

大功率步进电机高低压驱动技术

A High and Low Voltage Drive Technique on High-power Step-by-step Motors

天津大学 黄战华 蔡怀宇 李贺桥 黄孟怀 (天津 300072)

摘要:讨论了步进电机的驱动特性,对大功率步进电机中的一些问题进行了分析,提出了 N 型功率 MOS 管的高低电压驱动技术。通过理论计算和实验证明,该驱动方法具有高的驱动效率、大的输出功率和高的驱动频率。

Abstract: Based on drive characteristic and some analyses of step-by-step motors, a kind of technique on high and low voltage drive by using N-type MOS device is suggested. It has the advantages of high driving efficiency, output power and frequency proved by calculation and experiment.

叙词:步进电动机/高低压驱动 功率金属氧化物器件

Keywords: step-by-step motor; high and low voltage drive; power MOS device

1 引言

步进电机的驱动电源有独特的要求,虽然微小功率步进电机的驱动电源已经集成到芯片上,使用时只需外接限流电阻即可,但是,大功率步进电机驱动电源的设计和使用还存在一些问题,严重地限制了大功率步进电机在精密制造技术方面的应用。随着新功率器件的出现和工艺技术的发展,大功率步进电机的驱动电源的一些问题可望得到较好的解决,本文将介绍在这方面的一些研究工作。

2 步进电机驱动特性

步进电机的驱动是通过各相有节拍的通断电流来实现的,电机是感性负载,电机的相电流有额定值,在回路中,必须串接限流电阻。步进电机的驱动等效电路如图 1 所示,电流波形如图 2 所示。^[1,2]

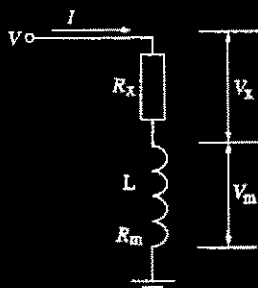


图 1 驱动等效电路图

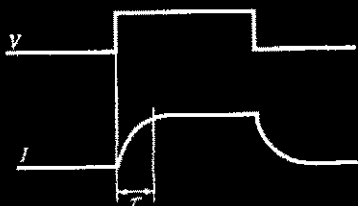


图 2 驱动等效电路电压电流波形

图中 R_x ——限流电阻

R_m ——电机绕组阻抗

L ——绕组电感

V ——输入电压

I ——通过的电流

τ ——时间常数

$$I(t) = \frac{V}{(R_x + R_m)}(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

$$\tau = \frac{L}{R_x + R_m} \quad (2)$$

限流电阻上消耗的功率为:

$$\begin{aligned} P(t)_x &= V_x I = R_x I^2 \\ &= \frac{R_x V^2}{(R_x + R_m)^2} (1 - e^{-t/\tau})^2 \end{aligned} \quad (3)$$

电机绕组上消耗的功率为:

$$P(t)_m = \frac{R_m V^2}{(R_x + R_m)^2} (1 - e^{-t/\tau})^2 \quad (4)$$

电源驱动效率为:

$$\eta = \frac{R_m}{R_x + R_m} \quad (5)$$

从式(5)可以看出,其限流电阻越小,驱动效率越高。因为限流电阻上的功率全部发热浪费了。

从式(2)可知,时间常数越小,限流电阻越大,这就与获得高驱动效率相矛盾。

对于小功率的步进电机,电流较小,限流电阻上的发热有限;同时电感较小,所以限流电阻能够按时间常数(决定了电机的最高驱动频率)的要求来设定。

3 大功率步进电机驱动技术

对于大功率步进电机,其限流电阻上的发热功率很大,不仅驱动效率低,而且散热很难解决。所以,限流电阻不能太大。解决问题的主要途径是提高电流的建立速度,且使之不完全依赖系统的时间常数。从式(1)可知,提高电压,可以增大电流,但一旦电流建立到额定值后,就不需要高电压,只需低的电压就可维持额定电流。用两种电压进行供电,这

就是步进电机的高低压驱动技术。

常规方法如图3所示,传统方法是用双极性大功率管^[2]。电流波形如图4所示。

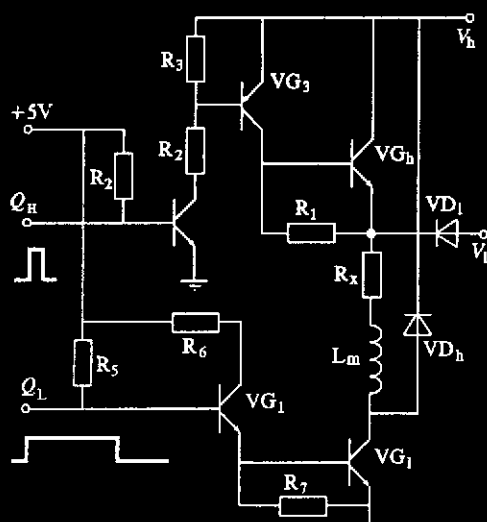


图3 典型功率三极管高低压驱动电路

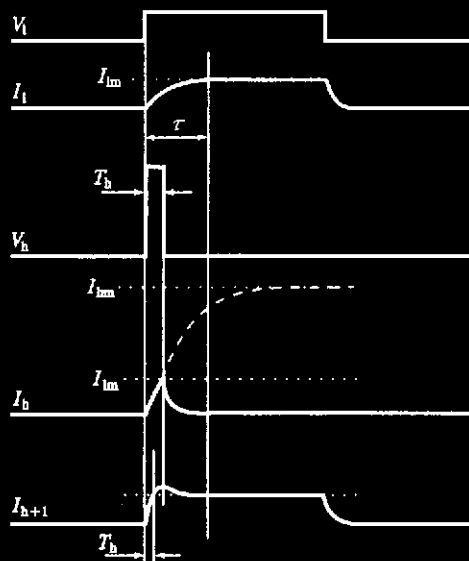


图4 高低压驱动电压

图中 V_h ——驱动高电压
 V_l ——驱动低电压

由于电路参数没有改变,只是输入电压改变了,所以电流 I_1 和 I_h 的上升时间 τ 并没有发生变化。电机通过的总电流 I_{h+1} 达到额定电流 I_m 的时间 T_{h+1} 比 τ 小得多。限流电阻基本上按电机限流取值,而不是按时间常数 τ 取值,其值很小,因此,消耗的功率也很小。这种高低压驱动技术既达到了发热小的目的,又满足了电流快速建立的要求。

高低压驱动技术对驱动方式和功率器件有较高的要求。图3所示的驱动方式存在一些难以解决的问题:

(1)双极性功率管导通和截止速度低,限制了驱动频率的提高。有效的驱动频率只能达到1~3kHz。频率再高时,不仅各相上的电流有效时间小,而且由于电流不能按要求截止,各相力矩在较长的时间内相互抵消,严重的降低了步进电机的有效输出力矩;

(2)双极性功率管的导通压降高,发热大,散热困难;

(3)双极性功率管的驱动电流大,驱动系统复杂;

(4)双极性功率管的耐压、速度、管压降等参数是相互限制的,都能达到指标的器件,价格昂贵,且容易损坏。

4 功率NMOS管高低压步进电机驱动技术

提出了一种功率NMOS管高低压步进电机驱动技术,如图5所示。

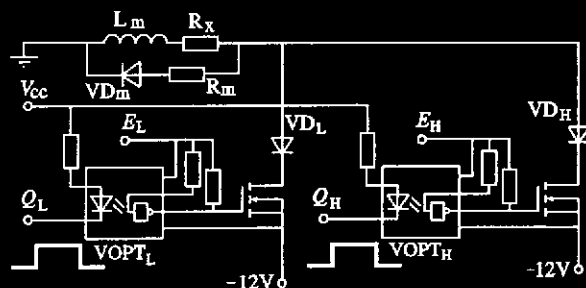


图5 功率NMOS管高低压驱动电路

(1)采用功率MOS替代功率三极管。功率MOS管的优点:①导通压降低;②耐压高,电流大;③导通速度很快;④驱动电流小。

(2)采用N型功率管替代P型功率管。由于物理和工艺特性,N型管比同型的P管的所有参数都要高,成本低,可靠性高。在图5所示的驱动电路中,采用了下列技术:

①采用负功率电源,或功率电源负向使用;

这样解决了N型管上拉负载的要求。大功率步进电机的各相是独立的。低压采用12V,既能维持电机绕组足够的电压要求,又可使用较小的限流电阻。高电压采用120V的电源,达到了快速的电流建立时间,且与常规的NMOS功率管的耐压匹配。

②反压泄流;

当功率管截止时,电机绕组的电感产生很高的反压。如果不采取措施,这个反压会击穿其他器件,把二极管和电阻串联后并在绕组上,以释放绕组上

(下转第62页)

电感存储的能量。电阻的选择应合适:如果电阻太大,绕组电流下降太快,反压太高;如果电阻太小,绕组电流下降太慢,影响驱动效率。

③ 高低压隔离;

在高压导通时,低压功率 MOS 管承受很高的反压,以至很容易被击穿,在回路中串接隔离二极管 VD_h 和 VD_l 。

④ 高速光耦隔离驱动;

高压和低压的驱动信号是不共电位的,采用光耦来隔离驱动。另外,信号的控制电路不能承受电机驱动时的高尖峰冲击,也需要把控制信号和驱动器件隔离起来。选用高速光耦,最高速度为 10MHz。

⑤ 选用合适的功率 NMOS 管;

驱动相电流在 10A 以下的步进电机,高压功率管可选用耐压 300V/电流 20A 的 NMOS 管;低压功率管可选用耐压 200V/20A 的 NMOS 管。功率管的保险系数为 2~3 倍即可。

5 实验结果

对于相电流 4A 的步进电机,采用 12V 单电压 NMOS 管 IRF530 驱动,功率 NMOS 管的实际上升

时间小于 $1\mu s$,管压降不到 1V。功率管在不加散热器的情况下就可长期连续工作,驱动频率可达 10kHz。

对于相电流 8A 的步进电机,采用图 5 所示的高低压 NMOS 管驱动。高低压功率 NMOS 管选用 IRF250,功率 NMOS 管的上升时间在 $1\mu s$ 左右,管压降不到 1.2V。功率管加一般散热器就可长期连续工作,最高驱动频率达 8kHz。

对于相电流 10A 以上的步进电机,功率 NMOS 管选用 400V/电流 30A 的器件,这时需要在保险系数和成本上取折中了。选用高性能的 NMOS 功率管,总的成本和可靠性都比 P 型功率三极管优越。

对于特大功率步进电机,可以考虑 IGBT 器件,成本虽然高,但可以满足技术要求,可靠性也高。

参 考 文 献

- 1 龚富林等,电路与磁路.北京:中国轻工业出版社,1993.
- 2 刘宝廷等,步进电机及其驱动控制系统.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1997.

收稿日期:2000-01-17

定稿日期:2000-03-17

作者简介

黄战华:男,1965 年生,博士,副教授。从事计算机信息与工业控制等方面的教学和研究。