

# 基于带 PWM 模块单片机的步进电机细分驱动技术

王辉堂 颜自勇 陈文彦  
(厦门大学机电工程系 厦门 361005)

**摘要:**本文以两相双极式步进电机为例,介绍了一种利用单片机自带的 PWM 模块实现步进电机细分驱动的方法。该方法充分利用单片机的 PWM 硬件资源,通过配置硬件 PWM 模块,产生占空比不同的方波,在电机线圈内产生近似正弦波的阶梯型电流。与常用的恒频脉宽调制方式相比,该方法不需要 D/A 转换器和锯齿波发生器,不仅有利于简化电路和节约成本,而且能提高细分精度和电机运行平稳性,适用于需要精密控制的仪器仪表。

**关键词:**PWM; 细分驱动; 步进电机; 单片机

## Subdivision driving technology of stepping motor based on PWM module of singlechip

Wang Huitang Yan Ziyong Chen Wenxiang  
(Department of Mechanical and Electronic, Xiamen University, Xiamen 361005)

**Abstract:** This paper presented a method of subdivision driving of stepping motor based on PWM module integrated in singlechip. We can generate square wave of different duty cycle by configuring the integrated PWM module to produce scalarform current in the coils. The method doesn't need the D/A converter and the sawtooth wave generator, so it can improve the precision and stability of the movement of stepping motor, with the simple driving circuit, and it is used to the scientific instrument which needs to be controlled accurately.

**Keywords:** PWM; subdivision driving; stepping motor; singlechip

### 0 引言

步进电机是精密仪器仪表中常用的自动化执行部件,具有快速起停、精确步进、易于控制等优点。但是受制造工艺的影响,步进电机一般步距角较大,且有低频振动、噪声等缺点,不能应用于精度、平稳性要求较高的场合。步进电机细分驱动技术是 20 世纪 70 年代中期发展起来的可以显著改善步进电机性能并提高步进精度的驱动控制技术。PWM(脉宽调制)细分技术是目前较为常用的方式,其实质是通过在电机线圈中产生阶梯型电流从而改善电机性能并达到细分的目的。

随着仪器仪表技术的发展,各种带 PWM 模块的单片机越来越多地应用于仪器仪表中,用它可以直接实现仪表中步进电机的细分驱动。本文介绍了一种利用单片机自带的 PWM 模块实现仪表步进电机驱动的方法,这种方式具有以下优点:(1)与传统的硬件 PWM 方式相比,驱动电路明显简化,不需要 D/A 转换器和锯齿波发生器;(2)与纯软件模拟 PWM 方式相比,程序简单且占用 CPU 时间少。

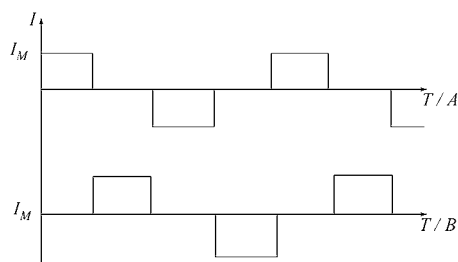
### 1 步进电机 PWM 驱动原理

步进电机是通过定子上的各个线圈交替通电产生步进式旋转磁场,从而带动转子作步进式旋转。用 MCU 驱动步进电机最简单的方式是整步驱动,即直接用单片机的 IO 口产生各相脉冲通过功率器件来控制电机运转,其电流波形和旋转磁场矢量如图 1 所示(以两相双极步进电机为例)。这种方法虽然简单却存在精度不高、相电流突变导致运行不够平稳、有噪声等缺点。

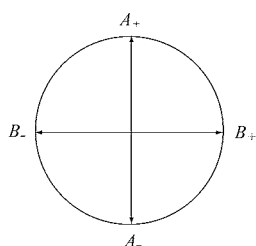
细分驱动技术的实质用近似正弦波的阶梯型电流代替矩形波电流,产生一个微步旋转磁场,从而带动电机以更小的步距角转动,其电流波形和旋转磁场矢量如图 2 所示。同时由于正弦波电流变化平滑,使电机运行更平稳、噪声更小。

PWM 技术是采用脉宽调制方式,即占空比不同的方波电压产生不同的平均电流,由于电机线圈电感对电流变化的阻碍作用,线圈中的电流波形如图 3 所示围绕平均值  $I_a$  上下波动,当 PWM 波的频率足够高时,线圈中的电流可以看成大小为  $I_a$  的恒定电流。通过调节占空比可以产

**作者简介:**王辉堂(1981-),男,硕士研究生,主要研究方向为单片机应用技术。

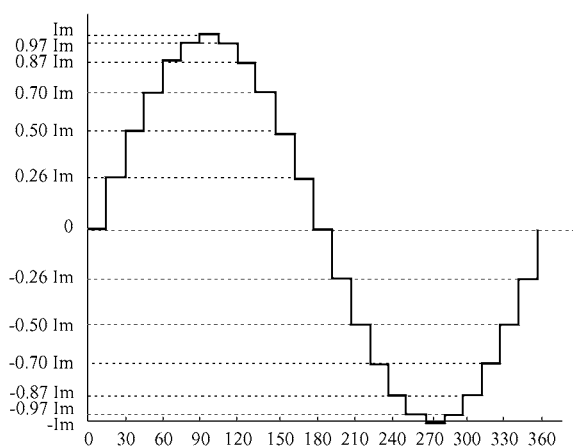


(a) 电流波形

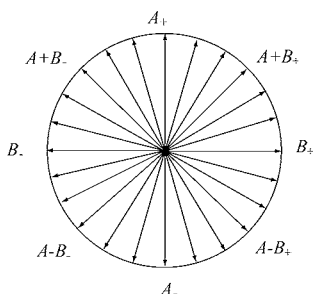


(b) 旋转磁场矢量

图1 整步驱动



(a) 电流波形



(b) 旋转磁场矢量

图2 细分驱动

生不同的平均电流  $I_a$ 。

传统的硬件 PWM 驱动方式通常是采用 555 定时器产生频率为几十千赫兹的恒频锯齿波,预先计算出各个阶梯电流值所对应的 D/A 输出电压值,D/A 的输出与锯齿

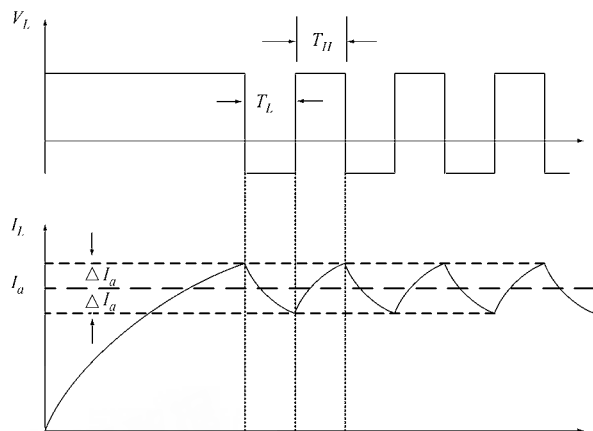


图3 PWM 方式下的电流波形

波信号作电压比较,比较器的输出即为占空比与电压值成正比的方波。这种方式存在驱动电路较复杂、精度不高的缺点。

使用带 PWM 模块的单片机驱动步进电机可以获得较高的细分精度(取决于单片机的工作频率和定时器的位数),根据细分程度的要求,可以将正弦波分割成阶梯状,计算出各个位置所对应的电流值。将各电流值转换为对应的占空比可以采用平均电压法,矩形波电压按傅里叶级数展开式为:

$$f(\omega t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_{km} \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} C_{km} \cos k\omega t \quad (1)$$

式(1)中高次谐波分量  $\sum_{k=1}^{\infty} B_{km} \sin k\omega t$  和  $\sum_{k=1}^{\infty} C_{km} \cos k\omega t$  在 RL 电路中产生的电流平均值为零,只需考虑直流分量  $A_0$  的影响:

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(\omega t) d(\omega t) \quad (2)$$

式中:  $A_0$  等于一个周期内的平均值。

由此可以看出线圈中的平均电流只与矩形波电压的平均值有关:

$$\bar{U} = \bar{I}(R + R_L) \quad (3)$$

由式(3)算出平均电压后,就可以算出 PWM 输出信号对应的占空比。将各个电流值对应的占空比列成表,程序运行时每隔一定的时间通过查表依次读取这些数值,改变 PWM 口输出方波的占空比,就可以获得如图 3 所示的阶梯形电流。

## 2 用 LPC2119 细分驱动两相步进电机

LPC2119 是 PHILIPS 推出的基于 ARM7 TDMI-S 内核的 32 位微控制器,支持实时仿真与跟踪,最高 CPU 工作频率可达 60 MHz,集成 2 路 CAN 接口,4 路 10 位 A/D,6 路 PWM 以及 I<sup>2</sup>C 等硬件模块,广泛应用于工业控制和商业应用领域各种需要 CAN 总线接口的仪器仪表。LPC2119 的 PWM 模块基于一个功能强大的标准 32 位定

时器,带6路单边沿 PWM 输出,可以驱动3个两相双极步进电机或2个三相步进电机。可以通过配置以下几个相关的寄存器来设定或改变 PWM 波的参数:

(1)PWMTCCR: PWM 定时器控制寄存器,用于控制 PWM 定时器计数器的功能;

(2)PWMMCR: PWM 匹配控制寄存器,用于控制匹配时是否产生中断或复位 TC;

(3)PWMMR0-MR6:各路 PWM 匹配寄存器,与当前计数数值匹配时产生相应操作;

(4)PWMIR: PWM 中断寄存器,用来识别中断源;

(5)PWMPCR: PWM 控制寄存器,用于设置通道类型。

以驱动两相步进电机为例,其驱动电路图如图4所示,可以看出该步进电机的驱动电路十分简单。相对于传统的恒频脉宽调制方式,节省了锯齿波发生电路和 D/A 转换器。对于两相双极步进电机,在正弦波的正半周和负半周线圈中的电流方向是不同的,为了充分利用资源,用一个4路与门74LS08对各路 PWM 信号分时复用,使每个 PWM 口可以驱动一个线圈。功率输出部分使用常见的双 H 桥功率放大器 L298N。L298N 用标准的 TTL 逻辑电平控制,与单片机接口方便,可驱动 46 V、2 A 以下的电机。

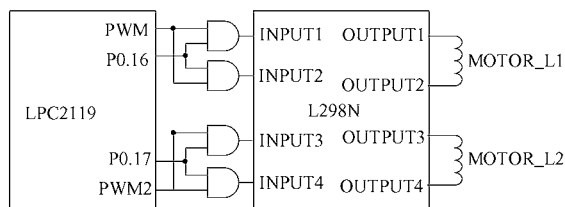


图4 驱动电路

通过对 LPC2119 的 PWM 模块相应的寄存器进行设置,可以控制各个 PWM 口的输出信号的频率、占空比。由于 6 路 PWM 共用一个时基,因此使用定时器 0 的一个匹配通道进行定时。如图 2 所示的电流波形,假设正弦波周期  $T = 1 \text{ ms}$ ,则每隔  $1/24 \text{ ms}$  需要改变一次电流的平均值,即 PWM 信号的占空比。因此定时器 0 对应的匹配通道应设置为  $1/24 \text{ ms}$  的对应值。PWM 模块的程序流程如图 5 所示,主函数只须在需要启动、停止步进电机时对 PWMTCCR 的 PWM 使能位置位或清零,以及在需要调速时改变定时器 0 的匹配通道 T0MR0 的值。PWM 的输

出控制都在中断函数中自动完成,相对于单纯的软件模拟,这种方式基本不占用 CPU 时间使程序更简洁。

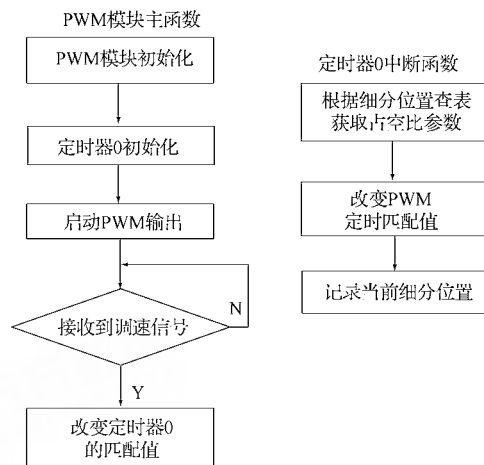


图5 程序流程

### 3 结论

利用单片机自带的 PWM 模块来实现步进电机的细分驱动,可以充分利用单片机的硬件资源,节省了 D/A 等器件,有利于降低产品成本,同时也使步进电机的细分驱动更容易。本文所采用的细分方法经过实践验证,在提高细分精度的同时使步进电机的运行更平稳,噪声明显降低。这种方法适用于需要精密显示或控制的仪器仪表中的步进电机控制,目前已应用于一款 CAN 总线汽车仪表盘中。

### 参考文献

- [1] 周立功. ARM 微控制器基础与实战[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [2] 何立民. 单片机应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1990.
- [3] 葛伟亮. 电磁元件及其控制[M]. 北京:北京机械工业出版社,1996.
- [4] 赵俊奇. 基于脉宽调制步进电机细分控制的拖动研究[J]. 华北工学院学报,2002,23(5):369-372.
- [5] 叶树明,李顶立. PWM 细分恒流步进电机驱动电路的设计[J]. 机电工程,2004,21(12):20-23.
- [6] 张文超. 步进电机 PWM 恒转矩细分驱动技术研究[J]. 机械制造,2003,41(6):33-34.

# 基于带PWM模块单片机的步进电机细分驱动技术

作者: [王辉堂](#), [颜自勇](#), [陈文芄](#), [Wang Huitang](#), [Yan Ziyong](#), [Chen Wenxiang](#)  
 作者单位: [厦门大学机电工程系, 厦门, 361005](#)  
 刊名: [国外电子测量技术](#) **ISTIC**  
 英文刊名: [FOREIGN ELECTRONIC MEASUREMENT TECHNOLOGY](#)  
 年, 卷(期): 2007, 26(3)  
 引用次数: 2次

## 参考文献(6条)

1. [周立功](#) [ARM微控制器基础与实战](#) 2003
2. [何立民](#) [单片机应用系统设计](#) 1990
3. [葛伟亮](#) [电磁元件及其控制](#) 1996
4. [赵俊奇](#), [祖静](#), [陈鸿](#) [基于脉宽调制步进电机细分控制的拖动研究](#)[期刊论文]-[华北工学院学报](#) 2002(5)
5. [叶树明](#), [李顶立](#) [PWM细分恒流步进电机驱动电路的设计](#)[期刊论文]-[机电工程](#) 2004(12)
6. [张文超](#), [雷瑛](#), [吴勤勤](#) [步进电机 PWM恒转矩细分驱动技术研究](#)[期刊论文]-[机械制造](#) 2003(6)

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 [张文超](#), [雷瑛](#), [吴勤勤](#) [步进电机 PWM恒转矩细分驱动技术研究](#) -[机械制造](#)2003, 41(6)  
 从一个新颖的角度, 分析了步进电机细分驱动原理, 并重点讨论了步进电机的电流 PWM驱动技术和恒转矩驱动技术及其应用实例.
2. 期刊论文 [黄将军](#), [甘明](#), [HUANG Jiang-jun](#), [GAN Ming](#) [电脑绣花机用混合式步进电动机PWM细分驱动设计与应用研究](#) -[微电机](#)2008, 41(4)  
 介绍了为满足电脑绣花机电控系统中两相混合式步进电机低速时运行平滑、定位精确的高性能要求而设计的一种细分驱动器. 细分驱动器基于PIC16F914单片机, 根据合成电流矢量恒幅均匀旋转原理, 采取PWM技术和瞬时电流闭环跟踪控制策略而设计. 试验结果表明此细分驱动器达到了控制要求, 具有实际意义和应用价值.
3. 学位论文 [雷凯](#) [步进电机细分驱动技术的研究](#) 2003  
 步进电机是一种将电脉冲信号转换成相应的角位移或线位移的机电元件, 具有易于开环控制、无积累误差等优点, 在从多领域获得了广泛的应用. 为了适应一些领域中高精度定位和运行平稳性的要求, 出现了步进电机细分驱动技术. 该文介绍了两相四拍混合式步进电机的工作原理及其磁网络模型, 推导了步进电机的动态方程. 分析了两种细分驱动方法: 等电流法和电流矢量法恒幅均匀旋转法, 提出了基于单片机控制的PWM电流矢量恒幅均匀旋转的细分驱动技术, 实现了步进电机32细分驱动. 为了补偿步进电机相绕组电流与其产生磁场之间非线性引起的误差, 采用了最小二乘法对细分步距角误差曲线进行了拟合与修正, 提高了细分精度. 为了检测32细分后的步距角, 采用了自准直仪加精密数显转台的光学测量方法, 并给出了实验结果, 32细分步距角的均方误差不大于3.7%.
4. 期刊论文 [杨晓沸](#) [步进电机细分控制的PWM实现](#) -[机电一体化](#)2008, 14(10)  
 步进电机作为电磁机械装置, 其进给的分辨率取决于细分驱动技术. 采用软件细分驱动方式, 由于编程的灵活性、通用性, 使得步进细分驱动的成本低、效率高, 便于方案修改, 还可解决步进电机在低速时易出现的低频振动和运行中的噪声等问题.
5. 期刊论文 [武迪](#), [赵继敏](#), [蒋鹏](#), [Wu Di](#), [Zhao Jimin](#), [Jiang Peng](#) [基于电流跟踪型PWM技术的数字式步进电机细分驱动技术](#) -[电工技术](#) 2009(8)  
 介绍基于电流矢量恒幅均匀旋转原理的步进电机细分驱动技术. 设计基于TMS320F2812的步进电机细分驱动系统硬件电路, 其利用电流跟踪型PWM技术产生用于细分各相电流的正弦阶梯波; 通过软件改变控制算法可以实现多种细分驱动控制, 简化了硬件结构, 提高了控制精度, 并且运行稳定.
6. 期刊论文 [李玲娟](#), [刘景林](#), [王灿](#), [LI Ling-juan](#), [LIU Jing-lin](#), [WANG Can](#) [一种实用的步进电动机可变细分驱动控制器设计](#) -[微特电机](#) 2008, 36(9)  
 分析了步进电动机的脉宽调制式细分驱动原理, 针对二相混合式步进电动机, 设计了一种基于AT89C51单片机的PWM恒转矩可变细分驱动控制器, 并详细阐述了软、硬件部分的实现方法. 实验结果表明, 该系统细分精度高、运行平稳、噪声小、性价比高且非常实用.
7. 期刊论文 [林伟杰](#), [李兴根](#), [潘安克](#) [三相混合式步进电机正弦波细分驱动的研究](#) -[中小型电机](#)2003(5)  
 本文分析三相混合式步进电机细分驱动绕组正弦波电流的机理, 设计出电流控制型的PWM信号产生电路, 实现采用IGBT、工作于高电压大电流的细分驱动系统. 实验结果表明, 本文设计的细分驱动器消除了低频振荡, 有良好的矩频特性.
8. 期刊论文 [冯梦雅](#), [化雪莹](#), [FENG Meng-ya](#), [HUA Xue-hui](#) [两相混合步进电机恒转矩细分驱动设计及应用](#) -[机电工程技术](#)2009(3)  
 针对两相4线步进电机, 给出一种基于单片机和多通道DAC的斩波恒转矩细分驱动方案, 阐述细分控制策略, 重点讨论了斩波恒流驱动的硬件电路实现方法, 给出硬件功能框图及软件设计思想. 应用到数控电动云台, 带动专业摄像机, 使拍摄过程平稳, 无抖动散焦.
9. 期刊论文 [黄将军](#), [甘明](#), [Huang Jiangjun](#), [Gan Ming](#) [两相混合式步进电机PWM细分驱动器设计](#) -[单片机与嵌入式系统应用](#)2007(11)  
 为满足电脑绣花机电控系统中两相混合式步进电机低速时运行平滑、定位精确的高性能要求, 设计一种细分驱动器. 该细分驱动器基于PIC16F914单片机, 根据合成电流矢量恒幅均匀旋转原理, 采取PWM技术和瞬时电流闭环跟踪控制策略. 试验结果表明, 此细分驱动器达到了控制要求, 具有实际意义和应用价值.
10. 期刊论文 [杨晓沸](#), [Yang Xiaofei](#) [步进电机细分控制的PWM实现](#) -[电机技术](#)2008(5)  
 步进电机是受走步脉冲信号控制的伺服元件, 通过改变脉冲频率可以在很大的范围内调节电机的转速, 并可以实现快速起停、制动、反转等. 并且在丢步的情况下其步距误差不会长期积累, 很适用于数字控制系统, 但由于受制造工艺和成本的限制, 其步距角不可能非常小, 文中详细分析了其原理、硬件实现、软件编辑等, 论述了如何从软件控制方法上来提高高步距角的分辨率.

## 引证文献(2条)

1. [王瑾](#) [基于DSP和CAN总线的步进电机控制系统研究](#)[期刊论文]-[电子测量技术](#) 2009(1)
2. [黄勇](#), [廖宇](#), [高林](#) [基于单片机的步进电机运动控制系统设计](#)[期刊论文]-[电子测量技术](#) 2008(05)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_gwdzcljs200703004.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gwdzcljs200703004.aspx)

下载时间: 2010年1月2日