

步进电动机调频调压供电斩波型驱动电路*

潘金火 吴金灿

(华侨大学电气技术系, 泉州 362011)

摘要 介绍一种步进电动机绕组电流可调的斩波型驱动电路的工作原理和基本特点, 并介绍电压和频率可以同步变化, 有利于高低速运行的调频调压电源. 阐述这种电路的实验结果, 提供了实测的有关数据.

关键词 步进电动机, 调频调压电源, 斩波型驱动电路

分类号 TM 921.541

步进电动机是数控系统、工具机控制、程序控制、自动化仪表、计算机外围设备经常使用的控制执行元件. 驱动系统的性能稳定性, 直接影响着设备的运行控制精度和可靠性. 良好的步进电动机驱动装置, 光有性能良好的电机是不够的, 还必须要有性能良好的脉冲分配器和高质量的驱动电路.

1 步进电动机工作电流的特点

步进电动机相绕组通过的电流幅值和电流密度, 必须保证电机气隙中有足够的磁通和绕组里有足够的工作电流. 工作电流是一种周期性通断的脉冲电流, 工作电流也就是起动电流, 增大起动电流, 可以提高电动机的出力^[1]. 每当控制脉冲到来的瞬间, 工作电流按 $i = \frac{E}{R}(1 - e^{-t/\tau})$ 上升(其中 E 是高电源电压, R 是回路总电阻, $\tau = L_\phi/R$, L_ϕ 是绕组电感量).

为了提高步进电动机的工作能力, 保持转矩恒定和加宽拖动工作频率范围, 就要使每相绕组在控制脉冲的控制过程中, 同时, 相绕组电流上升和下降的过程加快(加速), 并在控制脉冲持续期间, 保证有合适的恒定值^[2].

步进电动机驱动线路构成原则, 就在于解决“加快”的方法. 采用“电阻加速法”、“脉冲加速法”、“斩波法”对于大转矩的步进电动机驱动, 存在着严重缺点, 出现了诸如步进电动机高频运行时出力提高了, 但低频运行时, 使主振区振荡加剧, 甚至形成失步区. 调频调压电路, 使步进电动机在低频运行时用低压供电, 而高频运行时用高压供电, 随着运行的频率变化, 自动连续调压, 这样使高频运行出力增加, 又能避免低频运行时可能出现的振荡, 使电机的矩频特性曲线变得更加平坦, 整个驱动系统更加完善.

* 本文 1994-03-24 收到, 福建省科委重点科技资助项目

2 电路结构和工作原理

2.1 调频调压电源

步进电动机驱动系统的功率驱动桥使用的供电电压是随电机控制脉冲频率变化而变化,为调频调压直流可变电源,具有如下功能:(1)控制脉冲频率由直流信号变化到 7 kHz 讯号时,直流电压相应由低压变化为高压(本电路可以由 40 V 变化到 160 V);(2)提供电流最大值可以设定(本电路最大值为 7 A). 调频调压电源电路框图如图 1 所示^[3].

下面介绍调频调压电源的主要工作原理.

(1) 采样保持电路. 这一电路实现了频率电压转换,把不同频率的工作脉冲信息经积分采样,并由保持电路采样电平保持下来.(2) 锯齿波发生器.

发生器由时基电路组成多谐振荡器,从积分电容两端获得锯齿波,其重复周期固定(选用 1/20 kHz 以下,以减少噪声).(3) 电压比较器. 利用比较器,构成电平检测电路. 比较器的同相输入端和反相输入端分别接入锯齿波和采样保持电路输出电平. 从比较器输出正脉冲,其宽度随着采样保持电路输出电平的增高而变窄,用这一正脉冲作为开关电源的调宽脉冲.(4) 调宽调压电路. 这是一种时间比率控制(TRC)工作方式. 调宽调压电路(PWM)开关周期恒定,通过改变开关管控制脉冲宽度来改变其输出脉冲占空比,从而调节了输出电压. 这种电路的优点是滤波电路设计容易,体积小,输出电压按公式 $V_o = V_i t_{on} f$ 计算. V_i 为电源电压, t_{on} 为调宽脉冲作用下开关管导通的持续时间; f 为调宽脉冲重复频率, $f = 1/T$, T 是锯齿波重复周期. 可以得到 $t_{on} = T(U_F - U_E)/U_F$, 其中 U_F 为锯齿波幅值,是固定的; U_E 是比较电平,为采样的,是变化的,且 U_E 正比于 τ_A (τ_A 是步进电动机运行控制脉冲的周期),令 $\alpha \cdot \tau_A = U_E/U_F$, α 是常数,有 $V_o = V_i(1 - \alpha\tau_A)$. 随着控制脉冲频率由低变高, τ_A 由大变小,故 V_o 由小变大,便为功率驱动桥提供一电压随频率变化能自动调节的直流工作电源.

为了保护开关管不致于过流而损坏,电路加了过流保护和复位电路,从而达到自动保护的目的. 开关管采用 VMOS 管,具有快速,耐压,大功率,无二次击穿的特点.

2.2 同频斩波驱动电路

同频斩波驱动电路的一相框图如图 2 所示. 电路由控制脉冲输出电路(如单片机经接口电路)、电气隔离电路、上下预推动电路、同频斩波电路及功率驱动桥组成.

由主控脉环配器输送来的正向脉冲(U_i),经光电耦合器(电气隔离)使功率驱动桥下驱动管导通;与此同时,斩波门输出高电平,功率桥上驱动管也导通. 相绕组电流 $i = \frac{E}{R}(1 - e^{-t/\tau})$ 上升,相电流 i 达到某一预置值(I_H)前,取样电阻 R_1 上检测的电平在增大,当增到某一阀值电平,比较器(一)输出低电平,封锁了斩波门,造成上驱动管截止,绕组通过 D_2 - ϕ -BG₆- R_1 回路续流,相电流 $i = Ie^{-t/\tau}$ 减少,取样电阻上电压降减少,比较器(一)输出转为高电平,斩波门在同步脉冲发生器输出脉冲前沿作用下,输出高电平,上驱动管又一次导通,电源 E 再次以 τ 为时

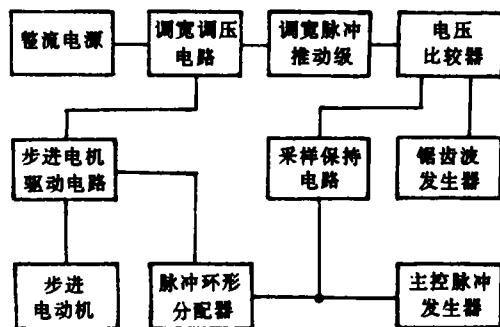


图1 调频调压电源框图

间常数对电机绕组充电,相电流又一次上升.这样反复进行,上驱动管时而导通,时而截止,一直到控制脉冲持续期满.当功率驱动桥上下驱动管均截止时,相绕组便通过 $D_2-\phi-D_3-E$ 构成回路放电,电流按 $i=Ie^{-t/\tau'}$ 下降为零.上述式中 $\tau=L_\phi/R$, $\tau'=L_\phi/R'$, $\tau''=L_\phi/R''$, L_ϕ 为绕组电感量, R 为上下驱动管均导通时的充电回路电阻, R' 为上驱动管截止时续流电路总电阻, R'' 为上下驱动管均截止时的放电回路总电阻.于是在控制脉冲持续时期,绕组中通以一个在某预置电流值 I 附近,以锯齿波状波动的脉冲电流,顶部近乎恒定,如图 3 所示^[4].

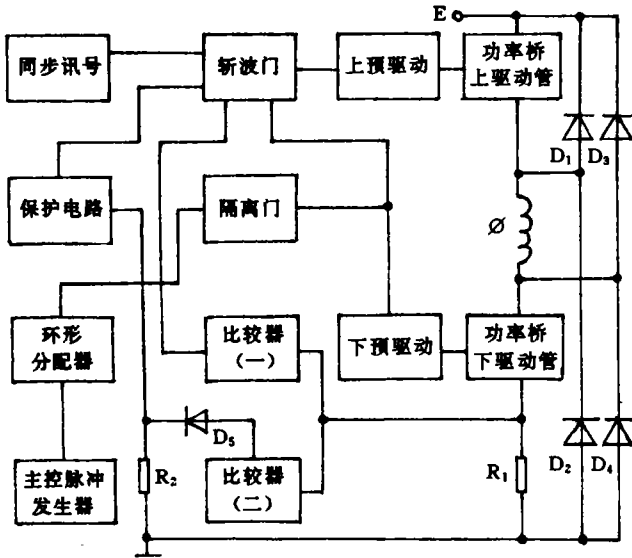


图 2 同频斩波型驱动电路框图(一相)

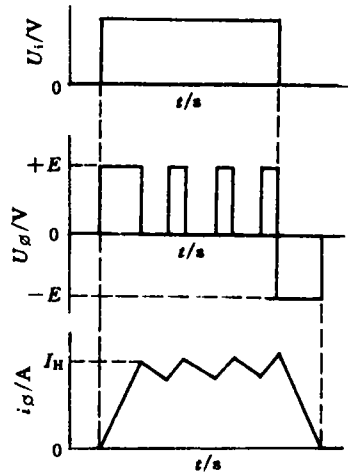


图 3 斩波脉冲调节时相电压 U_ϕ 和相电流 i_ϕ 的波形图

各相斩波脉冲串都是由同一多谐振荡器输出的 20 kHz 以上的信号来同步的,因而各绕组通以的电流波,不会产生电磁拍频造成的电磁噪声.

电机由某一相绕组通电转换为另一相绕组通电,即电机换相导通,是由控制各自的驱动桥下驱动管导通状态来实现的.而在控制脉冲送入功率桥的一拍时间内,上驱管以一定的占空比周期性的导通,使相绕组多次接上直流电源,是由斩波电路来实现的.调节比较器(一)的比较电平值,可以十分方便地调节相绕组通过的电流值 I .这就为获得步进电机最佳的动力指标——转矩最大且稳定,提供方便的手段.比较器(二), D_5 组成过流保护电路控制讯号 U_k 的提取电路,当斩波失控,或机械阻力, U_k 为高电平,保护电路动作,使上预放驱动管截止,并且切断供电电源回路,从而有效地保护了驱动功率桥上下驱动管.

3 结论

调频调压电源供电,同频斩波驱动的步进电动机驱动电路,经福建省中检所检测,其调频调压电源的 $f-E$ 特性如附表所示.数据表明,随步进电动机工作频率的提高,输出直流电压在变化,锁相时 40 V,变化范围从 40~160 V.按三相六拍工作方式给 110BF 003 型步进电动机驱动电路分配控制脉冲,加载拖动测试,测得运行矩频特性如表所示.数据表明,高频运行出

力明显激增。

本电路具有以下技术特点:(1)采用光电耦合器件实现讯号的传递和不共地电源的隔离,改变了传统的变压器耦合隔离方法;(2)采用 VMOS 大功率管构成驱动功率桥,易于并联使用,无二次击穿威胁;

(3)采用同频斩波技术,减少运行时产生的电磁噪声;(4)采用调频调压电源供电,提高运行频率,改善电机运行矩频特性;(5)具有双重可靠的过流保护措施,在电源电路和驱动电路中的过流保护电路之间,实现相关同步运行,从而确保安全;(6)采取静态截止,动态自供电措施,减少电源品种,降低能耗。由于采取上述技术措施,使驱动系统各项性能稳定,工作可靠,节能低耗,电路结构紧凑,构思新颖,有较高的性能价格比。

附表 f - E 关系和运行矩频特性^①

f/Hz	0	20	75	195	435	700	2400	3750
E/V	40	80	76	136	146	148	156	160
$L/N \cdot \text{m}$	8.5	5.7	5.5	5.9	5.4	5.0	6.1	5.6

①测试条件:外施 AC 220 V

参 考 文 献

- 1 陈理壁. 步进电动机及其应用. 上海:上海科学技术出版社,1985.84~98
- 2 中国科学院技术情报研究所重庆分所. 步进电动机电力拖动. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1980.40~69
- 3 潘金火,吴金灿. 步进电动机调频调压驱动电源. 自动化仪表,1991,12(12):11~14
- 4 潘金火,吴金灿. 一种步进电动机绕组电流可调的驱动电路. 机械与电子,1988,(4):41~44

Frequency and Voltage Modulated Power Supply and Chopper Drive Circuit for Stepping Motors

Pan Jinhua Wu Jincan

(Dept. of Electric Technique, Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract For the use of stepping motors, a chopper drive circuit and a frequency and voltage modulated power source are presented. By this circuit, adjustable winding current can be obtained. By this power source, the voltage and frequency can be changed synchronously to fit in with either high or low speed operation. The results from experiments conducted on this circuit and the relevant observed data are given.

Keywords stepping motors, frequency and voltage modulated power source, chopper drive circuit