轻载状态下运行时, 产生电机功率因数减小、效率降低、电能浪费等较严重后果, 电机启动控制并没有达到最优, 存在着较大的节能空间。感应电机智能软启动控制器就是基于节能需要而设计的。

### 1 智能软启动控制器工作原理及硬件结构

#### 1.1 工作原理

收稿日期: 2010-05-29

作者简介: 林 辉, 讲师; 常继彬, 讲师。

感应电机智能软启动控制器是将电力电子、计算机控制与自动控制的技术相结合, 主回路采用 3 组反并联晶闸管接于供电电源, 与被控感应电机之间进行自动调压。启动时, 电子电路产生触发脉冲控制晶闸管的导通角, 使感应电机的端电压逐渐增大, 直至全压, 既减小了电机启动电流的冲击, 又不影响电机的启动转矩, 实现电机软启动。停机时, 则通过控制晶闸管的关断速度, 使感应电机的端电压由全压逐渐下降为零, 实现软停车。感应电机智能软启动控制器不仅具有优良的启动性能, 还具有过流、过压、欠压、缺相等完善的保护功能<sup>[2]</sup>。

#### 1.2 硬件结构和功能

控制器主电路设计如图 1。控制器通过对感应电机的相电压、相电流的过零点进行检测, 计算出功率因数角, 经过单片机的分析处理, 输出触发脉冲, 控制双向晶闸管的导通角, 达到无冲击启动和节能的目的。

控制器主电路各部分主要功能<sup>[3]</sup>:

(1) 晶闸管: 感应电机每相电路都由 2 只反并

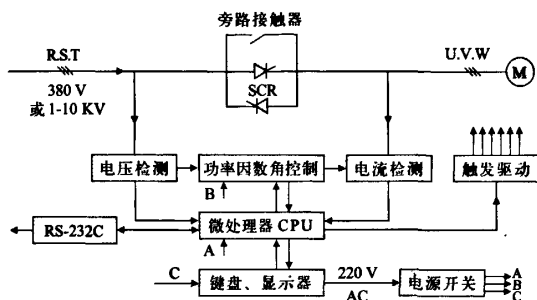


图1 控制器主电路图

联晶闸管构成，并含有阻容吸收保护电路。

(2) 电压检测：将三相电源电压经过变送后，输入A/D转换器、单片机，经单片机处理后作为故障诊断、过压及欠压保护、电压显示等的参照依据；将三相电源的正弦电压信号变换为方波信号，作为触发晶闸管的同步信号与相位信号。

(3) 电流检测：通过电流互感器检测感应电机的电流，并将电流信号输入单片机，作为过流保护、电流显示等的参照依据，同时检测判断电流的相位。

(4) 功率因数角检测电路：当晶闸管截止时，没有电流经过（电流为零），因此晶闸管截止时刻与电源电压，即同步信号过零时刻间的相位差代表着感应电机的续流角度，检测这个相位差就可测得功率因数角，再由单片机经过计算转换成对应的触发控制角。

(5) 80C196MC单片机：是整个系统的核心控制单元，负责信号检测、实时计算，输出控制、串行通信和键盘显示器驱动。

(6) 键盘和显示器：可设定和修改启动、停机方式和启动电流、过载电流、最高电压和最低电压等参数，显示器可显示预置参数和电动机工况。

(7) 触发驱动电路：利用80C196MC单片机集成的波形发生器(WFG)输出三路独立的PWM方波，经过变换后与各相经三角变换后的同步信号波形比较产生触发脉冲，WFG运行中只要CPU在改变PWM占空比时加以干预，就能减轻CPU的运算负担，提高系统的实时性，从而实现更为准确的启动控制。

### 1.3 节能原理

在空载或轻载运行时，感应电机的实际转差率大大小于额定值，转子电流并不大，当电机降压

运行时，转子电流增加的数值有限。同时由于电机电压的降低，使电机空载电流和铁损大幅度减少。在这种情况下，感应电机的总损耗就可降低，定子温升、运行效率和功率因数同时得到改善。由此可见，感应电机的运行经济性与电动机负载率同电机工作电压是否合理匹配关系密切。感应电机的运行效率和功率因数与其端电压存在如下的数学关系<sup>[4]</sup>：

$$\eta = \frac{S_N \cdot \cos \varphi_N \cdot \eta_N}{K_U^2 \cdot S \cdot \cos \varphi}$$

上式中，当感应电机额定运行和降压运行时， $S_N$ 和 $S$ 为转差率， $\cos \varphi_N$ 和 $\cos \varphi$ 为功率因数， $\eta_N$ 和 $\eta$ 为效率， $K_U$ 为调压系数， $K_U = U/U_N$ （ $U$ 和 $U_N$ 为电压）。因为感应电机为感性负载，当电压过零后尚需一定的延迟角电流才过零，其夹角即为功率因数角 $\varphi$ 。通过功率因数角闭环控制，使得感应电机在不同负载下运行时，自动调节感应电机的电压以改善其运行效率。可见，智能软启动控制器对功率因数角检测的准确性是保证调压节能效果的关键<sup>[5]</sup>。通过判断功率因数角的大小，进而改变晶闸管的触发角的大小，实现电机电压的自动调节。当感应电机的转差率为某定值时处于最佳效率，其值是由电机的结构参数所决定，在不同的外加电压下，最佳效率点处的功率因数几乎相同。在感应电机启动过程中，电压连续调节是智能软启动控制器调压的优点，功率因数变化会非常大。电机端电压取决于晶闸管的导通角，它与触发角和功率因数角有关。并不是所有的降压都能达到节能的目的，只有当电压降低程度大于转差率及功率因数上升程度时，才能使电机的运行效率得到提高。如果晶闸管触发角的调节没有及时跟上功率因数角的变化，就有可能导致电机电磁转矩的震荡。因此必须及时检测电机功率因数角的变化，使晶闸管触发角自动跟随功率因数角的变化来进行调节<sup>[6]</sup>，把功率因数作为反馈量对电机进行控制，智能软启动控制器控制主回路的功率因数闭环控制系统如图2。

从图2可以看出，通过检测电流、电压过零点计算出功率因数并和给定功率因数进行比较，组成功率因数的闭环控制系统，实现功率因数的无差控制，使系统的功率因数保持不变，实现功率因数的校正，达到无冲击启动和节能的目的。

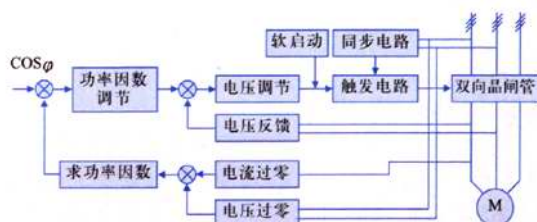


图2 功率因数闭环控制系统图

## 2 软件设计

80C196MC 是为电机高速控制所设计的一款 16 位单片机,指令系统执行速度快,编程效率高,很适合于实时控制方面的应用<sup>[7]</sup>。控制系统的基本功能是:接受软启动、软停车指令,按照设定的电流或电压曲线给出触发脉冲,同时监视各重要部件工作状态,具有友好的人机交互界面,并能对相关过程,特别是对故障进行记录。智能软启动控制器的理想状况是在调节过程中具有自学习和自适应功能,达到智能化的控制目标。

智能软启动控制器是按照预先设置的控制模式进行降压启动,常见的软启动模式有:电压斜坡启动、转矩加突跳控制启动、电压控制启动和限流启动等。每种启动模式都有其优点及适用场合。通常停车模式有 3 种:自由停车,软停车和制动停车。

系统的软件设计是整个控制系统功能实现的关键,主要完成初始化子程序、软启动程序、电压电流检测程序、功率因数检测程序、触发子程序、故障中断子程序、处理采样结果和显示等功能。软启动程序根据设定的启动时间,控制晶闸管的导通角,使感应电机的端电压逐渐升高,避免启动电流过大而造成过大的损耗。检测电压电流过零点程序是把采样数据分析处理并与设定值进行比较,根据比较结果输出相应的触发脉冲,控制晶闸管的导通角,实现了系统电压的自控调节,达到了功率因数闭环控制的目的<sup>[8]</sup>。为了避免系统的过度频繁调节,在程序中设定误差只要小于一定的常数就不再调节。软件设计流程如图 3。

## 3 仿真试验

根据上述设计方案,进行了仿真和试验,被控对象为感应电机,额定功率为 2.2 kW,额定电压

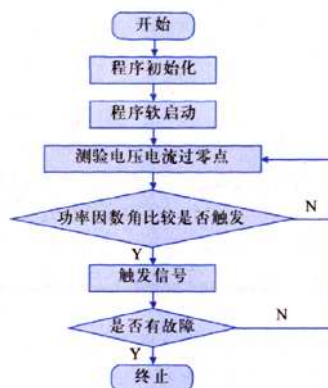


图3 软件设计流程图

380 V,额定电流 4.8 A,额定转速 1440r/min。图 4 为电机直接启动的电流曲线,启动电流冲击较大。图 5 为采用功率因数闭环制方案时的启动电流、电压波形,电流基本无冲击,电压上升平稳,控制效果比较理想。电机软启动过程中,触发角的变化能很好地控制了感应电机电压的变化,启动效果达到了设计要求。

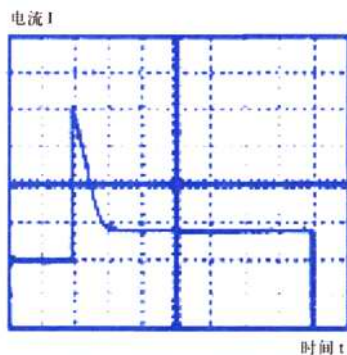


图4 直接启动时的电流

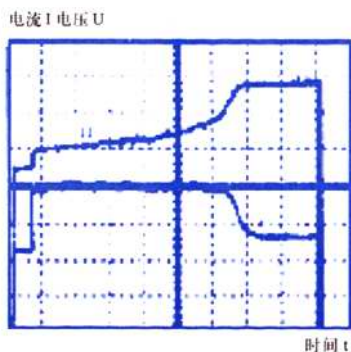


图5 1.5倍额定电流启动时的电流电压曲线

(下转 P42)

道号为0是特殊的值,它不能作为随机值被分配为隧道ID和会话ID。在建立新的会话阶段,对端的会话ID还没有分配,此时对方会话ID为0。当LNS验证LAC发送SCCCN报文后随机分配隧道ID58809。会话连接还没有建立,会话ID仍为0。LNS回应LAC建立会话连接的请求,发送ICCN后随机分配了会话ID42319。

## 5 结束语

分析L2TP工作原理以及协议报文的结构,设计并实现基于2层隧道协议的L2TP服务器模块,详细描述了设计方法、步骤以及相关数据结构。并用Windows下的LAC与所设计的服务器进行了连接测试,抓包分析了LNS与LAC之间控制连接和会话连接的建立。本文在实现过程中没有加入IPsec的安全保护,因此不能有效地保护控制连接

和数据隧道中的报文,有待进一步探讨IPsec并加入到L2TP的实现中。

### 参考文献:

- [1] 余 翌,谭兴烈,周明天. L2TP 虚拟专用网[J]. 电子科技大学学报, 2002 (8).
- [2] PPP Challenge Handshake Authentication Protocol (CHAP) [S]. RFC 1994 August 1996.
- [3] 王延年. 隧道及其应用技术的研究[J]. 郑州大学学报 (自然科学版), 2001 (3).
- [4] 罗 婷,张颖江,陈 雯. 虚拟专用网的二层隧道协议研究及实现[J]. 湖北工学院学报, 2001.
- [5] 周 殊,潘 炜. 基于二层隧道协议的虚拟专用网研究[J]. 计算机应用, 2007 (6).
- [6] Yan Niu, Jun Li, Dong Li. The Application of Linux Pseudo-terminal Device in the L2TP[J]. Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application, 2009.

(上接 P37)

智能软启动控制器的降压节能效果对比:

表1为空载降压对电机功率因数的影响。

表1 空载降压对功率因数的影响

电压(V)	380	280	220	180	160	140	120
电流(A)	1.86	1.23	1.05	0.55	0.33	0.26	0.18
功率因数	0.21	0.28	0.35	0.48	0.63	0.76	0.83

由试验数据可以看出,降压对感应电机空载时功率因数的提高有很大影响,降压可以提高有功功率,达到节能的目的。

表2为不同负载率下的节能效果。

表2 不同负载率下的节能效果对比

负载率	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9
节能率(%)	32.6	28.8	21.3	13.5	6.3	1.2	-3.4

由试验数据可以看出,电机轻载时节能效果最好,当负载大于60%,节能效果已经很不明显,而且可能出现更加费电的状态。因此,利用降低电机端电压的方法进行节能的适用范围是有限的,也就是只有在电机处于空载或轻载状态下才能够节电。

## 4 结束语

本文根据感应电机启动过程中功率因数角变

化的现象,并把它作为一个参量考虑到变压软启动中,设计了功率因数闭环控制系统,提高了功率因数,达到了节能的目的。适合经常工作在空载和轻载的变负载工况下运行的感应电机,有较好的使用和推广价值。

### 参考文献:

- [1] 贾贵玺,吕海英,吴普青,蔡 军,范业成. 基于PIC的智能异步电机软启动器研究[J]. 电力电子, 2009 (1): 22-24.
- [2] 武 军. 交流异步电动机的软启动[J]. 电子设计工程, 2009 (2): 64-66.
- [3] 任致程. 电动机电子保护器与软启动器应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [4] 徐甫荣. 交流异步电动机非调速运行节能方案研究综述[J]. 电气传动自动化, 2003, 25 (3): 1-5.
- [5] 张 震. 异步电机节能控制器研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
- [6] 孟彦京,谢仕宏,吴普青,陈景文. 交流电机软启动技术理论的发展与分析[J]. 陕西科技大学学报, 2004 (6): 83-87.
- [7] 胡汉才. 单片机原理及其接口技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [8] 李新福,刘教民,崔玉龙. 软启动电机性能的测试与分析[J]. 中小型电机, 2004 (6): 64-66.