

# 可动点波束天线步进电动机细分驱动器设计

袁民 周勇

(西安空间无线电技术研究所, 西安 710000)

**摘要** 为满足可动点波束天线控制精度要求, 文章设计了可变细分的步进电动机驱动器。可变细分由单片机控制, 采用 H型驱动桥作为功放开关器件。该驱动器具有抗干扰能力强、低频运行稳定等特点。

**主题词** K频段 测距仪 电动机驱动器 细分 功率 MOSFET

## 0 引言

目前, 由于步进电动机具有定位精度高、无积累位置误差等优点, 不论在民用, 还是在航空、航天等领域, 都得到了广泛的应用。具有细分功能的步进电机驱动器大大提高了执行机构的控制精度, 同时也可以减小或消除振荡、噪声和转矩波动。

在某通信卫星天线分系统中, 需要可动点波束天线增加某一地区的通信容量。在驱动可动点波束天线时, 由于要求定位精度比较高, 如果采用将步进电机转子做成多极式或者在定子磁极上制成小齿的方法来提高定位精度, 在机械上有一定难度, 因为齿数不可能增加太多。而用硬件和软件相结合, 将步进电机的步矩角进行细分, 既可以提高精度, 又可以改善机构的低速性能。

## 1 细分原理

步进电动机是由电脉冲控制的特殊同步电动机, 只可整步或半步工作。如果要求步进电动机有更高的分辨率, 或者要减小电动机振动、噪声等, 则需要采用细分的驱动方式来实现。在每次输入脉冲切换时, 不是将绕组电流全部通入或切除, 而是只适当改变相应绕组中电流的大小。当通电相的电流并不马上升到位, 而断电相的电流并不立即降为0时, 它们所产生的磁场合力会使转子有一个新的平衡位置, 则电动机的合成磁势也只旋转步距角的一部分, 转子的每步运行也只有步距角的一部分。绕组电流不是一个方波, 而是阶梯波; 额定电流是台阶式的通入或切除, 电流分成多少个台阶, 则转子就以同样的次数转过一个步距角<sup>[1]</sup>。

为了实现细分控制的目的, 步进电机绕组应用阶梯电流波供电, 如图1所示。由图可以看出, 电流波形是从0经过若干个均匀宽度和幅度的阶梯上升到额定值, 下降时又经同样的阶梯从额定值下降至0。它与一般由0值突跳至额定值、从额定值突跳至0的通电方式相比, 步距缩小到原来的几分之一(由阶梯电流的阶梯数决定), 电机运行也非常平滑。

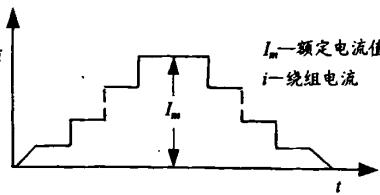


图1 阶梯电流波形图

收稿日期: 2007-08-23; 收修改稿日期: 2007-09-24

## 2 驱动器设计

### 2.1 系统设计

可动点波束步进电动机驱动器用来驱动2台步进电动机,使天线做方位和俯仰运动。电机驱动器接收来自伺服控制器的水平和俯仰步进电动机的脉冲(CW)和方向信号(CCW),一个脉冲代表步进电动机要转动的一个细分角度,方向信号表示步进电动机的正、反转。可动点波束天线3步进电动机驱动器系统设计如图2所示。

该电动机驱动器主要由单片机、程序存储器、D/A转换器、恒流斩波电路以及功率放大器组成。2路脉冲信号分别接到单片机的中断口,每到一个脉冲,单片机发生一次中断,在中断服务程序内,将二相绕组目前状态的细分数据输出到D/A转换器。D/A转换器采用12位串行方式,它与单片机之间的串行总线主要是时钟信号(SCLK)、同步信号(SY)和数据信号(SD)。二相D/A转换器使用同样的时钟信号和同步信号,使二相D/A转换器同时输出数据,以保证流经步进电动机二相绕组中的电流保持较严格的相位关系。恒流斩波电路主要由电压比较器和单稳态触发器组成。功率放大器采用H型驱动桥,实现步进电动机的正、反转。

### 2.2 恒流斩波电路

细分驱动需控制相绕组电流的大小,故使用恒流斩波驱动。恒流斩波驱动中,由于驱动电压较高,电动机绕组回路又不串电阻,所以电流上升很快;当到达所需的数值时,由于取样电阻反馈控制作用,绕组电流可以恒定在确定的数值上,而且不随电动机的转速而变化,从而保证在很大的频率范围内电动机都能输出恒定的转矩。该部分主要由电压比较器和单稳态电路组成。

电压比较器主要完成比较D/A转换器的输出细分电压(该电压作为参考电压)和来自功率放大器输出电流取样电阻的电流检测电压。如果电流检测电压大于参考电压,意味着功率放大器输出的电流大于设定电流,这时,电压比较器的输出由高电平变为低电平,触发单稳态电路输出负脉冲,关断功率放大器的输出。

单稳态电路采用双单稳触发器(如CD14538),脉冲宽度由外接电阻R、电容C决定。它主要为功率放大器提供固定关断时间,固定关断时间 =  $RC$ 。在该关断时间内,绕组断电,绕组电势立即反向,储存在绕组中的能量经续流二极管泄放,其衰减时间常数为  $L/R$ ,L为绕组电感,R包括绕组电阻和续流二极管的正向导通电阻等。当固定关断时间结束,单稳态电路输出高电平,继续打开功率放大器,绕组输出电流上升;当超过额定值,经电压比较器触发单稳态电路输出固定关断时间,使绕组电流下降;如此反复,以实现恒流斩波。

### 2.3 功率放大器

功率放大器是电动机驱动器的关键,为电动机绕组提供足够的电压和电流。它直接关系到步进电机的负载特性曲线,影响到电机的各种应用参数,包括起动频率、失步频率、起动转矩、稳态运行转矩、动态堵转转矩等等。在驱动可动点波束天线时,励磁绕组需要正向或反向电流,所以,功率放大器

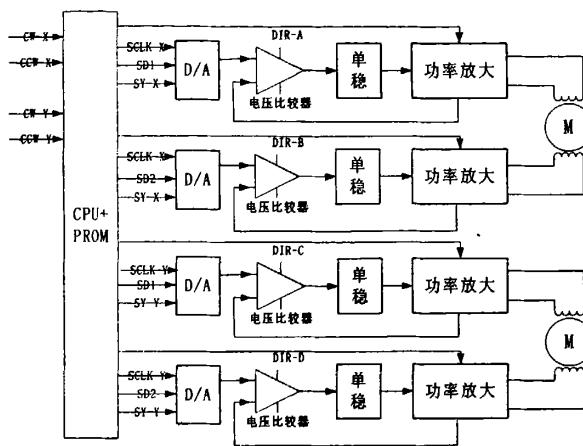


图2 可动点波束步进电动机驱动器

采用 H 桥驱动。

LMD18200 是美国国家半导体公司(NS)推出的专用于运动控制的 H 桥组件。同一芯片上集成有 CMOS 控制电路和 DMOS 功率器件, 峰值输出电流高达 6A, 连续输出电流达 3A, 工作电压高达 55V, 还具有温度报警和过热与短路保护功能<sup>[2]</sup>。其结构框图如图 3 所示。

LMD18200 末级 H 桥栅极驱动电压上升时间典型值为 20μs, 适用于工作频率 1kHz 左右情况。如果要求更高开关工作频率, 需要外接自举电容。推荐用两个 10nF 电容分别接在输出 1 脚和自举 1 脚、输出 2 脚和自举 2 脚之间, 使栅压上升时间在 100ns 以下, 允许开关工作频率达 500kHz。

LMD18200 内设置有电流检测电路, 功率输出电流 1A 对应 8 脚输出电流 377μA。接在 8 脚与地之间的电阻将其转化为电压信号, 该电压幅值小于 5V 时, 线性度与精度最佳。该端最高电压为 12V。电流取样电路并不检测反馈电流, 仅检测桥臂上端晶体管中的电流。在步进电动机驱动器中, 该取样电阻上的反馈电压在电压比较器输入端与参考电压比较, 经单稳电路, 从而控制 LMD18200 的输出。

LMD18200 在运行使用时, 要注意功率 MOSFET 的保护。如防止漏源极之间的过电压、防止过电流以及在热极限之内使用等问题。

电动机绕组相当于接在功率 MOSFET 器件的一个电感负载, 当器件关断时, 漏极电流的突变( $di/dt$ )会产生比外电源更高的漏极尖峰电压, 由此引起电流的突然变化会导致一个很大的返回式电压峰值。这个返回式电压出现在放大器的输出上, 以至损坏输出级。在功率放大器内部一般都有内部返回式保护二极管, 为返回式电压提供泄放回路。但要保证该保护二极管的恢复时间能小于返回式电压的高频能量的时间。

负载的变化可能会产生很大的冲击电流, 以至超过器件的额定漏极峰值电流  $I_{DM}$ 。在这种情况下, 应使功率 MOSFET 迅速关断。在脉冲应用时, 不仅要保证峰值电流  $I_{PK}$  不超过额定峰值电流  $I_{DM}$ , 而且还要保证它的有效值电流  $I_{PK}$  小于器件的额定最大连续电流  $I_b D^{1/2}$ , 其中  $D$  为占空比。

功率 MOSFET 是一种受热限制的功率器件, 它必须安装在散热器上, 使其在最大耗散功率和最高环境温度的最坏情况下, 结温仍低于额定值  $T_{jmax}$ <sup>[3]</sup>。

### 3 脉冲分配与细分数据

步进电动机为两相混合式, 脉冲分配采用二相双 4 拍, 通电状态顺序为 AB - A \* B - A \* B \* - AB \*。在任何通电的时候, 两相绕组中都有电流流过, 所以这种通电序列可以使步进电机输出更大的转矩。

由于使用 12 位的 D/A 转换器, 可以实现 4095 级细分, 并且该步进电动机驱动器由于采用单片机控制, 细分数可以在 4095 内任意设置, 而不需要更改硬件。现以四细分为例, 经四细分后, 步进电动机步距角由 1.8° 细分成 0.45°, 细分数据如表 1 所示, 表中  $a$  为电度角, DIR-A 与 DIR-B 是脉冲分配序列, DA 是 D/A 转换器的输入,  $|\cos(a)|$  与  $|\sin(a)|$  表示两相绕组上的电流大小, 这里做了归一化处理。

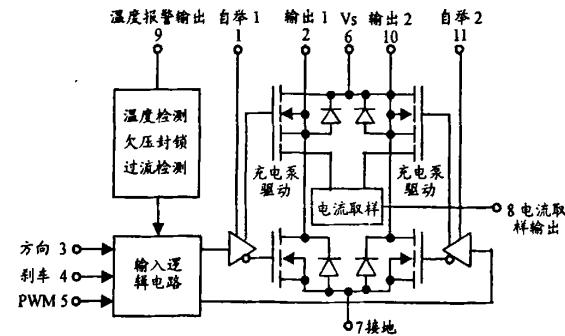


图 3 LMD18200 内部结构

表1 四细分绕组电流数据

步数	$\alpha$	$ \cos(\alpha) $	DA	DIR-A	$ \sin(\alpha) $	DA	DIR-B
1	0	1	4095	1	0	0	1
2	22.5	0.924	3784	1	0.383	1568	1
3	45	0.707	2895	1	0.707	2895	1
4	67.5	0.383	1568	1	0.924	3784	1
5	90	0	0	0	1	4095	1
6	112.5	0.383	1568	0	0.924	3784	1
7	135	0.707	2895	0	0.707	2895	1
8	157.5	0.924	3784	0	0.383	1568	1
9	180	1	4095	0	0	0	0
10	202.5	0.924	3784	0	0.383	1568	0
11	225	0.707	2895	0	0.707	2895	0
12	247.5	0.383	1568	0	0.924	3784	0
13	270	0	0	1	1	4095	0
14	292.5	0.383	1568	1	0.924	3784	0
15	315	0.707	2895	1	0.707	2895	0
16	337.5	0.924	3784	1	0.383	1568	0

可动点波束天线步进电动机驱动器经调试后,测量二相外接 LMD18200 电流检测输出端的取样电阻上的电压波形如图 4 所示。取样电阻上的电压波形由于干扰,波形会有些毛刺。所以,建议将控制电路部分与 LMD18200 的功率 MOSFET 之间进行电气隔离;在 PCB 布线方面,尽量减少电路杂散电感。

#### 4 结语

该步进电机驱动器由于采用细分控制,基本消除了可动点波束天线机构产生的噪声,电机运行平稳,控制精度得到了提高。但由于使用串行 D/A 转换器以及采用中断方式处理事件,所以,运行频率不可能太高,只适用于低转速的情况。

#### 参考文献

- [1] 刘宝延,程树康.步进电动机及其驱动控制系统.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1997
- [2] 林建伟.电机驱动用 H 桥组件 LMD18200 的应用.国外电子元器件,1998(9)
- [3] 张立.电力电子场控器件及其应用.北京:机械工业出版社,1996

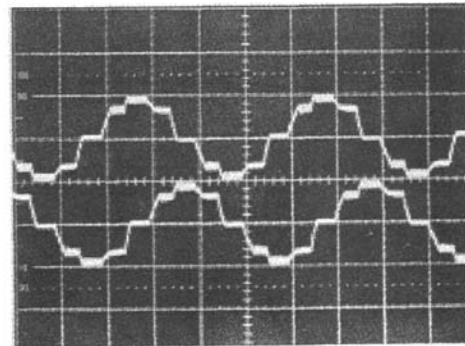


图4 四细分时二相取样电压波形

#### 作者简介

袁民 1968 年生,哈尔滨工业大学本科毕业,高级工程师。主要研究方向为卫星天线伺服控制。

周勇 1976 年生,毕业于西北工业大学,硕士,工程师。主要研究方向为卫星天线伺服控制。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

---



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>