

# 功率 VMOS 管驱动的直流电机无级调速系统

## DC-motor Speed Regulation System Driven by VMOS

蔡益军, 杜敬锐, 熊凯琳, 朱振国, 郁金明, 郭丙君  
华东理工大学信息学院 (上海, 200237)

Cai Yijun, Du Jingrui, Xiong Kailin, Zhu Zhenguo, Yu Jinming, Guo Binjun  
School of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology (Shanghai, 200237, China)

**摘要:** 传统的直流电机调速大多采用电阻压降、双极性管和晶闸管驱动的方法, 但是效率较低, 不够稳定。本文介绍了由开关电源供电、大功率 VMOS 管驱动、脉宽调制的直流电机无级调速系统的设计, 分析了系统的工作原理, 实现了无触点、高效率、稳定的正反转调速。

**关键词:** 脉宽调制 (PWM) 数字电路 无触点正反转

**Abstract:** Most of today's traditional DC-motor speed regulation systems are driven by resistance, bipolar and thyatron, which have deficiency in stability and efficiency. To solve these problems, this article have introduced a design of the DC-motor speed regulation system for the conveyor line powered by Multi-Output switching power, driven by power field effect transistor (VMOS) and controlled by PWM driver program which would realize the non-contact positive and negative rotation control. Having analysed the principle of this system, we have implement the non-contact positive and negative rotation control stably and efficiently.

**Key words:** PWM, Digital circuit, Non-contact positive and negative rotation.

[中图分类号] TM301.2 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2015) 01-0036-03

## 1 引言

现有的传送带直流电机调速, 一般由原始的电阻降压法或采用双极管和晶闸管实现调速驱动, 电动机冲击扭矩大、电路输出效率低、调速范围不够宽、动态响应慢、平滑过渡较差等。本传送带直流电机调速系统效率高、调速范围大、过渡平滑性和低速稳定性好, 而且具有较长的使用寿命。本直流电机调速系统, 采用纯数字 PWM 产生电路, 利用 VMOS 的 H 桥路实现无触点正反转可控的调速方案, 简单有效、系统稳定。

## 2 直流电机调速系统的组成

本调速系统由电源、控制电路、驱动电路、电动机和保护电路组成, 见图 1。

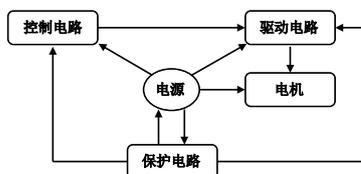


图 1 直流电机调速系统的组成

## 3 硬件电路

### 3.1 电源电路

为了提高系统电源效率, 电源部分采用最常用的基于 UC3842 芯片的开关电源, UC3842 是一种高性能的固定频率电流型控制器, 专为离线式直流变换电路设计, 集成了振荡器、有温度补偿的高增益误差放大器、电流检测比较器、图腾柱输出电路、输入和基准欠电压锁定电路及 PWM 锁存器电路。该芯片主要有以下性能: (1) 可调整振荡器的放电电流, 以产生精确的占空比; (2) 最高开关频率可达到  $500 \text{ kHz}$ ,  $f=1.8/(R_1 \times C_1)$ ,  $R_1$  的单位为  $\text{k}\Omega$ ,  $C_1$  单位为  $\mu\text{F}$ ,  $f$  的单位为  $\text{kHz}$ ; (3) 带锁定的 PWM, 可以实现逐个脉冲电流限制; (4) 具有内部可调整的参考电源, 可以进行欠压锁定; (5) 图腾柱输出电路, 能够提供大电流输出, 输出电流可达  $1\text{A}$ , 可直接对 MOSFET 进行驱动; (6) 带滞环的欠压锁定电路, 可有效地防止电路在阈值电压附近工作时的振荡等。其原理图如图 2 所示。

系统工作原理: 220V 交流输入电压经过保险丝和桥堆整

流和滤波平滑后,为电路提供约 300V 直流工作电压,启动电路由电容和电阻构成,电容经电阻充电,当电压达到 16V 时,UC3842 启动并有输出,使 MOS 开关管导通,能量存储在变压器中。此时,由于二次侧各路整流二极管反向偏置,故能量不能传递到变压器的二次侧,变压器一次侧电流通过电阻检测并与 UC3842 内部提供的 1V 基准电压进行比较,当达到这一电平时,开关管关断,所有变压器的绕组极性反向,输出整流二极管正向偏置,存储在变压器中的能量传输到输出电容器中。启动结束后,二次侧电压 90V 输出,经光耦分压送到误差放大器的反向端(脚 2)和 UC3842 内部 2.5V 的基准电压作比较,来调整驱动脉冲宽度,从而改变输出电压,以实现对其输出的控制。这样,能量周而复始地存储释放,给输出端提供电压。

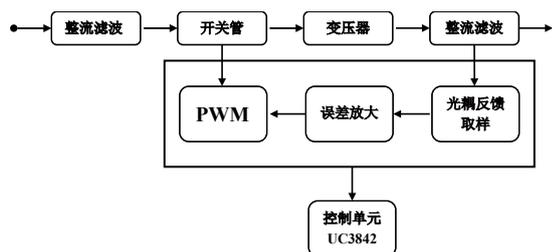


图 2 电源电路原理图

### 3.2 PWM 产生电路

两个 555 芯片形成 PWM 控制电路,电路简单有效,运用比较成熟。其原理图及工作原理如下。

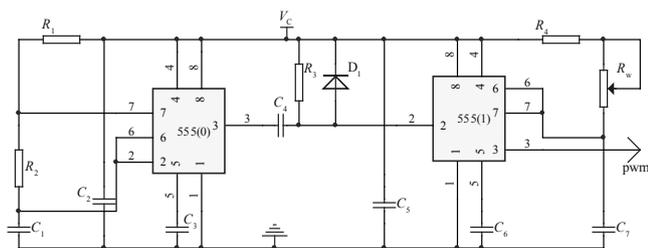


图 3 PWM 控制电路

该电路由多谐振荡电路、微分电路及单稳态电路组成,  $C_2$ 、 $C_5$  起电源滤波作用,两个 555 芯片的 5 脚均通过  $0.01\mu\text{F}$  的电容接地,防止引起干扰。

PWM 信号频率由多谐振荡电路决定,可以方便地通过调节  $R_1$ 、 $R_2$  和  $C_1$  的大小,得到需要的频率(本系统工作频率为 10kHz)。555(0) 的 3 脚输出矩形波,经由  $C_4$ 、 $R_3$  组成的微分电路后,产生一系列尖脉冲,其中负方向的脉冲触发 555(1) 的 2 脚,使得 555(1) 内部的放电管截止,电容  $C_7$  充电,同时,555(1) 的 3 脚输出高电平。当  $C_7$  两端的电压达到 555(1)6 脚的阈值电压后,内部放电管截止,  $C_7$  充电结束,迅速放电。同时,555(1) 的 3 脚输出低电平,直至下一个负方向的脉冲触发 555(1) 的 2 脚,重复以上过程。只需调节电位器  $R_w$  改变电容充电时间,就可方便地得到脉宽可变的 PWM 信号。

在 PWM 产生电路中应考虑以下两点。

(1) 在一定条件下,微分电路  $C_4$ 、 $R_3$  的选择应使时间常数  $t$  尽可能的小。一方面,保证所产生的脉冲能有效触发;另一方面,保证脉冲宽度尽可能地小,从而使 PWM 信号的占空比可以尽可能地小,因为为了保证 555 能稳定正常工作, PWM 信号的最小占空比应不小于有效触发脉冲宽度。考虑到实际中很难使脉冲宽度为零,因此,在电位器与电源之间串了一个阻值较小的电阻,保证电位器调到零的时候, PWM 信号的占空比仍不小于有效触发脉冲宽度。

(2) 微分电路中  $R_3$  挂在电源上,在沿正方向跳变时,会在 555(1) 的 2 脚产生瞬间高压。因此,在电路中添加了二极管  $D_1$ ,利用二极管的导通压降(约 0.7V),使 555(1) 的 2 脚电压不会超过  $(V_c+0.7\text{V})$ ,防止瞬间高压窜入 555(1) 的内部,从而对 555(1) 起保护作用。

实验过程中采用示波器观察 555(1)3 脚输出的 PWM 信号,如图 4 所示。

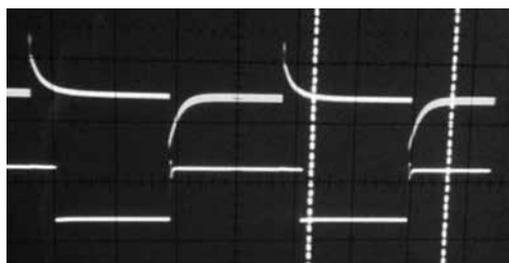


图 4 555(1)3 脚输出的 PWM 信号

### 3.3 无触点正反转驱动电路

无触点正反转驱动电路图如图 5 所示。

该模块电路由 IR2110 驱动芯片的控制电路和 H 桥驱动电路组成,其中 H 桥驱动电路左右对称,图中仅给出了左半部分。

IR2110 芯片的控制电路中,产生的 PWM 信号输入组合逻辑电路,取 4 个输出分别连接 2 个 IR2110 的  $H_{IN}$ 、 $L_{IN}$  引脚,通过单刀双掷开关控制 4 个输出信号,继而控制 IR2110 的输出,实现对电机正反转的控制。

结合 IR2110 驱动芯片的特性,IR2110 芯片的控制电路原理图如图 5(a) 所示。

当电机正转时,开关接高电平,  $H_{IN2}$ 、 $L_{IN1}$  输入低电平,  $H_{IN1}$  输入 PWM 信号,  $L_{IN2}$  输入高电平;当电机反转时,开关接低电平,  $H_{IN1}$ 、 $L_{IN2}$  输入低电平,  $H_{IN2}$  输入 PWM 信号,  $L_{IN1}$  输入高电平。由此可得:电机正转时,  $HO_1$  输出 PWM 信号,  $LO_1$ 、 $HO_2$  输出低电平,  $LO_2$  输出高电平,使得  $Q_2$ 、 $Q_3$  处于关断状态,  $Q_4$  一直处于导通状态(其中  $Q_3$ 、 $Q_4$  是与  $Q_1$ 、 $Q_2$  相对应的右半部分,图中未给出),仅利用 PWM 信号控制  $Q_1$  的导通和关断进而控制电机的转速;电机反转时,  $HO_2$  输出 PWM 信号,  $HO_1$ 、 $L_{IN2}$  输出低电平,  $L_{IN1}$  输出高电平,使得  $Q_1$ 、 $Q_4$  处于关断状态,  $Q_2$  一直处于导通状态,仅

利用 PWM 信号控制  $Q_3$  的导通和关断, 进而控制电机的转速。

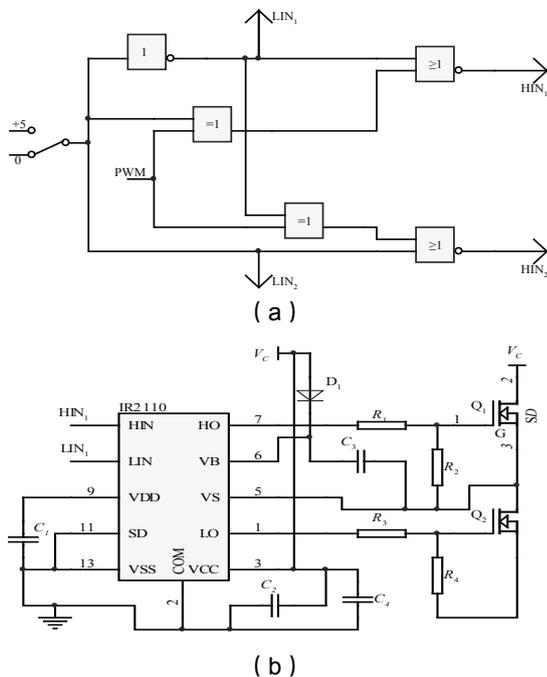


图 5 无触点正反转驱动电路: (a) IR2110 驱动芯片的控制电路; (b) H 桥驱动电路

该方案使得电动机的续流通过对应 H 桥下臂的 MOS 管流入地, 不存在因电机的续流流入电源而影响整个电路的正常工作。采用该方案、调试电路时, 实现了对电机转速的稳定调节, 转速过渡平滑, 实现了无级调速。

对于一般的开关管而言, 其损耗在开通与关断瞬间达到最大。而本电路采用 MOS 管, 其开通与关断损耗较小, 效率很高。另外, 利用 VMOS 管的无触点换向设计, 不存在机械损耗, 换向过程安全可靠, 提高了系统的使用寿命。

### 3.4 保护电路

保护电路设计, 主要是针对电机及驱动电路部分。

#### (1) 过流过热保护

电路设计考虑到电机过流和驱动电路过热的问題, 如果检测到流过电机的电流过大或者驱动电路温度过高, 保护电路将对此做出响应, 对电路进行保护, 以免电机受到损害或者驱动电路部分被烧坏。

#### (2) 启动保护

在启动电路时, 检测 PWM 信号的脉宽是否为“零”(即最小脉宽), 达到“零”则对电机进行正反转的有效控制, 否则, 保护电路部分对驱动部分进行保护, 并发出错误信息, 防止

启动时电机的冲激扭矩大, 损坏电机。

#### (3) 换向保护

也就是说, 当电机处于高速运转的状态时, 如果进行了换向操作, 此时保护电路应立即做出反应, 对电路进行保护并发出错误信号, 提示操作者将电机转速调至最低后再换向。在电机高速运转的情况下换向的话, 同样存在电机冲激扭矩大的问题, 很可能会烧坏驱动电路部分的元件, 损坏电机。

### 3.5 实验结果

对以上电路制作电路板调试之后, 电机运转正常, 速度得到很好的控制, 无触点换向操作简单有效, 很好地实现了正反转可控的直流电机无级调速, 而且长时间工作后, 驱动电路部分的 VMOS 管不发热, 说明这种正反转无级调速电路效率和可靠性都很高。

### 4 结束语

基于功率 VMOS 管的传送带直流电机无级调速系统, 较好地解决了传统正反转调速系统的不足, 设计方案简单有效, 提高了工作效率, 延长了直流电机调速系统的使用寿命。控制电路部分也可采用单片机进行设计, 这样在一定程度上降低了硬件电路的复杂性。另外, 该调速系统可以应用于其他很多需要用到直流电机调速而且功率大的设备。

#### 参考文献

- [1] 肖景和. 555 集成电路应用精粹 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007
- [2] 陈纯锴. 开关电源原理、设计及实例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012
- [3] 康华光. 电子技术基础 (数字部分) [M]. 第五版. 北京: 高等教育出版社, 2005
- [4] 张小鸣, 卢方民. 基于 IR2110 的 H 桥可逆 PWM 驱动电路应用 [J]. 常州大学学报 (自然科学版), 2012, 24 (4): 68-72.
- [5] 周敏荣, 潘美珍. 高压悬浮驱动电路 IR2110 的特点及拓展应用技术 [J]. 电子元器件应用, 2009, (4).
- [6] 马晓虹, 吴延海, 尹向雷等. 直流电机的 IR2110 驱动控制设计及 DSP 实现 [J]. 微型机与应用, 2013, 32 (15): 34-36, 44.

#### 作者简介

蔡益军, 男, 1970 年 6 月生, 实验师, 研究方向: 电力电子技术与电气传动。

## 甘肃风电并网突破千万千瓦

据了解, 近日甘肃电网风电并网突破 1000 万 kW, 光伏突破 500 万 kW, 这标志着甘肃千万千瓦级“陆上三峡”风电基地全面建成。