

用于电机的 VMOSFET 低压驱动电源

VMOSFET Low Voltage Drive Power Supply for Stepping Motor

厦门大学 郑福林 黄云鹰 李元密 (厦门 361005)

厦门市公安局 林胜福 (厦门 361003)

摘要: 论述了开关管采用 n 沟道 VMOSFET 构成中功率步进电机低压驱动电源的设计; 给出了斩波开关控制电路、运行或锁定稳态电流自调节电路、边沿加速电路及电机驱动用功率半导体器件的选择。

Abstract The design of low voltage drive power supply for medium-power stepping motor is described. It uses as n-channel VMOSFET switching devices. The chopper on/off control circuit, autostable circuit of operation/lock stationary current and edge accelerated circuit are presented. Choice of the semiconductor devices for motor drive is also discussed.

叙词: 步进电动机 驱动电路 电源/V 型槽金属-氧化物-半导体场效应晶体管

Keyword: stepping motor; driving circuit; power supply/ VMOSFET

1 前言

用于步进电机的驱动电路要求根据外部的相激励信号, 给电机绕组提供幅值足够大、波形尽量接近矩形的励磁电流, 如图 1 所示。然而, 因电机存在绕组电感和速度电势, 因而很难满足理想要求。在给定电机的情况下, 步进电机驱动系统的动态性能主要取决于驱动电路本身的性能和所选择的控制方式。因此, 本文给出斩波开关控制电路、运行/锁定稳态电流自调节电路的设计及开发的一种新型边沿加速电路。

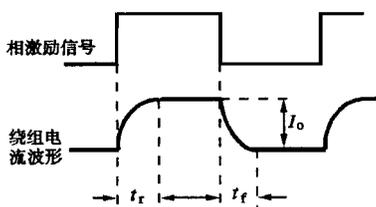


图 1 理想的励磁电流

2 步进电机驱动电路的性能

步进电机驱动电路的性能可描述如下:

①前沿电压效率 η_v , 用以描述绕组电路上升沿期间, 驱动电源电压 U_c 的有效程度, 通常小于 1。它的定义为:

$$\eta_v = \frac{I_0 L}{t_r U_c} 100\% \quad (1)$$

式中 I_0 ——绕组的稳态电流

L ——绕组的平均电感

t_r ——绕组电流波形的上升沿时间

U_c ——驱动电源电压

②储能释放压降 U_r , 指在具有相同绕组电流波形后沿时间 t_f 的条件下, 绕组两端所应有的压降, 其定义为:

$$U_r = \frac{I_0 L}{t_f} \quad (2)$$

③单位电流锁定功率 P_v , 指步进电机锁定时, 驱动电路的功耗与锁定电流之比值。

④储能回收效率 η_c , 指绕组储能释放时, 通过释放回路回收的储能能量占释放总量的百分比。

3 功率器件的选择^[1~3]

用于步进电机驱动电路的功率管有 GTR、VMOSFET 和 IGBT。由于 VMOSFET 是电压控制型器件, 它兼备电子管和晶体管两者的优点, 开关速度达微秒级, 增益高达 $10^8 \sim 10^9$, 电容量高达 50A, 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, 所以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 集成电路直接连接, 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, 因此低压驱动领域, 多采用 VMOSFET 作为开关电源和小型电机的控制。

电机驱动级的正向开关损耗基本上取决于集-射极饱和压降 $U_{CE(sat)}$ 或漏-源极电压 U_{DS} , 对于电流 20~30A 的应用, VMOSFET 有良好

4.4 边沿加速电路

改善步进电机运行特性的根本途径在于提高驱动电路的 η_v 和 U_r 。由分析可知,常规(电阻型和稳压管释放回路)驱动电路的参数之间有如下关系。

$$\eta_v \cdot U_r \cdot \eta_c < U_c \quad (5)$$

可见,在不降低 η_v 和 U_r 的前提下,提高 η_v 和 U_r 是有限的。图 6 示出我们开发的一种新型释放电路的工作原理。

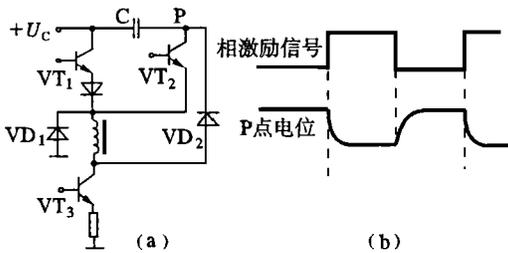


图 6 新型释放电路原理

图中 C——储能电容 VD₃——保护二极管

在储能释放期间,VT₁、VT₃、VT₂ 截止,绕组储存的磁能向 C 释放,转换为电能储存在 C 中,励磁开关时,VT₂ 导通,原先转移到 C 上的电能反过来向绕组释放,这样 C 中的电能还原成绕组中的磁能,从而实现高效的电磁能量转换。采用这种新型的边沿加速电路,可明显改善驱动电路的性能。

5 结束语

通过对低压驱动高效斩波电路中边沿加速电路型释放电路的试验,证实了采用低压驱动高效斩波电路可明显缩短绕组电流波形的边沿时间,显著提高驱动电路的驱动能力。将此电路用于驱动 110BF003 型电机,当 $I_0=6A$, U_c 降低 50% 时,在双三拍运行的情况下进行实验,低压驱动电路比常规斩波电路有更高的空载起动频率,如表 1 所示;当 $U_c=23.5V$, $I_0=6A$ 时,低压驱动高效斩波电路和常规斩波电路的其它特性参数见表 2。

表 1

驱动电源电压 (V)	常规斩波驱动电路			低压驱动斩波电路		
	最高空载起动频率 (Hz)	空载运行功耗 (W)	锁定功耗 (W)	最高空载起动电压 (Hz)	空载运行功耗 (W)	锁定功耗 (W)
25	625	70	95	1053	160	105
50	870	150	103	1143	247	100

表 2

指标参数 电路类型	主电路指标		释放回路指标	
	单位锁定电流功耗 (W/A)	前沿电压效率 (%)	储能释放压降 (V)	储能回收效率 (%)
常规斩波	6	74	39	42~51
低压驱动	6	330	350	约 90

参 考 文 献

- 李中江. VMOS 功率场效应晶体管及其应用. 北京:人民邮电出版社, 1990.
- 东芝加藤. 最新モータ制御技術とモータ駆動用半導体. 电子技术, 1987, (9): 24~49
- 森 敏. パワー・デバイスの製品動向. トランジスタ技術. 1994, 31(9): 212~214

- 李元密, 林胜福. 步进电机斩波驱动电路的 PWM 信号的产生. 电子机械工程学会第二届学术年会论文集(下册), 西安: 1991: 284~286
- 林胜福, 李元密. 步进电机驱动电路的释放回路分析. 厦门大学学报(自然科学版), 1991, 30(4): 369~374
收到初稿日期: 1996-06-19
收到定稿日期: 1996-12-11

作者简介

郑福林: 男, 1946 年 10 月生, 工程师。从事电力电子技术的研究。
 黄云鹰: 男, 1948 年 4 月生, 讲师。从事电力电子技术研究。
 李元密: 男, 1938 年 4 月生, 教授。从事功率电子学研究。
 林胜福: 男, 1962 年 4 月生, 硕士。从事电气技术和微机应用研究。

的特性,它与双极型 I_c 相同,VMOSFET 在漏-源极间有个寄生二极管,会影响高速性能,所以在高速应用中,一般采用肖特基快恢复二极管(FRD)对VMOS管进行高速续流,以抑制电机驱动电源端插入电感造成的 di/dt 。图2示出高速续流法和 di/dt 抑制法。

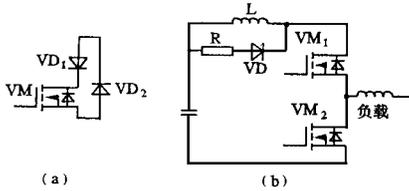


图2 提高速度的两种方法

(a)高速续流法 (b) di/dt 抑制法

4 驱动电源电路设计^[4,5]

4.1 电路组成

图3示出低压驱动高效恒流斩波电路。隔离驱动电路采用光电耦合器,实现数模电路之间的抗干扰隔离,并完成相开关管 VM_2 的驱动。PWM信号产生电路的核心是一个比较器,此外还含运行/锁定稳态电流自调节电路,它是PWM斩波驱动电路的重要组成部分。

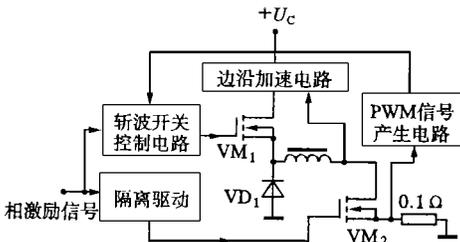


图3 低压驱动高效恒流斩波电路

4.2 斩波开关控制电路

驱动电路中电机绕组电路是大电流电路,降低开关管的导通压降对减少电路的功耗意义重大。因与电机绕组相连的斩波开关管 VM_1 的原极电位大幅度跃变(超过驱动电源电压值),随之 VM_1 的控制极电位变化,使得 VM_1 的开关难于控制。图4示出斩波开关控制电路。当PWM信号在低电平期间, VT_3 管饱和导通,不共地电源 E 通过电阻 R_1 、 VT_3 、续流二极管 VD_1 形成回路, VM_1 的栅源电压:

$$U_{GS} = U_{GES3} - U_{D1} \approx 0 \quad (3)$$

式中 U_{GES3} —— VT_3 的饱和压降

U_{D1} —— VD_1 的压降

它保证了 VM_1 在 PWM 信号为低电平期间截止; VT_3 在 PWM 信号为高电平期间截止,不共地电源 E 通过 R_1 、 R_2 形成回路,此时 VM_1 的 U_{GS} 为 E 在 R_2 上的分压,即

$$U_{GS} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E \quad (4)$$

此时, U_{GS} 必须足够大,以保证绕组电流达到稳态值时, VM_1 饱和导通。因VMOSFET的高频增益较大,易产生寄生振荡,所以在其栅极可串联一个 100Ω 的电阻(或数十至数百欧姆),使驱动电路和VMOSFET实现高频分离,以防振荡。

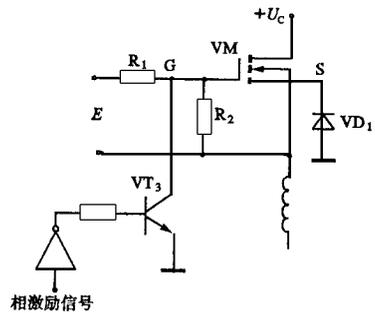


图4 斩波开关控制电路

4.3 运行/锁定稳态电流自调节电路

在许多实际应用场合,步进电机均处于锁定状态,此时电机绕组的电流往往偏大,在此情况下,减小绕组的 I_0 ,即可避免电能的不必要浪费,又可降低电机的温升,延长电机的使用寿命。步进电机要求调节电路在电机由锁定状态转入运行状态时,电路必须在绕组电流从零上升到锁定状态的稳态值以前,把绕组稳态电流调节到运行状态时的稳态值,以保证电机的起动性能不变。图5示出稳态电流自调节电路。对于PWM式斩波驱动电路来说,通过改变三角波幅值的大小,可实现稳态电流的调节。

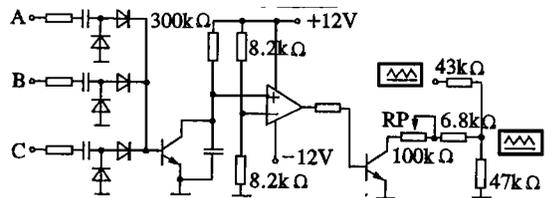


图5 稳态电流自调节电路