

# 两相大功率步进电机驱动控制电路设计

孙正鹏, 李 婷, 张 虹

(哈尔滨工业大学(威海)信息科学与工程学院, 威海 264209)

**摘 要:** 单片机结合电机专用控制芯片 L297 组成两相步进电机逻辑电路, 控制大功率 MOSFET 管组成的 H 桥驱动电路, 并采用 IR2110 驱动功率管的栅极, 简化了功率驱动线路。驱动电路实现了大功率恒流斩波驱动, 同时采用细分控制方式, 提高了控制精度; 可用于大功率的自动化设备中。

**关键词:** 步进电机; 细分控制; L297; IR2110

## Design of Control Drive Circuit for Two-phase High Power Step Motor

SUN Zheng-nai, LI Ting, ZHANG Hong

(Harbin Institute of Technology, Weihai 264209, China)

**Abstract:** The logic circuit for two-phase step motor composed of microcontroller with dedicated motor control chip L297, controlled H bridge made up of high power Mosfet, which driven by chip IR2110. The circuit was simplified and reached high power, constant current and switch control, in the mean time, used the subdivision control to improve control accuracy. This design could applied in high power automation equipment.

**Key Words:** Step motor; Subdivision control; L297; IR2110

## 0 引 言

步进电机作为一种高精度的执行元件, 广泛应用于各种自动化控制系统中。随着现代技术的发展, 步进电机驱动与控制电路由分立元件向专用集成电路发展, 不但给步进电机控制带来极大方便, 而且体积缩小, 成本降低, 性能改善, 调整方便, 大大提高了系统的可靠性和抗干扰性。用来控制步进电机的电驱动控制系统, 包括前级的微功率控制电路、驱动电源和末级的功率驱动部分。前级控制电路容易实现集成, 通常是模拟数字混合集成电路; 对于小功率系统, 末级驱动电路也已集成化。而对于大功率系统, 末级功率驱动集成芯片少见且价格较高。本文采用 L297 控制由 IR2110 和大功率场效应管组成的功率驱动电路, 并结合单片机进行细分控制, 改善了步进电机的运行品质。

## 1 工作原理

细分驱动需要控制绕组电流的大小, 有单电

压、串电阻驱动和斩波恒流驱动两种方式。斩波恒流驱动具有高频响应好、输出转矩均匀、能消除共振现象等优点。本文选用此方式。在斩波恒流驱动电路中, 绕组电流的大小取决于比较器的给定电压, 实际是对应各个电流台阶给比较器施加给定的电平。步进电机细分驱动原理如图 1 所示。

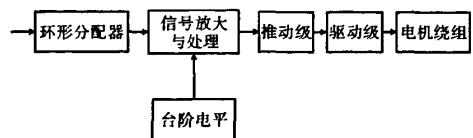


图 1 步进电机细分驱动原理框图

环形分配器用来接受来自信息处理与控制单元的 CP 脉冲, 并按步进电机状态转换表要求的状态顺序产生各相导通或截止的信号。每来一个脉冲, 环形分配器的输出就转换一次。从环形分配器输出的各相导通或截止的信号送入信号放大和处理级, 结合给定的台阶电平, 输出有效的控制信号送入推动级。这中间一般既需要电压放大, 也需要电流放大。信号处理实现信号的转换和合成功能, 产生斩波、抑制等特殊功能的信号, 从

而产生特殊功能的驱动。推动级将信号进一步放大送入驱动级，有时它还具有电平转换的作用。

## 2 硬件电路

本文设计的两相步进电机驱动硬件电路框图如图2所示。

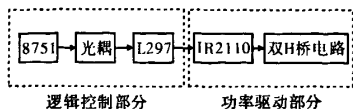


图2 两相步进电机驱动框图

### 2.1 逻辑控制电路

应用 L297 可以很方便地对步进电机进行控制。L297 适用于双极性两相步进电机或者单极性四相步进电机的控制。它的输出信号驱动功率电路。此器件只需要时钟、方向和模式输入信号，相位由内部产生，可减轻微处理器的负担和程序设计量。

L297 的核心部分是一组译码器。它能产生各种所需的相序，有方向 (CW/CCW) 和 HALF/FULL 及时钟 CP 输入，将译码器从一阶梯推进至另一阶梯。译码器有 4 个输出点连接到输出逻辑部分，提供抑制和斩波功能所需的相序。L297 另一个重要组成是两个控制相绕组电流的 PWM 斩波器，以获得良好的矩频特性。每个斩波器由一个比较器、

一个 RS 触发器和外接采样电阻组成，并设有一个公用振荡器，向两个斩波器提供触发脉冲信号。当时钟振荡器脉冲使触发器置 1、电机绕组相电流上升，采样电阻  $R_s$  上电压上升到基准电压  $U_{ref}$  时，比较器翻转，使触发器复位，功率晶体管关断，电流下降，等待下一个振荡脉冲的到来。这样，触发器输出的是恒频 PWM 信号，调制 L297 的输出信号，绕组相电流峰值由  $U_{ref}$  确定。 $U_{ref}$  由 MCU 发出数字命令经 DAC 转换得到，从而方便地获得阶梯电压，产生阶梯电流。此外 L297 也可对电动机转向和转矩进行控制。

由于步进电机在转速较高、变化较大的场合下有失步或堵转的现象，在低速时甚至会振荡<sup>[1]</sup>。为了改善其运行品质，采用细分控制方法。步进原理即是按一定的顺序向各个绕组通电流脉冲，以产生旋转力矩带动转子旋转。细分驱动就是当相邻的两相或多相绕组同时通电时，将原本一次到位的各相电流插入若干中间状态，分成阶梯，将离散变化的数字量连续化<sup>[2]</sup>。利用单片机和两片 L297 即可组成细分电路。在电路设计中采用单片机产生与 L297 相序一致的细分参考电压<sup>[3]</sup>，由 PO 口输出相应的数组值经 DAC0832 的数模转换后送给 L297。转换电路如图3所示。采用双缓冲方式接口，同步输出两组数值。分别送给两片 L297 的  $V_{ref}$  引脚。

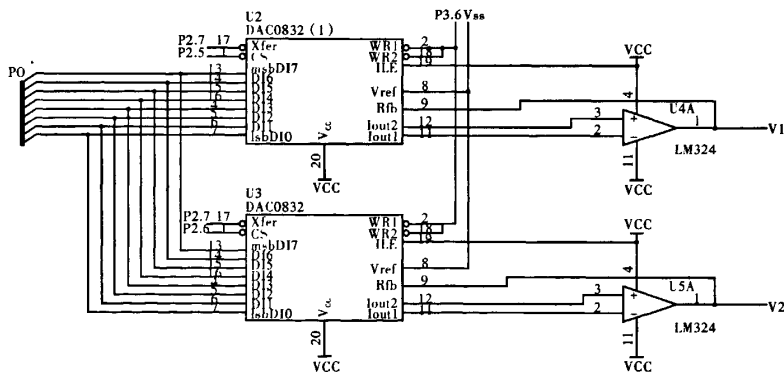


图3 D/A 转换电路

由两片 L297 分别产生细分控制两个回路需要的逻辑信号，如图4所示。其中  $R_4$  和  $R_5$  分别是两个回路的检测电阻。V1 和 V2 是经 DA 转换得到的所需的台阶电平。

### 2.2 功率驱动电路

由于两相步进电机双极性驱动效率比单极性驱动要高，故采用双 H 桥驱动结构。开关管选用功率 MOSFET (IRF450)。它的特点是开关频率高，

最高可达几百千赫。峰值电压达到 500 V，峰值电流达到 14 A。完全满足大功率步进电机的需求。IRF450 的驱动电路采用 IR2110 栅极驱动器。该芯片是一种双通道、栅极驱动、高压高速功率器件的单片式集成驱动模块。在芯片中采用了高度集成的电平转换技术，大大简化了逻辑电路对功率器件的控制要求，同时提高了驱动电路的可靠性。尤其是上管采用外部自举电容上电，使得驱动电源

数目较其他 IC 驱动大大减少<sup>[4]</sup>。

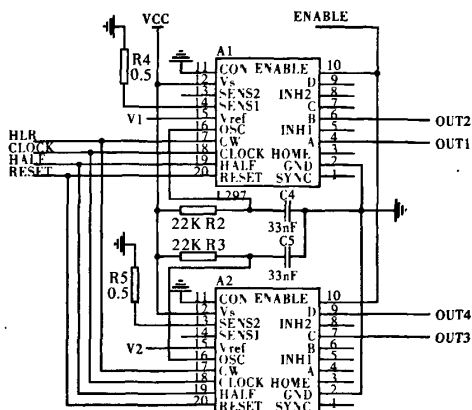


图 4

IR2110 的主要特性有<sup>[5]</sup>：内部应用自举技术来实现同一集成电路，可同时输出两个驱动逆变桥中高压侧和低压侧的通道信号。它的内部为自举操作设计了悬浮电源，悬浮电源保证了直接可用于母线电压为  $-4\text{ V} \sim 500\text{ V}$  的系统中来驱动功率 MOSFET 或 IGBT。同时器件本身允许驱动信号的电压上升率达  $-50\ \mu\text{s} \sim +50\text{ V}/\mu\text{s}$ ，故保证了芯片自身有整形功能，实现了不论其输入信号前沿的陡度如何，都可保证加到被驱动 MOSFET 或 IGBT 栅极上的驱动信号前后沿很陡，这样可极大地减少被驱动功率器件的开关时间，降低开关损耗。

器件的功耗很小，可极大地减少应用它来驱动 MOS 器件时栅极驱动电路的电源容量。从而减小栅极驱动电路的体积和尺寸。IR2110 的合理设计，使其输入级电源与输出级电源可应用不同的电压值，这样就保证了其输入与 CMOS 或 TTL 电平兼容，而输出具有较宽的驱动电压范围。而且它自身可对输入的两个通道信号之间产生合适的延时，保证了加到被驱动的逆变桥中同桥臂上的两个功率器件的驱动信号之间有一互锁时间间隔，因而防止了被驱动的逆变桥中两个功率器件同时导通，发生直流电源直通而短路的危险。

功率驱动电路如图 5 所示。栅极驱动部分中 C12 为自举电容 VCC 经 D11、C12 以及下端的开关管给 C12 充电，以确保下管关闭、上管导通时，上管的栅极靠 C12 上足够的储能来驱动。在 IR2110 上侧和下侧的输出端分别加一个电阻，确保上下管不会直通，并且在功率管的栅极加稳压二极管作为保护，以免高压损坏功率管。右侧结构与左侧对称。主驱动电路采用两个独立的 H 桥结构。每个桥由 4 个功率管组成。每个功率管上都反向并联一只二极管作为续流使用。左上管和右下管导通时，电流经左上管 - 电机绕组 - 右下管到地，右上管和左下管导通时，电流经右上管 - 电机绕组 - 左下管到地，电机绕组中流过方向相反的电流。

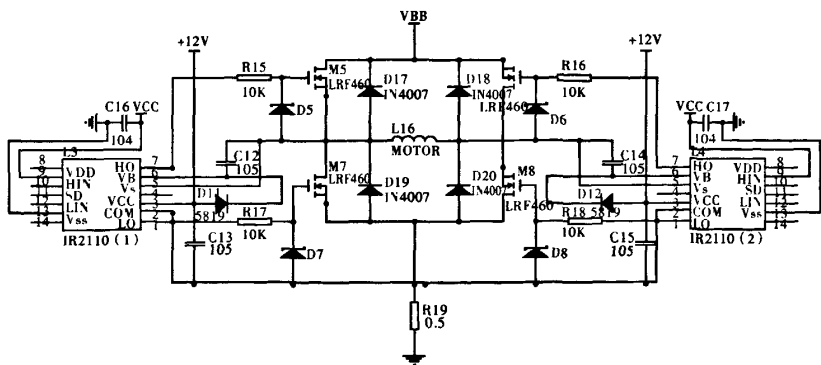


图 5 功率驱动电路

### 3 软件组成

两相步进电机基本的控制方式有三种：

整步：

单相励磁两拍： $+A - +B - -A - -B$ 。

双相励磁两拍： $+A +B - +B -A - -A -B - -B +A$ 。

半步：

单 - 双相励磁四拍： $+A - +A +B - +B - +B -A - -A - -A -B - -B - -B +A$ 。

其中， $+A +B$  和  $-A -B$  分别代表 A 相和 B 相正向通电和反向通电。整步工作方式和半步工作方式都可以由 L297 方便的实现。而半步工作状态的步距角小，更有利于细分控制。以半步工作方式为例，4 细分时各相通电时序图如图 6。

(下转第 76 页)

可安装在新发动机上，又可用于旧发动机的改造，具有广阔的应用推广前景和很强的市场竞争力。

参考文献

[1] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.  
 [2] 王晋, 陶桂林, 周理兵, 等. 基于换向过程分析的无刷直流电动机机械特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(14): 83-85.  
 [3] 胡育文, 黄文新, 张兰红. 异步电机启动/发电系统的研究[J]. 电工技术学报, 2006, 21(5): 7-13.  
 [4] 张科勋, 董毅, 李建秋, 等. 一体式启动发电机系统概述[J]. 汽车工程, 2005, 27(3): 377-380.

[5] 孙晓明, 赵德安, 刘东, 等. 基于开关磁阻电机的车用 IS-AD 系统研究[J]. 电器传动, 2006, 36(9): 13-15.  
 [6] 任海英, 周波. 双凸极启动/发电机系统一体化设计与实现[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(24): 153-158.  
 [7] 韦银, 全力, 许珍, 等. 车用六相 12/10 极开关磁阻启动/发电机系统启动性能分析与仿真[J]. 微电机, 2006, 39(1): 47-49  
 [8] GT Faticc, JE Walters, FS Gunawan. Cold Starting Performance of a 42-Volt Integrated Starter Generator System[J]. SAE 2002 World Congress, SP-1661, 2002-01-0523.

作者简介: 韩永伟(1983-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向为汽车电气及控制技术。

(上接第 63 页)

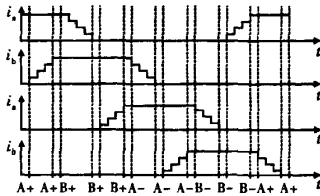


图 6 半步 4 细分时各相通电时序图

由于使用了 L297 来实现相序分配, 使软件的工作量大大减少, 并且提高了系统的可靠性。由此根据时序图就可以很容易地编写出步进电机的控制程序, 固化在单片机中在中断程序里调用。系统程序框图如图 7 所示。

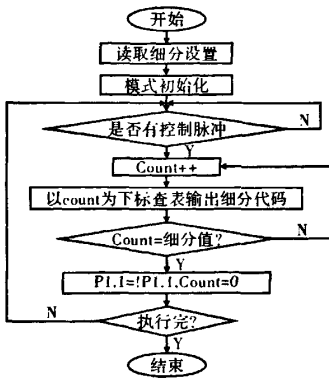


图 7 程序框图

以 P1.1 作为 L297CLOCK 的输入, P1.0 和 P1.3 分别为 CW 和 HALF 引脚的输入, 在模式初始化中选择步进电机的工作方式和转向。外部脉冲从单片机的外部中断口送入, 在中断程序中进行计数, 查表, 输出有效数据, 这样使得步进电机驱动控制电路能够更好的与其他用途接口, 方便

地进行调速控制。

4 结论

由单片机和 L297 组成逻辑控制电路, 只需要较少的输入信号, 相位由 L297 内部产生, 减轻了单片机和程序设计的负担。用两片 L297 分别控制两相步进电机的两个绕组, 由单片机输出根据相序得到的数据, 经 D/A 转换送到 L297 实现了细分控制, 能够实现 256 细分, 有效地改善了步进电机的运行品质。可以在应用中根据实际情况选择细分分数。而由 IR2110 和大功率 MOSFET 管组成的功率电路可以驱动大电压、大电流的步进电机, 具有快速完整的保护功能, 极大地缩小了印制电路板尺寸。该系统简单可靠, 能够用于大功率自动化设备中。

参考文献

[1] 宋受俊, 刘景林, 韩英桃, 张智慧. 两相混合式步进电机驱动器的优化设计[J]. 电气传动, 2006, (2): 59-64.  
 [2] 孙兴进, 曹广益, 朱新坚. 步进电动机的最佳细分控制[J]. 自动化与仪器仪表, 2001, (1): 33-36.  
 [3] 王鹏飞, 尤波. 基于 L297/L298 混合式步进电机驱动器的研制[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2003, (8): 40-43.  
 [4] 楚斌. IR2110 功率驱动集成芯片应用. 电子工程师[J]. 2004, 10: 33-35.  
 [5] 李玲娟. 多细分两相混合式步进电机驱动器的研制[D]. 西北工业大学, 2007.

作者简介: 孙正鼎(1965-), 男, 博士生, 副教授, 从事测量与控制技术研究。

李 婷(1983-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为电机驱动控制技术。

# 两相大功率步进电机驱动控制电路设计

作者: [孙正鼎](#), [李婷](#), [张虹](#), [SUN Zheng-nai](#), [LI Ting](#), [ZHANG Hong](#)  
 作者单位: [哈尔滨工业大学\(威海\)信息科学与工程学院, 威海, 264209](#)  
 刊名: [微电机](#) **ISTIC** **PKU**  
 英文刊名: [MICROMOTORS](#)  
 年, 卷(期): 2009, 42(2)  
 引用次数: 0次

## 参考文献(5条)

1. 宋受俊, 刘景林, 韩英桃, 张智慧. 二相混合式步进电机驱动器的优化设计[期刊论文]-[电气传动](#) 2006(2)
2. 孙兴进, 曹广益, 朱新坚. 步进电动机的最佳细分控制[期刊论文]-[自动化与仪器仪表](#) 2001(1)
3. 王鹏飞, 尤波. 基于L297/298芯片混合式步进电机驱动器的研制[期刊论文]-[哈尔滨理工大学学报](#) 2003(4)
4. 楚斌. IR2110功率驱动集成电路应用[期刊论文]-[电子工程师](#) 2004(10)
5. 李玲娟. 多细分两相混合式步进电机驱动器的研制 2007

## 相似文献(10条)

### 1. 学位论文 [张小杭](#) 基于DSP的两相混合式步进电机细分控制及转矩矢量控制 2004

该文介绍了一种基于DSP的两相混合式步进电机数字控制系统。该系统采用TMS320LF2407A DSP微控制器作为核心控制器件,采用专门为两相/四相步进电机设计的L298双全桥驱动芯片作为功率驱动器件,结合电流、转速反馈电路等实现对两相混合式步进电机的数字控制。SCI串行通讯程序完成了电机控制系统与上位计算机的实时通讯,使上位计算机可以监测和控制步进电机的工作状态。在控制策略方面,该文通过分析两相混合式步进电机的数学模型,介绍了两种电机控制策略——步进电机细分控制和步进电机转矩矢量控制,并且利用MATLAB的SIMULINK工具箱对之进行了仿真。步进电机细分控制策略能够有效地克服电机低频振动的问题,提高了电机在中、低速运行时的性能。步进电机转矩矢量控制策略能够提高电机输出转矩的稳定性和幅值,也提高了电机的稳态和动态特性。该文给出了系统的运行结果,结果表明基于DSP的两相混合式步进电机数字控制系统能够提升电机性能,具有良好的发展潜力。

### 2. 期刊论文 [马西庚](#), [刘复玉](#), [刘扬](#), [李红](#), [MA Xi-geng](#), [LIU Fu-yu](#), [LIU Yang](#), [LI Hong](#) 基于转移谐振的步进电机细分控制电源设计 -[石油大学学报\(自然科学版\)](#) 2000, 24(6)

介绍了一种新型的用于低速运行大功率步进电机细分控制电源设计方法。提出了转移谐振的设计思想,设计了步进电机细分控制电源的电路,给出了理论推导和证明。该步进电机细分控制电源具有设计新颖,能耗小,可靠性高等特点。

### 3. 期刊论文 [姜平](#), [Jiang Ping](#) 步进电机高分辨率细分控制函数发生器的研究 -[电气传动](#)2005, 35(11)

提出了一种新的步进电机细分控制函数的生成算法—插补法,该方法用圆弧插补技术产生高分辨率的细分控制函数,并用笔者提出的加权补偿法对其进行动态修正,解决了不同步进电机的恒力矩均匀细分的难题。该算法简单很有实用价值。

### 4. 期刊论文 [周晓宁](#), [马平](#), [田沛](#), [Zhou Xiaoning](#), [Ma Ping](#), [Tian Pei](#) 论步进电机的细分控制 -[电机技术](#)2007(6)

介绍了步进电机的细分控制设计的要求、特点及国内情况,分析了细分驱动的原理,对比了反应式步进电机、感应式步进电机的不同。最后对细分电路作了详细的论述。

### 5. 期刊论文 [孙毅](#), [石玉梅](#), [Sun Yi](#), [Shi Yumei](#) 基于DSP的两相混合式步进电机细分控制 -[电机技术](#)2009(2)

通过分析两相混合式步进电机的细分控制理论,实现基于DSP的两相混合式步进电机数字控制系统,该系统采用TMS320LF2407A DSP微控制器作为核心控制器件,结合电流、转速反馈电路等实现对两相混合式步进电机的数字控制。结果表明基于DSP的两相混合式步进电机数字控制系统能够提升电机性能,具有良好的发展潜力。

### 6. 期刊论文 [张志利](#) 步进电机细分控制的导弹定向设备开机零位温漂抑制 -[微特电机](#)2001, 29(4)

在步进电机高精度细分控制系统设计中,通过改进电流反馈系统的电流取样方式,克服了传统方法中由于采用半导体器件而带来的严重的温漂问题,使导弹定向设备的开机零位温漂接近于零。

### 7. 期刊论文 [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 -[华北工学院学报](#)2002, 23(5)

目的研究提高激光仪测量精度的理论方法。方法采用脉宽调制步进电机细分控制技术。结果设计了一套电路和软件算法系统,能使测量精度提高。结论该方法简单可行,成本低,可靠性高,同时也降低了机械结构设计的技术难度。

### 8. 学位论文 [李爱芹](#) 基于DSP的三相混合式步进电机细分驱动系统研究 2006

本文结合步进电机细分控制理论和当前细分控制技术发展的现状,针对三相混合式步进电机运行过程中出现的低频振荡和失步问题,设计了一种基于TMS320LF2407A数字信号处理器的全数字式的三相混合式步进电机细分驱动系统。文中首先介绍了三相混合式步进电机的结构和工作原理,并忽略步进电机的一些非线性因素,建立了比较理想的数学模型,然后分析了步进电机的运行特性及细分控制的必要性,进而分析了细分驱动对改善步进电机运行性能的作用,论述了正弦波细分驱动可以实现等步距角、等力矩均匀细分驱动的原理。理论表明,在混合式步进电机的三相定子绕组中通以互差120度的正弦波电流时,可得到类似同步电机的转矩特性,使电机均匀旋转。本系统硬件电路以TMS320LF2407A DSP为核心,采用正弦波电流细分和电流跟踪型脉宽调制(PWM)技术实现三相混合式步进电机的细分控制,主要包括硬件设计、软件实现和性能实验。正弦电流细分技术基本上克服了传统步进电机低速振动大和噪声大的缺点,减小发生共振的几率,电流跟踪型脉宽调制(PWM)技术使电机运行在较大速度范围内转矩保持恒定。本文提出自动等速倍细分运行方法,即在80倍以下运行时,通过程序设定为一个脉冲走两半步,保证运行速度不变,并能够提高起停性能。实验表明,本驱动器细分运行时减弱了混合式步进电机的低速振动,提高了起停频率,使电机运转平稳,大大减轻了噪声。

### 9. 期刊论文 [刘复玉](#), [李立刚](#), [张智芳](#) 基于样条函数的步进电机细分控制量拟合选取 -[青岛大学学报\(自然科学版\)](#)

2003, 16(2)

提出了步进电机细分控制特性曲线拟合的概念,讨论了细分控制特性曲线的拟合方法。用三次样条曲线实现了对细分控制输入-输出特性的拟合,给出了拟合公式。拟合结果表明,拟合数据与实测数据比较接近。

## 10. 学位论文 [王亚斌 基于DSP的二相混合式步进电机多细分驱动器的研究](#) 2008

步进电机在计算机外围设备、现代化办公设备、各种自动机、仪器设备、材料输送机、数控机床、工业机器人等领域中有大量应用。步进电机细分驱动技术是一种综合了数字化技术、集成控制技术和计算机技术的高新技术。本文介绍了两相混合式步进电机的工作原理和电磁网络模型，推导了绕组的磁链方程、电磁转矩方程。由步进电机细分驱动原理和电磁转矩方程，得到均匀细分控制时步进电机的数学模型；通过对脉宽调制式细分驱动技术的讨论和分析，本文提出了基于DSP的电流型多细分驱动方案。该方案能最大限度地利用步进电机驱动芯片的开关频率，自动计算出步进电机在不同转速下的细分微步数，通过步进电机细分控制，改善电机系统的运行特性和定位精度。本文详细描述了基于TMS320LF2407ADSP芯片的步进电机多细分驱动控制器的设计开发及其实现方法，具体设计内容包括以下几个部分：

1. 以TI公司DSP—TMS320LF2407A为控制核心，结合双H桥驱动芯片——L298，进行系统硬件电路的设计；
2. 通过对电机转速和电机驱动芯片L298的最优开关频率进行比较，确定电机步距角的细分分数，从而实现两台两相式步进电机的优化细分控制，应用DSP专用汇编语言与C语言进行系统软件程序的编写；
3. 设计扩展的CAN控制器接口、SCI串行通讯接口使步进电机控制系统与其它嵌入式系统、上位计算机等之间进行通讯与相互控制。
4. 完成了多细分驱动控制的实验，为进一步实用化打下了基础；
5. 对实验结果进行了分析，提出了该系统的优化思路和下一步的工作方向。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wdj200902018.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wdj200902018.aspx)

下载时间: 2009年10月17日