

# 一种实用的三相步进电机驱动器的设计

张金波<sup>1</sup>, 辛宇<sup>2</sup>, 曹爱华<sup>1</sup>

(1. 河海大学计算机及信息工程学院, 江苏 常州 213022;

2. 安阳师范学院物理系, 河南 安阳 455000)

**摘要:** 利用 PMM8713 和 LM331 设计了一种实用的步进电机驱动器, 着重介绍了驱动器系统电路及控制原理。

**关键词:** 步进电机; 驱动器; PMM8713; LM331

**中图分类号:** TP39 **文献标识码:** B

## 0 引言

步进电机又称脉冲电动机或阶跃电动机, 是较早使用的典型机电一体化元件组件。例如, 在机械装置中可以用丝杠把角度变成直线位移, 也可以用步进电机带动螺旋电位器, 调节电压或电流, 从而实现对执行机构的控制。步进电机可以直接接收数字信号, 不必进行数模转换, 使用起来非常方便, 在阀门控制、数控机床、绘图仪、打印机以及光学仪器中得到广泛的应用。步进电机、步进电机驱动器构成了步进电机系统不可分割的两大部分。本文介绍一种实用的三相反应式步进电机驱动电路的设计。

## 1 应用器件简介

### 1.1 PMM8713 芯片

PMM8713 是由日本 Sanyo(三洋)电机公司生产的步进电机控制用脉冲分配器(又称逻辑转换器), 为双列直插式 16 脚单片 CMOS 集成芯片。PMM8713 既可以用于 3 相控制, 又可以用于 4 相控制。励磁有 1 相、2 相和 1-2 相 3 种方式, 通过电路设计可任选其中的一种激励方式。此外, PMM8713 还具有单时钟或双时钟工作方式, 带有正反控制功能以及初始化复位功能, 其内部有时钟选通、激励方式控制、可逆环形计数、激励方式判断等电路。

因为 PMM8713 所有输入端均采用施密特整形电路, 因此抗干扰能力强。输出电流大于 20 mA,

收稿日期: 2006- 02- 23

表 2 P1 口的输出代码

序号	P17	P16	P15	P14	P13	P12	P11	P10	P1 口
	×	×	V6	V5	V4	V3	V2	V1	
1	1	1	1	0	0	1	1	1	E7H
2	1	1	1	0	0	1	1	0	E6H
3	1	1	1	1	0	1	1	0	F6H
4	1	1	0	1	0	1	1	0	D6H
5	1	1	0	1	1	1	1	0	DEH
6	1	1	0	1	1	0	1	0	DAH
7	1	1	0	1	1	0	1	1	DBH
8	1	1	0	1	1	0	0	1	D9H
9	1	1	1	1	1	0	0	1	F9H
10	1	1	1	0	1	0	0	1	E9H
11	1	1	1	0	1	1	0	1	EDH
12	1	1	1	0	0	1	0	1	E5H

考虑结构的简化和低成本设计, 用 89C2051 作为波形发生器, 不可能产生理想的正弦波, 只能用近似的正弦波作为输出。在电机高转速运行时, 由于输出波形的频率高, 对高次谐波的要求不严格, 对各 MOS 功率管的控制可以用矩形波代替正弦波。但在低转速运行时, 用 12 个状态模拟的正弦波显然不能满足要求。为了得到形状较好的正弦波, 可在控制信号上采用脉宽调制(PWM)技术, 将正弦波调制在一个频率和幅值固定、脉宽变化的信号上。

### 参考文献:

- [1] 刘美俊. 通用变频器应用技术[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2005.
- [2] 曾毅. 变频调速控制系统的设计与维护[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2003.

可直接驱动微型步进电机。逻辑框图如图 1 所示。

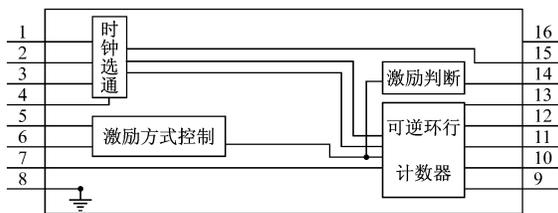


图 1 PMM8713 逻辑框图

## 1.2 LM331 芯片

LM331 是美国 NS 公司生产的性能价格比较高的集成芯片。LM331 可用作精密的频率电压(F/V)转换器、A/D 转换器、线性频率调制解调、长时间积分器以及其它相关的器件。LM331 为双列直插式 8 脚芯片,其逻辑框图如图 2 所示。

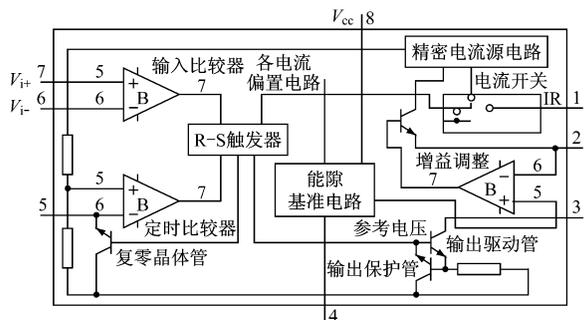


图 2 LM331 逻辑框图

LM331 内部有输入比较电路、定时比较电路、R-S 触发电路、复零晶体管、输出驱动管、能隙基准电路、精密电流源电路、电流开关、输出保护电路等。输出管采用集电极开路形式,因此可以通过选择逻辑电流和外接电阻,灵活改变输出脉冲的逻辑电平,从而适应 TTL、DTL 和 CMOS 等不同的逻辑电路。此外,LM331 可采用单/双电源供电,电压范围为 4~40 V,输出也高达 40 V。

## 1.3 电压-频率变换

LM331 外接电路简单,只需接入几个外部元件就可以方便地构成电压/频率(V/F)或频率/电压(F/V)变换电路。本文选用 LM331 的电压/频率(V/F)转换功能,结构如图 3 所示。

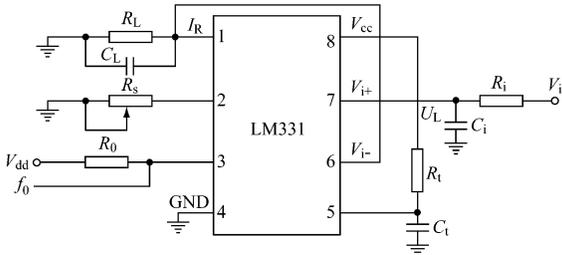


图 3 LM331 电压/频率变换电路

外接电阻  $R_t$ 、 $C_t$  和内部电路构成单稳定时电路。当输入端  $V_{i+}$  输入正电压  $V_i$  时,  $V_{i+}$  大于  $V_{i-}$ , 输入比较器输出高电平, R-S 触发器置位, 输出高电平使输出驱动管导通, 从而第 3 脚  $f_0$  输出逻辑低电平。同时, 电流源  $I_R$  对电容  $C_L$  充电。由于复零晶体管的基极接在 R-S 触发器的反相输出端, 因此, 复零晶体管截止, 电源  $V_{cc}$  通过电阻  $R_t$  对电容  $C_t$  充电。当  $U_{C_t}$  大于  $2/3 V_{cc}$  时, 定时比较器输入端(第 5 脚)为正, 因而输出逻辑高电平至 R-S 触发器的复位端, 使 R-S 触发器复位。R-S 触发器正相输出端输出低电平使输出驱动管截止,  $V_{dd}$  通过上拉电阻  $R_0$  使 LM331 第 3 脚  $f_0$  输出逻辑高电平。此时, R-S 触发器反相输出端输出高电平使复零晶体管导通, 电容  $C_L$  通过复零晶体管对地放电。电流开关打向左边, 电容  $C_L$  通过电阻  $R_L$  对地放电。当电容  $C_L$  放电电压等于输入比较器的正输入端电压  $V_i$  时, 输入比较器再次输出高电平, 使 R-S 触发器置位, 输出驱动管导通,  $f_0$  输出逻辑低电平。如此反复循环, 从而在  $f_0$  端输出一定频率的脉冲信号。根据电容上电荷平衡原理和相关电学知识, 设电容的充电时间为  $t_1$ , 放电时间为  $t_2$ 。由  $C = Q/U$ ,  $I = Q/t$ ,  $Q_{放} = Q_{充}$ , 可以得到  $I_{放} t_2 = I_{充} t_1$   $t_2 U_L / R_L = (I_R - U_L / R_L) t_1$   $(t_1 + t_2) = (I_R t_1 R_L) / U_L$ ; 又  $f = 1/T$ , 这里  $T = t_1 + t_2$ , 所以:

$$f_0 = 1/(t_1 + t_2) = U_L / (I_R t_1 R_L)$$

$U_L$  为电容  $C_L$  两端的电压, 因为  $U_L$  在大约 10 mV 的范围内波动, 因此,  $U_L = V_i$ , 故:

$$f_0 = V_i / (I_R t_1 R_L) \quad (1)$$

从(1)式可以看出, LM331 的输出频率  $f_0$  与输入电压  $V_i$  成正比, 从而实现了输入电压和输出频率的变换。 $t_1$  由外接的定时元件  $R_t$  和  $C_t$  决定, 其关系为  $t_1 = 1.1 R_t C_t$ , 这样可以依据设计电路的要求相应地选取  $R_t$  和  $C_t$  的值。 $I_R$  由内部精密电流源提供,  $I_R = 1.9 V / R_s$ 。式(1)可变为

$$f_0 = V_i R_s / (2.09 R_L R_t C_t) \quad (2)$$

输入电阻  $R_t$  使 7 脚偏流抵消 6 脚偏流的影响, 从而减小了频率偏差。 $R_s$  为可调电阻, 它的作用是调整 LM331 的增益偏差。 $C_t$  为滤波电容, 一般为 0.01~0.1  $\mu F$ , 在滤波效果较好的情况下, 可使用 1  $\mu F$  的电容。当 6 脚和 7 脚的 RC 时间常数匹配时, 输入电压的阶跃变化将引起输出频率的阶跃变化。为了提高精度和稳定度, 阻容元件选用低温度系数的器件。

## 2 驱动器电路设计

驱动电路如图 4 所示。外接电阻  $R_1$  和电容  $C_1$ 、内部定时比较器、复零晶体管、R-S 触发器等构成单稳定时电路。当输入端  $V_{di}$  输入的电压大于  $V_H$  输入端的电压时,  $f_0$  输出逻辑低电平。同时, 电流源  $I_R$  对电容  $C_L$  充电。电源  $V_{cc}$  也通过电阻  $R_1$  对电容  $C_1$  充电。当电容  $C_1$  两端的充电电压大于  $V_{cc}$  的  $2/3$  时, 输出端  $f_0$  输出逻辑高电平。  $f_0$  信号输出至 PMM8713 芯片的时钟端, 该频率经 PMM8713 处理后, 在 A、B、C 脚输出一定频率的驱动信号来控制功率三极管的导通时间, 从而控制步进电机的转速。

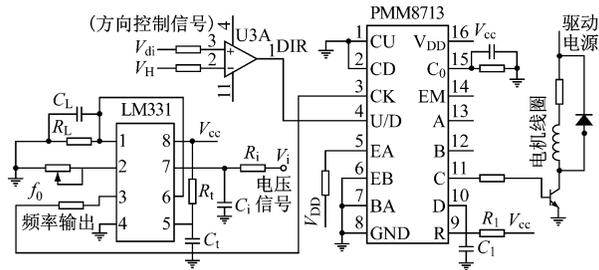


图 4 驱动电路图

方向控制电路由 LM348 四电路通用运算放大器构成。外部方向控制信号通过 LM348 和基准电压构成电压比较电路。当  $V_{di}$  大于基准电压  $V_H$  时, U3A 输出为正, 接至 PMM8713 的第 4 脚, 控制输出端输出正相脉冲序列。当  $V_{di}$  小于基准电压  $V_H$  时, 输出端为负, 接至 PMM8713 的第 4 脚, 控制输出端输出负相脉冲序列, 相应相驱动输出端输出正反向脉冲序列, 从而控制步进电机的正反转。

由 LM331 给出的输入指令是输入时钟  $f_0$  和方向指令 DIR, 这 2 个指令在 PMM8713 中经逻辑组合转换各相通断的时序逻辑信号。PMM8713 的相驱动输出端(PIN10~PIN13)的驱动电流达 20 mA 以上, 能直接驱动微型步进电机。  $R_1$ 、 $C_1$  为开机时自动初始化电路。初上电的数十毫秒内 R 端为低电平, 从而 A~D 端自动复位至初始状态。如果外接的步进电机功率较大, PMM8713 输出驱动端驱动能力不够, 此时应设计功率放大驱动电路, 然后再驱动步进电机。PMM8713 各相输出端的导通顺序逻辑信号送至功率驱动段转换成内部功率开关的基极(或栅极)驱动信号。步进电机驱动方式按相绕组流过的电流是单向或双向可分为单极性和双极性驱

动, 通常, 三相步进电机采用单极性驱动。从功率驱动级电路来分析, 又有电压驱动和电流驱动之分。本设计中采用串联电阻电压驱动方式。在相绕组中串接一定阻值和功率的电阻, 一方面减小了绕组回路的时间常数, 同时又对低频和静止工作时的电流进行限制。

利用上述原理设计了一个自动闸阀控制器, 闸阀的上下位置采用限位开关控制, 利用相应的电路使限位开关的动作改变图 5 所示 LM348 比较电压输入端电压的大小, 从而控制步进电机运转还是停转。其工作原理: LM348 的同相输入端为基准电压端, 其反向输入端为比较电压输入端, 当比较电压输入端的电压小于基准电压时, LM348 的 1 引脚上输出高电平, 使 BD237 导通, 从而使步进电机能够实现正转或反转; 当比较电压输入端的电压高于基准电压时, 在 LM348 的 1 引脚上输出低电平, BD237 截止, 步进电机停转。

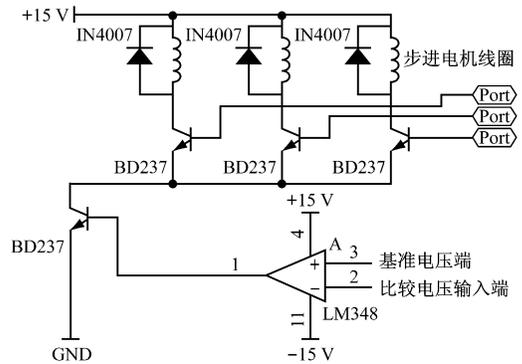


图 5 三相反应式步进电机驱动电路

## 3 结语

本设计为步进电机驱动器的主体设计部分, 结构简单、成本低、性能稳定。采用该系统设计的三相反应式步进电机驱动器驱动 55BF004 型三相反应式步进电机, 已成功地应用于自动闸阀控制系统中, 运行效果良好。

### 参考文献:

- [1] 郝鸿安. 3-4 相步进电机控制器 5G8713[J]. 电子技术, 1991, (8): 325~ 627.
- [2] 林 汉. LM331 压频变换器的原理及应用[J]. 国外电子元器件, 1999, (10): 20~ 23.
- [3] 李 华. MCS-51 系列单片机实用接口技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1999.