

文章编号: 1000-5471(2007)02-0124-04

步进电机高性能驱动装置的研究^①

吴德明

重庆职业技术学院, 重庆 400712

摘要: 本文论述了采用 N 沟道 VDMOS 开关管构成的功率步进电动机驱动电源的设计, 说明了驱动系统的工作原理, 给出了装置中的调频调压电路、PWM 串联型开关电源和斩波限流电路。

关键词: 步进电动机; 驱动电源; VDMOS 开关管

中图分类号: TM301.4

文献标识码: A

功率步进电动机在微机控制的中小型机床和其它自动化装置方面取得了广泛的应用。步进电动机与一般交、直流电动机不一样, 后者的电源常常是一个标准的交、直电源, 只要电压等级和容量与电动机给定参数相等, 电机基本上就有确定的性能。步进电动机的电源, 在许多情况下是一个直流开关电源。步进电动机的性能很大程度上依赖于驱动电源的性能, 所以研究高性能的步进电动机电源尤为重要。

1 驱动装置的工作原理

步进电动机容易发生低频振荡、高频“失步”现象。针对这一缺点, 本人设计出一种调频调压斩波限流步进电动机的电源。在功放驱动部分采用了斩波限流, 而功率驱动部分的直流电源则应用脉宽调制式串联型开关电源。使用了频率电压转换器(FVC)LM 2917 J 和脉宽调制器(PWM)TL 494, 使开关电源输出电压随着脉冲信号 CP 的频率 f 变化而变化。变化范围为 30~60 V。如实际情况需要, 电压调节范围可以设计得更宽。电压和频率的关系可由下式来表示:

$$V = V_0[1 + K(f)] \quad (1)$$

式中 V_0 为根据具体要求而设定的起始电压, 这里 $V_0 = 30 V$, 而 $K(f)$ 是以 f 为变量的待定函数。当时, $f \leq 400 Hz$, $K(f) = 0$, f 由 400 Hz 向增大方向变化时, $K(f)$ 的值由零开始上升, 反之亦然。图 1 表示调频调压斩波限流驱动电源的原理框图。从图 1 可以看出, 微机发出的信号通过光电隔离后分成两路, 一路到环形分配器的 CP 输入端作 CP 脉冲。环形分配器输出 Q_A 通过斩波限流和功率放大去驱动步进电机; 而另一路 CP 通过 FVC 变换成相应的电压, 此电压去调节 PWM 输出脉冲信号的宽度, 控制串联型开关电源的输出。PWM 脉宽调制器本身以 10 KHz 的固有频率工作。在频率 f 低于 400 Hz 时, PWM 有一固定的脉宽输出, 使串联型开关电源输出为 30 V。当 f 从 400 Hz 上升时, PWM 的脉冲也从某一脉宽变宽, 开关电源输出电压也就上升。实现了步进电机理想工作时所需要的电压对频率的跟踪。

① 收稿日期: 2007-02-14

作者简介: 吴德明(1963-), 男, 重庆人, 讲师, 主要从事机电设备控制与检测的研究和教学。

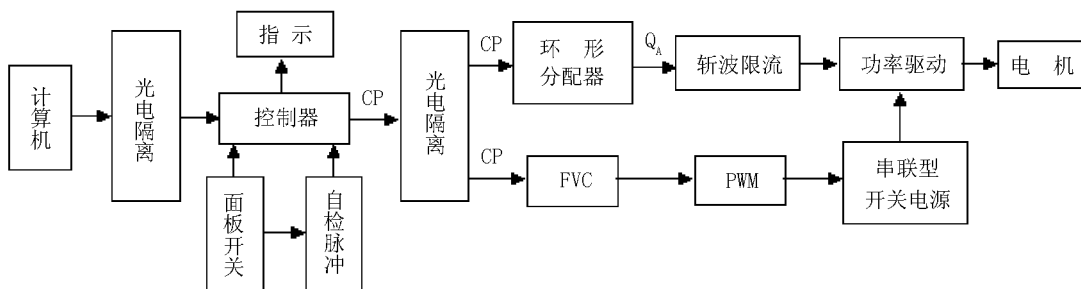


图 1 原理框图

Fig. 1 Functional Block Diagram

2 调频调压控制电路的设计

调频调压控制电路由 FVC 频压转换器和 PWM 脉宽调制电路组成, 脉宽调制电路的输出 PWM 与步进信号 CP 呈一定函数关系, 其电路结构如图 2 所示. F/V 转换器由 2917J 及其外围电路组成, 它将步进脉冲信号 CP 转换成与其成比例的电压, 作为脉宽调制电路的调制信号. 2917 J 外围电路的参数要影响它自身的动态响应特性, 从而对电动机的动态性能产生影响. 影响 F/V 变换速度的主要元件是滤波电容 C_2 , C_2 的值偏大时, FVC 电路输出电压的纹波较小. 但 F/V 变换的响应时间较长, 即由于的 C_2 积分效应使得输出电压产生滞后相移, 经脉宽调制电路和串联型开关电源电路还原后, 作为电机的驱动电压就存在滞后相移, 就影响电动机的快速性. 若 C_2 的值过小, 则 F/V 电路输出电压的纹波较大, 驱动部分的电压随 CP 脉冲波动较大, 电机的单步响应特性和振荡特性变差, 同时增加 T_1 管的漏源冲击电流. 在实际中, C_2 可根据对电动机运行特性的要求进行选择, 一般 C_2 在 $0.001 \sim 0.1 \mu\text{F}$ 之间. C_1, C_2, RP_1 决定 F/V 转换的斜率 (dV/df), 这里假定脉宽调制器是线性的, C_1, C_2, RP_1 的取值法参见文献[5]. TL 494 是线性脉宽调制器, 因此输出的 PWM 信号的占空比 D 随步进脉冲 CP 线性变化.

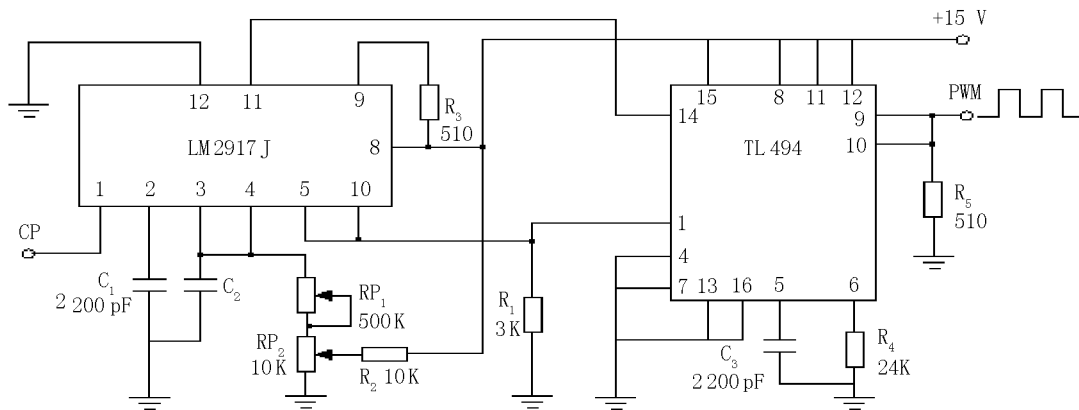


图 2 调频调压控制电路

Fig. 2 The Controlling Circuit of Frequency and Voltage Regulating

3 脉宽调制式串联型开关电源的设计

串联型开关电源的电路图如图 3 所示. 图中 C_1 和 R_1 为第一级滤波, 电感 L_1 和电容 C_2 组成第二级滤波器. L_1 的电感量和 C_2 的电容量根据文献[3]可分别用下式计算:

$$L_1 = \frac{V_s D_{\min} (1 - D_{\min}) \tau_1}{2(i_{L_{\max}} - I_{0_{\max}})} \quad (2)$$

式(2)中是 V_s 整流后的直流电压; D_{\min} 是保持电机定位电流的占空比; $I_{0\max}$ 是电机定位的最大总电流; $i_{L\max}$ 是电感中最大峰值电流, 近似等于开关 T_1 所允许的最大电流; τ_1 是 PWM 斩波脉冲周期.

$$C_2 = \frac{V_s D(1-D)\tau_1^2}{8L_1 \Delta V_o} \quad (3)$$

式(3)中 D 为 PWM 脉冲序列占空比, 是输入 CP 脉冲频率的函数; V_o 为电源输出电压; ΔV_o 为所限定的电容电压纹波值.

按上面两式来确定电感量和电容量, 能使滤波器的结构尺寸较小, 且电机的动态响应和低频运行特性及单步运行特性较为理想. 在这种工作模式下, 电路输出电压的表达式为:

$$V_o = \frac{V_s^2 \tau_1}{V_s \tau_1 + 2I_0 L_1 / D^2} \quad (4)$$

式中 I_0 为电动机的总电流.

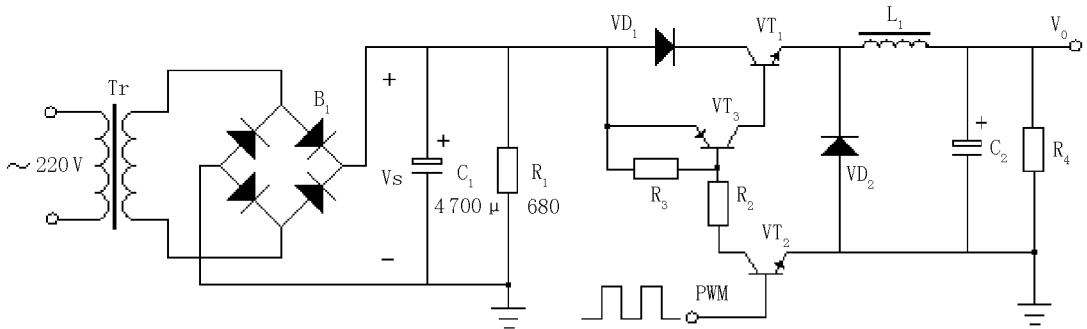


图 3 脉宽调制式串联型开关电源电路

Fig. 3 The Circuit of Tandem Type Switching Supply Controlled by PWM

4 斩波限流电路的设计

本电源用于驱动三相步进电机, 下面仅给出一相斩波限流电路原理图, 其它两相的电路与此相同.

本电路主要由 NE 555 和 LM 339 及采样电阻 R_S 组成, NE 555 被用作施密特触发器, 它接收环形分配器的输出信号 Q_A 来控制 VDMOS 管的关断与导通. 因 VDMOS 管的高频增益较大, 易产生寄生振荡, 所以在其栅极串联了一个 100Ω 的电阻 R_3 (或数十至几百欧姆), 使驱动电路和 VDMOS 管实现高频分离, 以防振荡. LM 339 组成一个滞回比较器, 通过设定电压值与采样电阻 R_S 上的电压相比较, 来决定输出端为高电平还是低电平, 从而控制 NE 555 进行斩波, 限定相电流, 同时由于 LM 339 是滞回比较器也防止了外来干扰引起的误动作.

5 功率器件的选择

用于步进电机驱动电路的功率管有 GTR、VDMOS 和 IGBT. 由于 VDMOS 管是电压控制型器件, 开关速度达微秒级, 增益高达 $10^8 \sim 10^9$, 输入阻抗约为 $10^8 \Omega$, 驱动功率可降低且不存在二次击穿现象, 不但是理想的线性功率放大和功率开关器件, 而且又便于与 CMOS、TTL 集成电路相连接易实现与微机的控制接口, 可明显改善步进电机的高频运行特性和可靠性.

电机驱动级的正向开关损耗基本于集射极饱和压降 $U_{CE(SAT)}$ 或漏源极电压 U_{DS} , 对于电流 $20 \sim 30 \text{ A}$ 的应用 VDMOS 管有良好的特性, 它与双极型 I_C 相同. VDMOS 在漏源极间有个寄生二极管, 会影响高速性能, 所以一般采用肖特基快恢复二极管 (FRD) 对 VDMOS 管进行高速续流, 以抑制电机驱动电源端插入电感造成的 $\frac{d_i}{d_t}$.

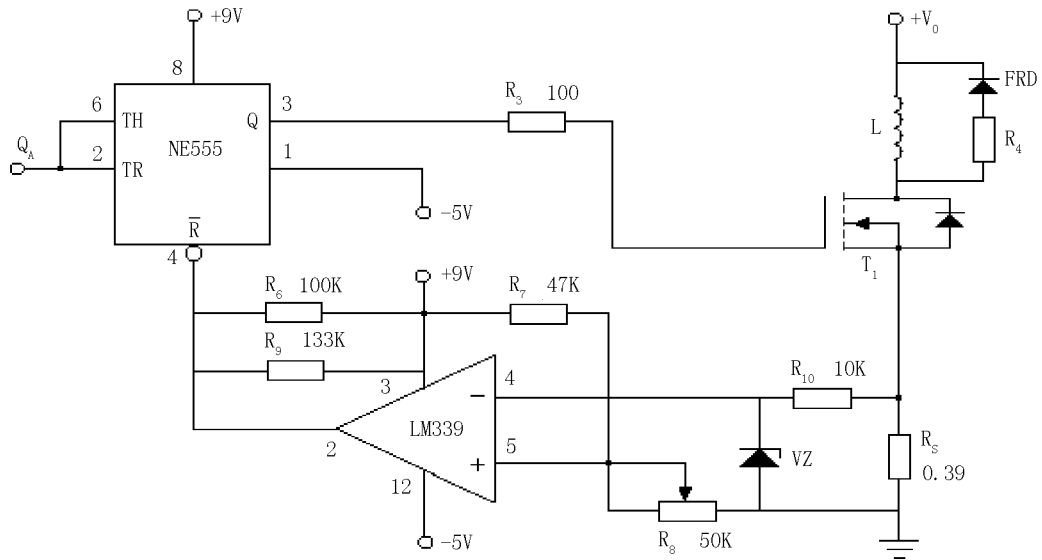


图 4 一相斩波限流电路图

Fig. 4 The Single-Phase Chopper Currentlimiting Circuit

6 结束语

本装置制成后用于 110BF003 型步进电机及类似的步进电机的驱动，在电流 $I=3A$ 的情况下让步进电机运转，电机的高频特性、升降速特性均良好，低频振荡及噪声得到大大改善。与传统的驱动电源 BSQ II 型相比，该电源的运行频率、矩频特性、效率等指标具有明显的优势。

参考文献：

- [1] 沙占友. 中外集成传感器实用手册[M]. 北京：电子工业出版社，2005.
- [2] 赵文博. 新型常用集成电路速查手册[M]. 北京：人民邮电出版社，2006.
- [3] 浣喜明, 姚为正. 电力电子技术[M]. 北京：高等教育出版社，2004.
- [4] 王廷才. 电力电子技术[M]. 北京：高等教育出版社，2006.
- [5] 李中江. VMOS 功率场效应晶体管及应用[M]. 北京：人民邮电出版社，1990.
- [6] 付植桐, 尹常永. 电子技术[M]. 北京：高等教育出版社，2004.

The Study of High Performance Driving Unit about Stepping Motor

Wu De-ming

Chongqing Vocational and Technical College, Chongqing 400712, China

Abstract: The paper elaborates on the design of which supply about power stepping motor, is made up of switching tube with Nchannel-VDMOS. And it shows the running pricipie about the driving system, gives the frequency and voltage regulating circuit, the tandem type switching supply controlled by PWM and the chopper currentlimiting circuit in system.

Key words: stepping motor; driving supply; VDMOS switching tube