

利用脉宽调制实现 PG电机的平稳调速

肖 灿^{1,2},江永清²,肖耀友³

(1.重庆邮电学院,重庆 400065; 2 中国电子科技集团第 44研究所,重庆 400060;
3.青岛 91515部队,山东青岛 266000)

Using PWM Mode to Realize the Stable Speed - regulating of AC PG - motor

XIAO Can^{1,2}, JIANG Yong - qing², XIAO Yao - you³

(1. Chongqing Institute of Posts and Telecommun, Chongqing 400065, China;
2. China Electronics Technology Group Corporation No. 44 Research Institute, Chongqing 400060, China;
3. PLA Unit 91515, Qingdao 266000, China)

摘 要:单片机通过过零检测获取计时基准,比较当前转速反馈与目标反馈,采用脉宽调制 PWM 方式来控制三段双向可控硅开关器件的导通相位角及导通时间,实现交流 PG电机的平稳调速。

关键词: PG电机;过零检测;脉宽调制 PWM;三段双向可控硅

中图分类号: TM343⁺. 1 文献标识码: A

文章编号: 1004 - 7018 (2006) 04 - 0027 - 03

Abstract MCU get timing reference by zero - crossing detection. It compare the current speed feedback with the object feedback, and control the conduction phase and time using PWM mode to realize the stable speed - regulating of AC PG - motor

Keywords: PG - motor; zero - crossing detection; pulse - width modulation; triac

1 引 言

现代家电及工控行业中交流 PG(带脉冲输出)电机的应用极为广泛。以空调行业为例,转速误差一般控制在 10 ~ 15 r/min。误差产生的主要原因在于 PG电机转速反馈对应于相应的调制值有一定的延时,因而往往造成过调。软件处理方面,以前大多数采用双定时计数器或单定时计数器外加软件延时。前者占用太多资源,而后者采用软件延时又不利于软件的执行效率。本文介绍了一种快速变化但又平稳过渡的调速方案。该设计仅占用一个 PWM 口和二个普通 I/O 口,尤其适用于对价格较为敏感、I/O 口资源较为紧张的家电行业。同时,软件处理方面与系统共用基准定时计数器,采用 PWM 分级、每半周期(交流每周两次过零点)精确调制,实现了 PG电机的平稳调制,稳定状态下转速误差小于 5 r/min。

收稿日期: 2004 - 12 - 17
改稿日期: 2005 - 03 - 25

2 PG电机原理

PG电动机是带脉冲输出的电动机,实际上是单相交流电动机和速度传感器结合的电动机^[1],它可分为电容式和罩极式等。本文所选用电容式 PG电机,电容器具有电流超前 90 的相移特性。当电源接通时,流入辅助线圈的电流相位比流入主线圈的电流相位超前 90°,形成两相电流,促使定子磁场产生转动。从直流电动机的调速原理^[2]可知,采用转速、电流双闭环的转差频率控制系统可以达到稳态无差、动态性能良好的调速目的。对于 PG电机控制,同样也可以采用转速、电流双闭环系统。在本设计中,采用转速差控制可控硅的导通相位角及导通时间,从而控制磁通和电磁转矩,以达到控制 PG电机的转速。

3 控制原理

如图 1 所示,MCU 选用 MOTOROLA 的 MC68HC908JL3,该调速方案涉及三个 I/O 口,其中 PTA5 (27)为过零信号检测,PTA4 (23)为转速反馈信号,PTD5 (25)为 PG电机驱动(该口为 PWM 口)。对于 220 V、50 Hz 交流电,每 10 ms 过一次零点。

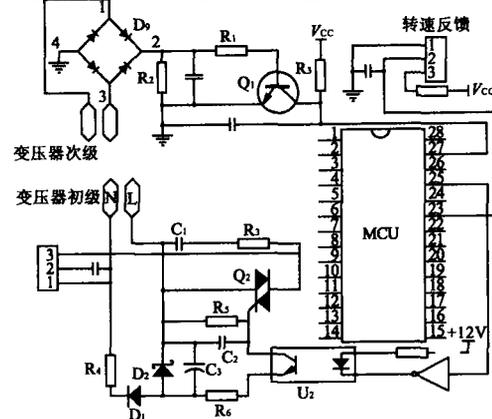


图 1 控制原理

利用脉宽调制实现 PG 电机的平稳调速

通过变压器输入的信号经全波整流后,当输入电压大于 0.7 V,三极管 Q_1 导通,从而使单片机的 PTA5 (27)引脚为低电平;一旦输入电压低于 0.7 V,三极管 Q_1 截止,PTA5 引脚为高电平,此时单片机就可以采样到过零信号。假设经变压器后的 13 V、50 Hz 全波整流信号:

$$V(t) = V_m \sin t \quad (1)$$

其中: $V(t) = 0.7V$;

$$V_m = 13\sqrt{2} \text{ V (当输入为 13 V 交流)}。$$

计算得: $t_0 = 121.3 \mu\text{s}$

故过零检测信号 $t = 2t_0 = 242.6 \mu\text{s}$, 满足采样需要 (设采样频率为 8 kHz, 在实际应用中可以适当调整电路参数, 使过零信号脉宽与需求相匹配)。单片机采样到过零信号后开始计时, 同时比较上次转速反馈计数与目标转速反馈计数, 从而确定本次脉宽调制的增减。

目标转速反馈计数公式如下:

$$n = 1/(RNT) \quad (2)$$

其中: n - 目标转速反馈计数;

R - 目标转速;

N - PG 电机反馈参数 (单脉冲为 1, 三脉冲为 3);

T - 填充脉冲周期。

例如: 假设 PG 电机目标转速为 1200 r/min, 反馈参数 $N = 3$, 采样频率为 8 kHz, 则由式 (2) 可知:

$$n = 1/(RNT) = \frac{1 \times 1000 \times 60}{(1200 \times 3 \times 0.125)} = \frac{160000}{1200}$$

PWM 信号由 PID5 (25) 输出, 经反向放大器 U2003 后送入光耦 U_2 , 从而控制 TRAC (三端双向可控硅) 的导通相位角及导通时间, 以达到控制 PG 电机的目的。

4 三端双向可控硅的控制

经变压器输入的信号经全波整流后, 每周期有两次过零点 (如图 2 所示), PTA5 (27) 引脚检测过零信号。单片机采样到过零信号后开始计数, 同时比较上次转速反馈计数与目标转速反馈计数。如果

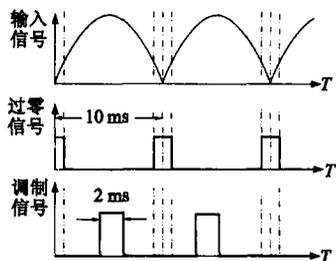


图 2 控制时序

上次转速反馈计数 $n(t) >$ 目标转速反馈计数 n , 即当前转速小于目标转速, 所以 TRAC (三端双向可控硅) 导通时间应比上次提前。但由于 PG 电机转速反馈对应于相应的调制值有一定的延时, 如: 假设上次反馈计数为 200, PWM 调制值为 X , 而目标反馈计数为 133, 所以按照要求当前 PWM 调制值为 $X - 6$, 但当下一过零点到来时, 其实际反馈并没有达到上次调制的期望值, 此时如果又以当前反馈与目标反馈相比较进行调制, 反复下来, 必然造成过调。也就是说, 当测得当前反馈与目标反馈一致的时候, PG 电机其实仍然处于加速 (或减速) 过程, 在进行粗调时, 该现象尤为更为显著。所以, 在进行调制时, 必须根据调制值而设定一定的延时。注意, 该延时因 PG 电机的型号或厂家的不同而有一定的区别。

表 1 是在交流 220V、50Hz, 单片机采样频率 8 kHz 时, 对某厂家三脉冲 PG 电机的调制值。

表 1 某 PG 电机的调制参数

$n(t) - n$	PWM 调制值	下次调制延时 /ms
> 50	- 6	100
> 20	- 3	30
> 1	- 3	0
$n - n(t)$	PWM 调制值	下次调制延时 /ms
< 50	+ 6	100
< 20	+ 3	30
< 1	+ 3	0
$ n(t) - n \leq 3$	保持	0

另外, 在 PG 电机调速过程中, 通过测速计观察, 转速较为平稳, 但用手握住电机外壳, 往往能感到电机有轻微的、规则性的抖动。造成该现象的主要原因一般是因为可控硅导通角进入了过零信号范围。所以, 一般应根据电机外加负载的不同而确定转速的临界值, 以保证导通角不落入过零信号范围内。同时, 为了保证电机不会因连续运行而发热过高, 可控硅导通时间一般控制在 2 ms 左右较为适宜。

5 软件处理

MC68HC08JL3 带有输出比较功能。在输出比较方式下, 可以产生特定极性、特定宽度和特定频率的脉冲。当计数器中的值达到输出比较寄存器中的值时, 清除、设置或者切换该通道引脚上的电平。输出比较分不带缓冲和带缓冲两种^[3]。不带缓冲的输出比较, 改变输出比较要在输出比较寄存器写入新的值。这种异步写入会导致在两个定时器溢出周期内, 输出比较功能不正常。例如, 在计数器未达到旧的输出比较值之前, 写入一个计数器已经走过的

新的比较值,会在当前的定时器溢出周期内没有任何输出比较发生。为解决这个问题,我们可以采用:当要写入一个比当前的旧比较值小的值时,在输出比较中断服务程序中写入新值;当要写入一个更大的值时,在溢出中断服务程序中写入此值。带缓冲的输出比较虽然不存在以上问题,但它是将两个输出比较通道联系起来,在PID4引脚上输出这个比较信号,而PID引脚此时只能作为普通的I/O口使用,也就是说是以牺牲一个输出比较通道为代价的。本文采用前者。

设定定时器中断频率为8kHz。如图3所示,假设在 O_1 时刻,采样到过零信号,定时中断开始计数。同时在中断处理程序中计算出此次调制值,并设置通道寄存器禁止PID5引脚在定时计数器溢出时切换引脚电平。图中 $O_2 \sim A$ 时间段,为PWM

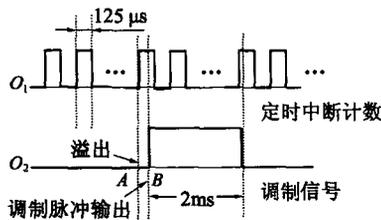


图3 时序图

调制高位计时(t_{modh}),即每次定时计数器中断,PWM调制高位计数器加1($125 \mu s$);在A-B时间段为PWM调制低位计时(t_{modl}),计数值范围为0~125 μs 。所以,以过零信号为基点,TRAC(三端双向可控硅)的触发点 t 为:

$$t = t_{modh} + t_{modl} = KT + t_{modl} \quad (3)$$

其中: K - 中断采样次数;

T - 中断周期;

t_{modh} - PWM调制高位计时;

t_{modl} - PWM调制低位计时。

同时在通道寄存器中设置占空比为100%,以保证可控硅在一个半波调制期间连续导通,当到达

(上接第26页)三相电压的平衡度最好。

4 结 语

本文使用对称分量法对三相感应发电机采用单一电容自激的稳态特性进行了分析。电机中变量 f 和 X_m 采用模式探索法得到。通过对两种连接方式的对比实验采用滞后连接可得到较好的发电机特性。理论分析计算的结果与实验数据基本吻合。在样机实验时滞后连接电机运行在接近满载区域时电机的运行状态良好且噪声小,实验数据和理论分析也证明了该运行区域电机基本达到三相对称运行。

预定时间后,采用软件清除。图4、图5为程序流程图。

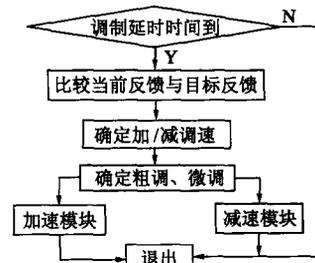


图4 电机调速模块

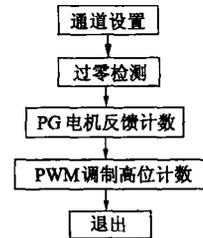


图5 中断模块

6 结 语

本文介绍的快速而平稳的调速方法采用分级调制。微细调制最大限度地限制了过调角度及保证调速平稳,而粗调制又弥补了因微细调制所造成调速过缓的缺陷。从而实现快速变化与平稳过渡的统一。

参考文献

- [1] 石文星,李先庭,邵双全等.变频空调系统运行特性的研究[C].2000年中国家用电器技术大会论文集,2000:129~136
- [2] 王季秩,曲家骥.执行电动机[M].北京:机械工业出版社,1997
- [3] 刘慧银.MOTOROLA微控制器MC68HC08原理及其嵌入式应用[M].北京:清华大学出版社,2001

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:
有价值,请圈17;没有价值,请圈18。

参考文献

- [1] Byron S Gottfried, Joel Weisman. Introduction to Optimization Theory[M]. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1973
- [2] 邓乃扬.无约束最优化计算方法[M].北京:科学出版社,1982
- [3] Singh SP, Jain MP. A New Tech - Nique for the Analysis of self-Excited Induction Generator[J]. Electric Machine and Power Systems, 1995, 23: 647~656

作者简介:马传霞,女,研究生。

孙雨萍,女,副教授,从事电机及电器教学与科研工作。

为进一步提高本刊的编辑质量,请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:
有价值,请圈15;没有价值,请圈16。