

增量式 PID 规律在电机软启动控制中的应用

Application of Increasing PID Controlling Method in the Control of Motor Soft Start

张 晓 王晓宇 郭 涛 钟瑞艳

(山东大学控制科学与工程学院, 济南 250061)

摘 要:阐述了增量式 PID 控制算法和电机软启动基本原理。结合增量式 PID 的控制优势,简述了其在电机软启动过程控制中的应用。实践表明,增量式 PID 的应用,简化了控制思路,改善了电流环控制性能,限制了启动电流,平滑了启动转速,取得了良好的电机启动效果。

关键词:增量式 PID 电 机 软启动 启动电流

Abstract: This article introduces the controlling arithmetic of Increasing PID and the basic principle of motor soft start. With the virtue of Increasing PID, It tells the application of Increasing PID controlling method in the control of motor Soft Start. The experimental results prove that the application of Increasing PID simplifies the controlling idea, improves the capability of current-loop, limits the starting current, smoothes the starting speed, gets a favorable starting effect.

Key word: Increasing PID motor soft start starting current

0 引 言

三相交流异步电机是一个多变量、强耦合、非线性的复杂受控对象,难以建立其精确的数学模型;同时,电机启动过程中的许多参数无法进行准确测量,这就使它的启动控制变得较为复杂困难,往往需依靠经验进行调试。

PID 控制规律作为工业控制过程中技术最成熟、应用最广泛的一种控制技术,具有结构简单、调节方便、稳定性好等优点,在工业生产过程自动控制领域获得了广泛的应用;在交直流电机等控制场合,则具有良好的灵活性和适用性,并取得了令人满意的控制效果。本文主要结合增量式 PID 控制原理来阐述其在电机软启动控制中的应用。

1 增量式 PID 控制规律

PID 控制规律就是对偏差的比例(P)、积分(I)和微分(D)进行控制,简称 PID 控制。PID 控制根据不同的应用场合有多种实现方法,如位置式和增量式等。在许多特殊要求的场合还

有许多改进算法。

增量式 PID 建立在对位置式 PID 进行改进的基础之上。它克服了位置式 PID 对所有过去状态的依赖,降低了因单片机故障导致 PID 误输出给系统带来严重后果的影响。

PID 控制回路见图 1。图中 $y(t)$ 为被控变量, R 是 $y(t)$ 的设定值, $e(t)$ 为调节器输入偏差, $u(t)$ 为 PID 控制输出。

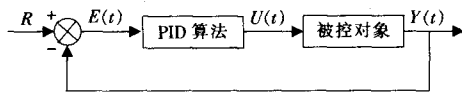


图 1 PID 控制

由此,可得到 PID 控制算式

$$u(t) = K_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}]$$

式中: K_p 为比例系数; T_i 为积分时间常数; T_d 为微分时间常数; $e(t) = R - y(t)$ 。

作者简介:张 晓 硕士研究生。研究方向为现代运动控制系统。

王晓宇 教授。

郭 涛 硕士研究生。

钟瑞艳 硕士研究生。

单片机微控制器利用采样的方式对过程进行巡回检测和
控制,因而要对 PID 算法进行离散化处理。

离散化时,令 $t=kT$,

$$\int_0^t e(t)dt = T \sum_{j=0}^k e(jT),$$

$$\frac{de(t)}{dt} = \frac{e(kT) - e(kT-T)}{T} = \frac{\Delta e(kT)}{T}.$$

式中: T 为采样周期; k 为采样序号 ($k=0,1,2,\dots$)。

则离散 PID 算式为

$$u(kT) = K_p \left\{ e(kT) + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^k e(jT) + \frac{T_d}{T} [e(kT) - e(kT-T)] \right\}.$$

输出增量之差

$$\Delta u(kT) = u(kT) - u(kT-T) =$$

$$K_p \left\{ [e(kT) - e(kT-T)] + \frac{T}{T_i} e(kT) + \frac{T_d}{T} [\Delta e(kT) - \Delta e(kT-T)] \right\}.$$

所以最终结果

$$\Delta u(kT) = K_p [e(kT) - e(kT-T)] + K_i e(kT) + K_D [e(kT) - 2e(kT-T) + e(kT-2T)];$$

$$u(kT) = u(kT-T) + \Delta u(kT).$$

式中: K_p 为比例系数; $K_i = K_p \frac{T}{T_i}$ 为积分系数; $K_D = K_p \frac{T_d}{T}$ 为微分系数。

增量式 PID 有如下控制优势: ①每次输出只输出控制增量, 机器故障时影响范围小。必要时可通过逻辑判断、限制活禁止故障时的输出, 因而不会严重影响系统的工况。②手动-自动切换时冲击小。③算式中不需要累加, 控制增量的确定仅与最近几次采样值有关, 较容易通过加权处理以获得比较好的控制效果。

2 电机软启动器简介

2.1 软启动器原理

电机软启动器是基于晶闸管的三相交流调压原理。见图 2。三相交流电源 U 、 V 、 W 分别接在 3 个反并联晶闸管模块上, 晶闸管模块的输出端接三相交流异步电机。每个晶闸管模块都有两个晶闸管反并联连接而成, 用于完成 1 个周期内正负半波的调压。通过改变晶闸管的触发角 α 来改变三相输出交流电压的有效值, 从而实现晶闸管模块输出端的电压可调, 这就是晶闸管三相交流调压原理。

软启动器的控制电路由 Intel 80C196MC 控制器、同步检测、脉冲触发、电流反馈、控制输入和状态输出 6 个部分组成。Intel 80C196MC 是控制核心, 用来完成各种复杂的算法和控制流程, 并对系统的突发故障进行及时调整保护, 维持系统的正常稳定运行。晶闸管的触发要严格保持其触发脉冲和电源电压的同步, 否则无法实现调压控制, 因此同步电路和晶闸管脉冲触发电路必不可少。在电机启动过程中, 要对启动电流进行实

时采样, 送入单片机中进行各种运算处理, 这是由电流反馈检测电路实现的。此外, 软启动器需要有各种控制输入信号和系统实时状态输出信号, 如键盘操作、LCD 显示参数、报警指示等, 这些功能都是通过控制输入电路和状态输出电路来实现的。

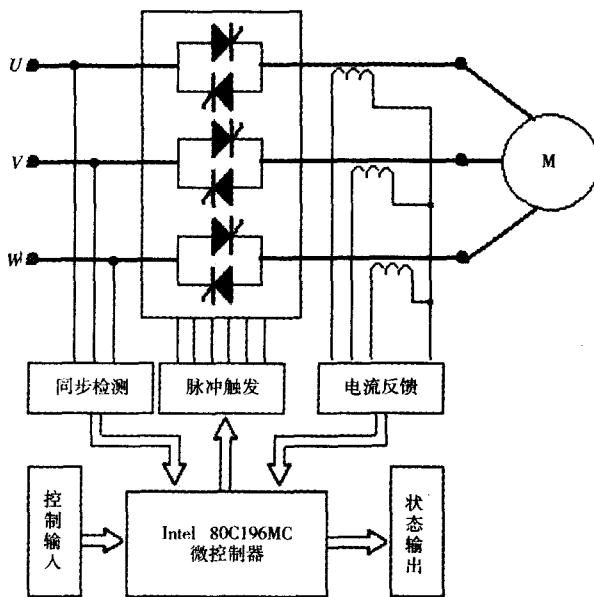


图 2 电机软启动器模块原理图

2.2 限流启动方式

电机软启动器有多种启动方式, 能够满足不同行业不同场合对电机启动的要求。一般常用的有 4 种启动方式: 斜坡电压启动方式、限流软启动方式、转矩控制启动和转矩加突跳启动方式。为了防止电机启动过程中的电流冲击给周围设备和电网带来不利影响, 限制启动电流在一定范围内就成为软启动器所必须达到的目标, 限流启动方式就是这个方面的一个典型应用。

限流启动方式原理见图 3。电机上电初始, 启动电流以很快的速度上升到电流设定值 (一般为 $1 \sim 4I_e$), 然后在相应调节规律下不断修正晶闸管触发角 α , 使得启动电流恒定在设定值保持不变, 直至电流下降到额定电流, 电机转速平滑上升到额定转速, 限流启动过程结束。

2.3 电流检测电路

要实现限流, 就必须对电机启动过程中的电流进行实时采集, 将每一瞬间的电流值送入主控制器中, 经过相应计算后对晶闸管的触发角作出即时调整; 因而, 电流检测采集电路是软启动器设计中非常重要的一环, 它的好坏直接决定了限流的成功与否。本设计中我们采用下面的检测电路来完成电流采集。见图 4。

主电路中的 3 个电流互感器对电流进行实时采样, 其三相

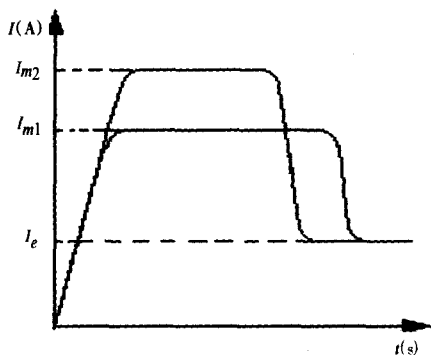


图3 限流起动方式

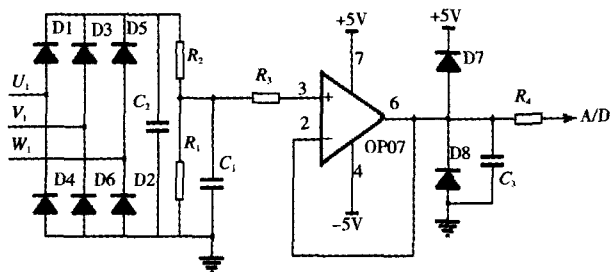


图4 电流检测电路

交流输出信号 U_1 、 V_1 、 W_1 经过二极管整流、电容滤波、电阻分压后成为一直流电压信号,再经过一个电压跟随器送入主控制器 80C196MC 的 A/D 口中,进行 A/D 转换得到我们需要的电流值。因单片机 A/D 口工作电压为 +5V,在硬件设计中加入了二极管限幅环节,以确保其安全。

3 PID 在限流启动中的应用

三相交流异步电机的数学模型难以用精确的数学公式来描述;设计中要做到在限流的前提下,实现电机转速、电压和启动电流彼此协调控制;电机不同启动方式和不同应用场合对参数的要求有很大差别;这就要求所选择的控制规律需具有较好的适时性和通用性,因此我们采用数字 PI 调节控制来实现。它将比例调节的快速性和积分调节消除静差的作用结合起来,改善了系统的动态性能;其参数 K_p 、 K_i 相对独立,调节整定方便;计算工作量相对较小,容易实现多回路控制,也为系统处理其他复杂任务预留了空间。

由上面的公式可以得出数字 PI 规律的计算公式

$$\Delta u(kT) = K_p [e(kT) - e(kT-T)] + K_i e(kT);$$

$$u(kT) = u(kT-T) + \Delta u(kT)。$$

下面是限流启动方式中关于 PI 调节的一段子程序。实验结果说明,PI 调节规律很好地实现了限流控制,取得了令人满意的控制效果。

/*---定义 PID 结构体---*/

Struct PID

{

float p;//比例系数

float i;//积分系数

```
float set_point;//初始设定值
float deadband;//死区
float yk;//采样值
float yk_1;//上次采样值
unsigned int uk;//PID 结果
unsigned int uk_1;//前一计算结果

}pid;
/*---PID 初始化---*/
void pid_init(void)
{
    pid.p=p_value;//赋值
    pid.i=i_value;
    pid.set_point=current_value;
    pid.deadband=i_deadtime;
    pid.yk_1=0;
    pid.uk=angle1;
    pid.uk_1=angle2;
}
/*---PID 计算---*/
void pid_start(void)
{
    float ek,ek_1,euk;
    pid.yk=ad_current;
    ek=pid.set_point-pid.yk;
    ek_1pid.set_point-pid.yk_1;
    euk=pid.p*(pid.yk_1-pid.yk)+pid.i*ek;
    pid.uk=pid.uk_1+euk;
    pid.yk_1=pid.yk;
    pid.uk_1=pid.uk;
    /*---其他计算程序---*/
}
```

4 结束语

本文结合增量式 PID 的调节原理及其控制优势,讲述了其在电机软启动设计中的应用情况。实验结果表明,增量式 PID 控制规律调节简单方便,简化了控制思路,改善了电流环控制性能,限制了启动电流,取得了良好的电机启动效果。

参考文献

- [1] 曾毅. 现代运动控制系统工程[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 李正军. 计算机测控系统设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [3] 任致程,任国雄. 电动机软启动器实用手册[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [4] 顾绳谷. 电机及拖动基础[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [5] 徐爱卿. INTEL16 位单片机(修订版)[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [6] 成军. INTEL80C196 单片机应用实践与 C 语言开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002.
- [7] 杨振江,杜铁军,李群. 流行单片机实用子程序及应用实例[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.