

文章编号:1008-8652(2006)04-037-003

# PWM 控制技术在直流无刷电机调速系统中的应用

李小艳

(西安电子工程研究所 西安 710100)

**【摘要】** 介绍 PWM 技术的工作原理,以及应用于直流无刷电机调速系统的实例分析。

**关键词:** PWM; 直流无刷电机; 占空比; 稳速

**中图分类号:** TM 33      **文献标识码:** A

## Application of PWM Control Technology in Speed Control System of DC Brushless Motor

Li Xiaoyan

(Xi'an Electronic Engineering Research Institute, Xi'an, 710100)

**Abstract:** The operation principle of pulse width modulation (PWM) is presented, and the example of its application in DC brushless motor speed control system is analyzed.

**Keywords:** PWM; DC brushless motor; duty cycle; stead speed

### 1 引言

脉宽调制(PWM)是利用数字输出对模拟电路进行控制的一种有效技术,尤其是在对电机的转速控制方面,可大大节省能量。

PWM 具有很强的抗噪性,且有节约空间、比较经济等特点。模拟控制电路有以下缺陷:模拟电路容易随时间漂移,会产生一些不必要的热损耗,以及对噪声敏感等。而在用了 PWM 技术后,避免了以上的缺陷,实现了用数字方式来控制模拟信号,可以大幅度降低成本和功耗。

### 2 直流无刷电机

直流无刷电机由电动机、转子位置传感器和电子开关线路三部分组成,它的原理框图如图 1 所示。图 1 中直流电源通过开关线路向电动机定子绕组供电,电动机转子位置由位置传感器检测并提供信号去触发开关线路中的功率开关元件使之导通或截止,从而控制电动机的转动。在应用实例中,磁极旋转,电枢静止,电枢绕组里的电流换向借助于位置传感器和电子开关电路来实现。

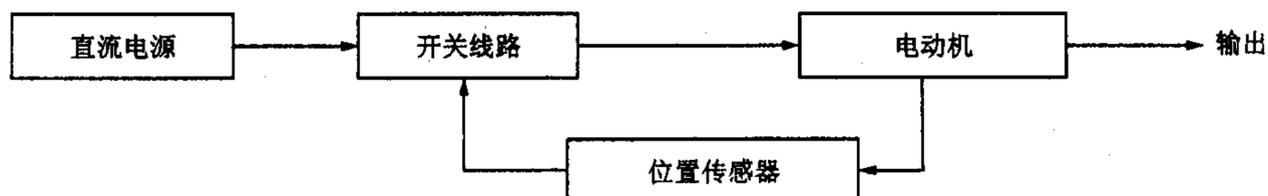


图 1 直流无刷电机原理框图

电机的电枢绕组作成三相,转子由永磁材料制成,与转子轴相连的位置传感器采用霍尔传感器。360°范围内,两两相差 120°安装,共安装三个。为了提高电机的特性,电机采用二相导通星形三相六状态的工作方

式。开关电路采用三相桥式接线方式。它的工作原理如图 2 所示。其导通顺序按 AB—AC—BC—BA—CA—CB 进行,共六种状态。故磁状态角  $\theta_z = \pi/3$ ,每种工作状态均为两相导通串联导电工作。

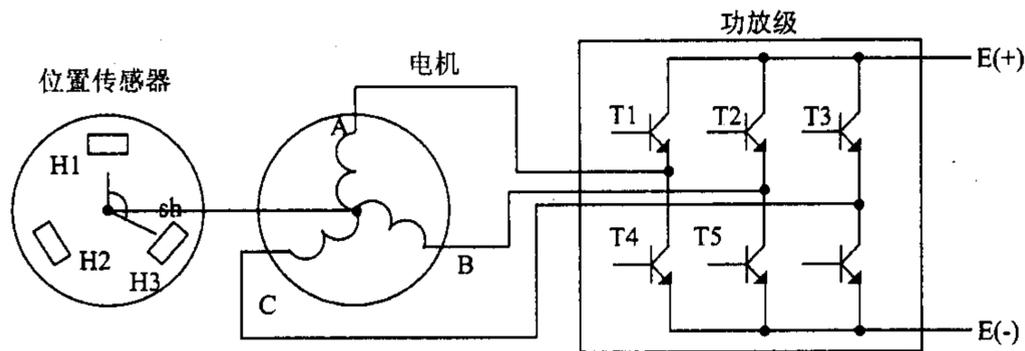


图 2 电机工作原理图

### 3 调速控制

#### 3.1 逻辑控制部分

根据表 1 中所示的导通顺序,要求转子导磁体张角  $\alpha_{sh} = 2\pi/3$ 。无刷直流电机的位置传感器选用霍尔器件,三个霍尔传感器两两之间互成  $120^\circ$  安装。位置传感器所产生的信号  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  送给波形整形器进行整形。

表中有密横线部分表示管子的导通角  $\theta_c$ 、绕组磁状态角  $\theta_z$ 。

转子导磁体张角  $\alpha_{sh}$  的选择一般稍大于  $2\pi/3$ ,大约做成  $130^\circ$  左右。这样作的目的是,在电机电枢绕组换相时,总有一瞬间两绕组重迭导通。死点和可靠启动的问题解决了,但对于桥式开关电路,就可能出现上下两管同时导通,而使电源短路的现象。为了解决这一问题,将传感器三路输出信号进行逻辑组合,保证电枢电流换相时,既确保电流衔接,又确保管子安全。从波形来说,后沿跟前沿刚好搭接上。即重叠  $1^\circ$  左右。这样就可以不至于因电源短路而烧坏管子,又可以做到换相及时,不出现空档(即死点),其逻辑组合的波形如图 3 所示。

主要作用是实现信号逻辑组合,信号经过逻辑组合控制后,起着电机启动不出现死点和不烧功放管及稳速功能。具体实现选用三输入三与门 4073 一块,三输入三与非门 4023 一块及 4049 六反相器一块等 COMS 集成电路组成。

#### 3.2 调速以及稳速控制

在调速电路中,主要采用时基电路 LM555 和脉宽调制器 SG1525 来完成,LM555 用于产生一个占空比一定、且有固定频率的方波信号。SG1525 为单片脉宽调制型控制器芯片,具有输出 5.1V 的基准稳压电源、误差放大器、振荡频率在  $100 \sim 400\text{kHz}$  范围内的锯齿波振荡器、软启动电路、关闭电路、脉宽调制比较器、RS 寄存器以及保护电路等。它解决了 PWM 电路的集成化问题,在实例中用此芯片来实现系统的调速。

在具体的电路中,首先对位置传感器信号进行整形,形成所需要的前后沿很陡,具有一定宽度的波形。经微分电路微分,产生的微分脉冲去触发时基电路 LM555,形成占空比为 2:1 的方波,方波频率约为 200Hz。此方波频率计算公式为:

$$f = n * p / 60$$

式中,  $n$  为电机的额定转速 r/min、 $f$  为位置传感器输出信号的频率、 $p$  为电机的极对数。

方波经滤波器滤波后,形成直流电压送入脉宽调制器,与脉宽调制器的反馈电压进行比较,利用得到的误差信号去控制脉宽调制器输出的调制方波脉冲的宽度变化,即 PWM 输出脉冲占空比的变化,利用占空比的变化调整加在电机电枢绕组上的电压,改变电压随即改变电机电流,转速依据电流的大小来改变,实现了

表 1 绕组导电顺序和功率管工作关系表

时间 (电角)	0	$\pi/3$	$2\pi/3$	$\pi$	$3\pi/4$	$5\pi/3$	$2\pi$
导通 顺序	A		B		C		
	B	C		A	B		
T1	~~~~~						
T2			~~~~~				
T3					~~~~~		
T4				~~~~~			
T5	~~~~~						
T6		~~~~~					

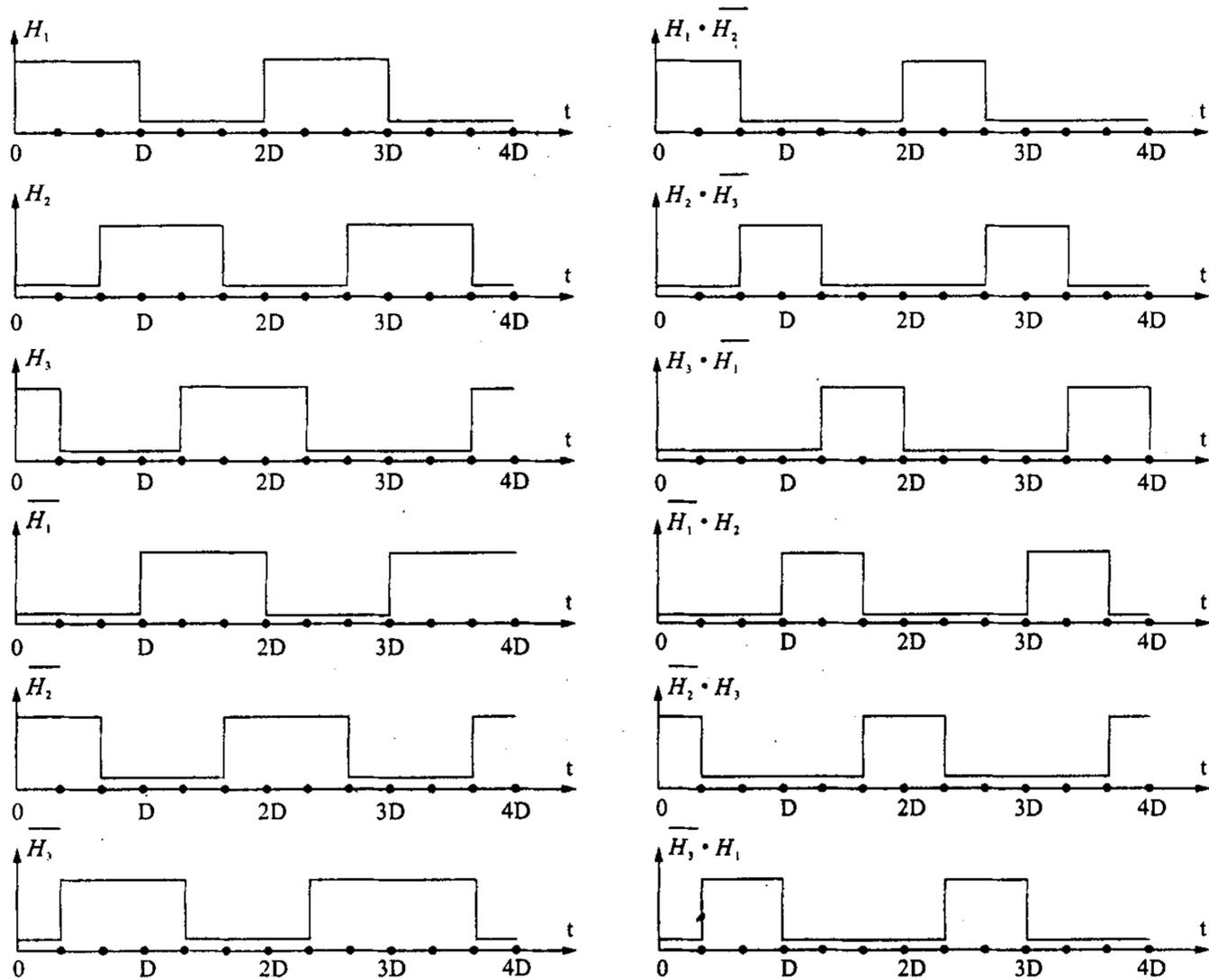


图 3 逻辑组合波形图

调速功能。稳速功能的实现即是要求加在绕组上的电压处于一个动态稳定的电压值，稳速的实现实质上就是让电枢绕组上的电压稳定。即用稳压来实现电机稳速。

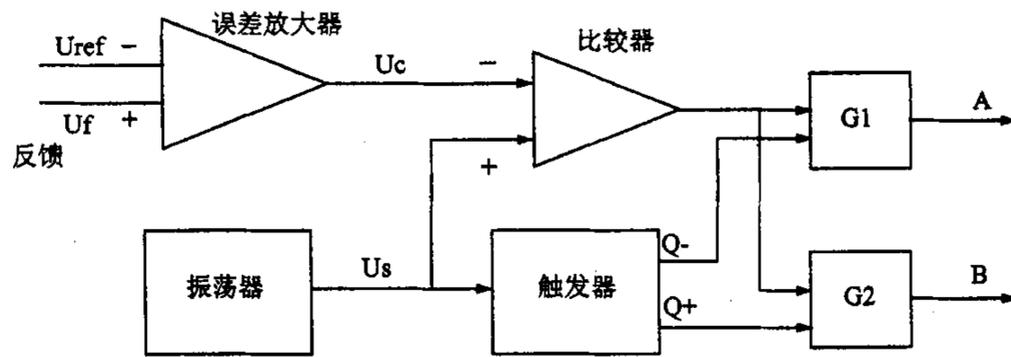


图 4 集成电路脉宽调制框图

集成电路脉宽调制器的基本结构框图见图 4，取自输出端的反馈信号  $U_f$  加在误差放大器的同相输入端，固定的基准电压信号  $U_{ref}$  加在误差放大器的反相输入端。固定频率振荡器产生的线性增长的锯齿波电压  $U_s$  加在比较器的同相输入端，当锯齿波电压  $U_s$  高于误差信号  $U_c$  时，比较器输出为正，反之为零。振荡器的输出电压  $U_s$  同时送到触发器的 CP 输入端使触发器翻转。由触发器作用得到了 A、B 两种不同的被调制电压信号。

在稳速过程中，当输出电压减小时，反馈信号、误差信号随着减小，比较器和 A、B 两通道输出的方波宽度相应增宽，即占空比增大，从而使输出电压回升，达到稳压的目的，从而稳速。

PWM 调速过程实际上是 (V-占空比) 转换过程，电压与占空比的转化如图 5 所示。

图 5 中，脉冲宽度  $\tau$  的改变是随着  $U_c$  的改变而改变。假定在没有误差的情况下， $\Delta u = 0$  时的基本形式  $\tau = \tau_0$ 。当  $\Delta u$  增加， $U_c$  减小，与  $U_s$  比较，输出高电平，使得直线 AB 下移到 A'B'，这时  $\tau$  变为  $\tau_1$ ，脉宽增加。 $\Delta u$  减少， $U_c$  增加，与  $U_s$  比较，输出低电平，使得 AB 线上移至 A''

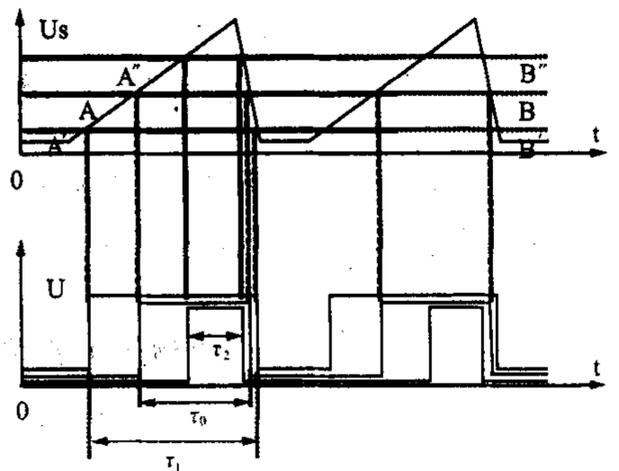


图 5 V-占空比转换示意图

(下转第 77 页)

## 5 研制结果

经过测试,以上述方案研制完成的频率综合器达到了所要求的技术指标。其中发射站频综射频信号  $F_c$  技术指标实测如下:

输出频段: C 波段, 28 个频点;

输出射频信号形式: 调频斜率为对称三角形的线性调频连续波射频信号, 调频带宽  $\pm 4\text{MHz}$ ;

输出信号功率:  $\geq 15\text{mW}$ ;

相位噪声:  $\mathcal{L}(1\text{kHz}) \leq -105\text{dBc/Hz}$ ;

杂散:  $\leq -60\text{dB}$

接收站频综一本振信号主要技术指标实测如下:

一本振  $f_{L1}$  工作频段: C 波段, 频率间隔  $30\text{MHz}$ ;

输出信号功率:  $\geq 1\text{W}$ , 带内功率起伏  $\leq 1.3\text{dB}$ ;

相位噪声:  $-108\text{dBc/Hz}$ ;

杂散:  $\leq -65\text{dB}$ 。

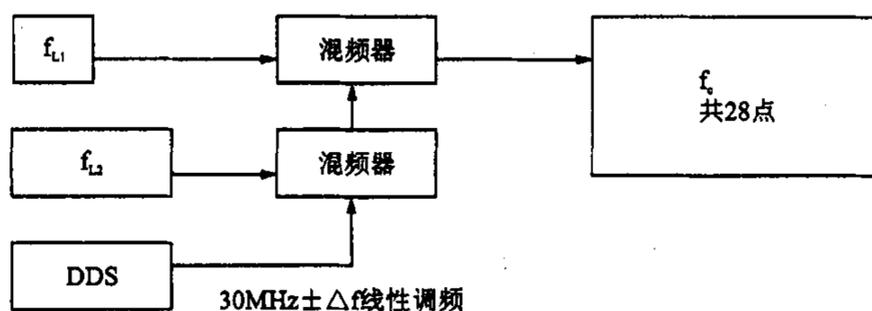


图4 发射站频率源频率合成方框图

## 6 结束语

上述频率综合器在方案设计、工程适应性设计、模块化设计、电磁兼容性设计以及结构设计等方面进行了认真分析与仿真,通过项目组同事的共同努力研制出的频率综合器,已经交付总站使用,完全满足雷达系统的要求,并已成功应用于双基地雷达系统中。

### 参考文献:

- [1] 戈稳. 雷达接收机技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 白居易. 低噪声频率合成[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1995.

(上接第 39 页)

$B''$ , 这时  $\tau$  变为  $\tau_2$ , 脉宽变窄。那么此脉冲经功率放大后, 流过电机电流的电流  $I$  随之变化。很显然, 脉宽比较宽的,  $I$  大, 电机转速增加。脉宽窄的  $I$  小, 电机转速下降。基于这一原理, 就可以实现电机调速和稳速的要求。

## 4 结束语

在应用实例中, PWM 对调速系统来说, 有如下优点: 系统的响应速度和稳定精度等指标比较好; 电枢电流的脉动量小, 容易连续, 而且可以不必外加滤波电抗也可以平稳工作; 系统的调速范围宽; 使用元件少、线路简单。

### 参考文献:

- [1] 机电一体化实用技术[M]. 上海: 上海科学技术文献出版社.
- [2] 开关稳压电源[M]. 北京: 高等教育出版社.