

# 浅析 IGBT 的门极驱动

雷 斌

(江西火电建设公司电焊机厂,江西 南昌 330001)

**摘要:** 鉴于绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 在逆变电焊机中的应用日益普及, 针对 IGBT 门极驱动的特点, 分析了它对于驱动波形、功率、布线、隔离等方面的要求, 并介绍了一些典型电路。

**关键词:** IGBT; 门极; 驱动

## Brief analysis on IGBT's gate driving

LEI Bin

(Electric Welding Machines Factory, Jiangxi Fire Power Construction Co., Nanchang 330001, China)

**Abstract:** This article analyzes the requirements of IGBT for wave, power, distribution, isolation and introduces some typical circuits in view of the more application of IGBT in inverter welding machines.

**Key words:** IGBT; gate; driving

## 前言

绝缘栅双极晶体管 IGBT 是第三代电力电子器件,安全工作,它集功率晶体管 GTR 和功率场效应管 MOSFET 的优点于一身,具有易于驱动、峰值电流容量大、自关断、开关频率高 (10~40 kHz) 的特点,是目前发展最为迅速的新一代电力电子器件。广泛应用于小体积、高效率的变频电源、电机调速、UPS 及逆变焊机当中。IGBT 的驱动和保护是其应用中的关键技术。在此根据长期使用 IGBT 的经验并参考有关文献对 IGBT 的门极驱动问题做了一些总结,希望对广大 IGBT 应用人员有一定的帮助<sup>[1]</sup>。

## 1 IGBT 门极驱动要求

### 1.1 栅极驱动电压

因 IGBT 栅极—发射极阻抗大,故可使用 MOSFET 驱动技术进行驱动,但 IGBT 的输入电容

较 MOSFET 大,所以 IGBT 的驱动偏压应比 MOSFET 驱动所需偏压强。图 1 是一个典型的例子。在 +20 °C 情况下,实测 60 A,1 200 V 以下的 IGBT 开通电压阈值为 5~6 V<sup>[2]</sup>,在实际使用时,为获得最小导通压降,应选取  $U_{ge} \geq (1.5 \sim 3) U_{ge(th)}$ ,当  $U_{ge}$  增加时,导通时集射电压  $U_{ce}$  将减小,开通损耗随之减小,但在负载短路过程中  $U_{ge}$  增加,集电极电流  $I_c$  也将随之增加,使得 IGBT 能承受短路损坏的脉宽变窄,因此  $U_{ge}$  的选择不应太大,这足以使 IGBT 完全饱和,同时也限制了短路电流及其所带来的应力(在具有短路工作过程的设备中,如在电

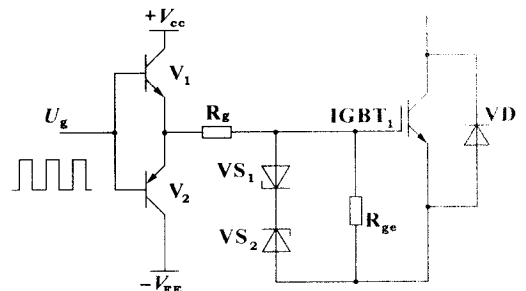


图 1 典型电路应用图

焊机中使用 IGBT 时,  $+U_{ge}$  在满足要求的情况下尽量选取最小值, 以提高其耐短路能力)。

### 1.2 对电源的要求

对于全桥或半桥电路来说, 上下管的驱动电源要相互隔离, 由于 IGBT 是电压控制器件, 所需要的驱动功率很小, 主要是对其内部几百至几千皮法的输入电容的充放电, 要求能提供较大的瞬时电流, 要使 IGBT 迅速关断, 应尽量减小电源的内阻, 并且为防止 IGBT 关断时产生的  $du/dt$  误使 IGBT 导通, 应加上一个  $-5\text{ V}$  的关栅电压, 以确保其完全可靠的关断(过大的反向电压会造成 IGBT 栅射反向击穿, 一般为  $-2\sim-10\text{ V}$  之间)。

### 1.3 对驱动波形的要求

从减小损耗角度讲, 门极驱动电压脉冲的上升沿和下降沿要尽量陡峭, 前沿很陡的门极电压使 IGBT 快速开通, 达到饱和的时间很短, 因此可以降低开通损耗, 同理, 在 IGBT 关断时, 陡峭的下降沿可以缩短关断时间, 从而减小了关断损耗, 发热量降低。但在实际使用中, 过快的开通和关断在大电感负载情况下反而是不利的。因为在这种情况下, IGBT 过快的开通与关断将在电路中产生频率很高、幅值很大、脉宽很窄的尖峰电压  $Ldi/dt$ , 并且这种尖峰很难被吸收掉。此电压有可能会造成 IGBT 或其他元器件被过压击穿而损坏。所以在选择驱动波形的上升和下降速度时, 应根据电路中元件的耐压能力及  $du/dt$  吸收电路性能综合考虑。

### 1.4 对驱动功率的要求

由于 IGBT 的开关过程需要消耗一定的电源功率, 最小峰值电流可由下式求出<sup>[2]</sup>:

$$I_{GP} = \Delta U_{ge} / (R_G + R_g),$$

式中  $\Delta U_{ge} = +U_{ge} + |-U_{ge}|$ ;  $R_G$  是 IGBT 内部电阻;  $R_g$  是栅极电阻。

驱动电源的平均功率为:

$$P_{AV} = C_{ge} \Delta U_{ge}^2 f,$$

式中  $f$  为开关频率;  $C_{ge}$  为栅极电容。

### 1.5 栅极电阻

为改变控制脉冲的前后沿陡度和防止震荡, 减小 IGBT 集电极的电压尖峰, 应在 IGBT 栅极串上合适的电阻  $R_g$ 。当  $R_g$  增大时, IGBT 导通时间延长, 损耗发热加剧;  $R_g$  减小时,  $di/dt$  增高, 可能产生误导通, 使 IGBT 损坏。应根据 IGBT 的电流容量和电压额定值以及开关频率来选取  $R_g$  的数值。通常在几欧

至几十欧之间(在具体应用中, 还应根据实际情况予以适当调整)。另外为防止门极开路或门极损坏时主电路加电损坏 IGBT, 建议在栅射间加入一电阻  $R_{ge}$ , 阻值为  $10\text{ k}\Omega$  左右。

### 1.6 栅极布线要求

合理的栅极布线对防止潜在震荡, 减小噪声干扰, 保护 IGBT 正常工作有很大帮助。

a. 布线时须将驱动器的输出级和 IGBT 之间的寄生电感减至最低(把驱动回路包围的面积减到最小);

b. 正确放置栅极驱动板或屏蔽驱动电路, 防止功率电路和控制电路之间的耦合;

c. 应使用辅助发射极端子连接驱动电路;

d. 驱动电路输出不能和 IGBT 栅极直接相连时, 应使用双绞线连接(2 转/cm);

e. 栅极保护, 箝位元件要尽量靠近栅射极。

### 1.7 隔离问题

由于功率 IGBT 在电力电子设备中多用于高压场合, 所以驱动电路必须与整个控制电路在电位上完全隔离, 主要的途径及其优缺点如表 1 所示。

表 1 驱动电路与控制电路隔离的途径及优缺点

优点	缺点
利用光电耦合器进行隔离, 适用于 PWM 控制器	1、共模干扰抑制不理想 2、响应速度慢, 在高频状态下应用受限制 3、需要相互隔离的辅助电源
利用脉冲变压器进行隔离	1、信号传送的最大脉冲宽度受磁芯饱和特性的限制, 通常不大于 50%, 最小脉宽受磁化电流限制 2、受漏感及集肤影响, 加工工艺复杂

## 2 典型的门极驱动电路介绍

### 2.1 脉冲变压器驱动电路

脉冲变压器驱动电路如图 2 所示。  $V_1\sim V_4$  组成脉冲变压器一次侧驱动电路, 通过控制  $V_1$ 、 $V_4$  和  $V_2$ 、 $V_3$  的轮流导通, 将驱动脉冲加至变压器的一次侧, 二次侧通过电阻  $R_1$  与 IGBT<sub>5</sub> 栅极相连,  $R_1$ 、 $R_2$  防止 IGBT<sub>5</sub> 栅极开路并提供充放电回路,  $R_1$  上并联

的二极管为加速二极管,用以提高 IGBT<sub>3</sub> 的开关速度,稳压二极管 VS<sub>1</sub>、VS<sub>2</sub> 的作用是限制加在 IGBT<sub>3</sub> g-e 端的电压,避免过高的栅射电压击穿栅极。栅射电压一般不应超过 20 V。

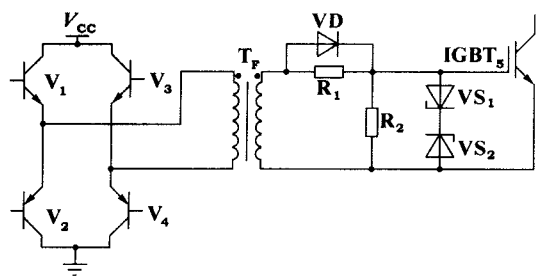


图 2 脉冲变压器驱动电路

## 2.2 光耦隔离驱动电路

光耦隔离驱动电路如图 3 所示。由于 IGBT 是高速器件,所选用的光耦必须是小延时的高速型光耦,由 PWM 控制器输出的方波信号加在三极管 V<sub>1</sub> 的基极, V<sub>1</sub> 驱动光耦将脉冲传递至整形放大电路 IC1,经 IC1 放大后驱动由 V<sub>2</sub>、V<sub>3</sub> 组成的对管 (V<sub>2</sub>、V<sub>3</sub> 应选择  $\beta > 100$  的开关管)。对管的输出经电阻 R<sub>1</sub> 驱动 IGBT<sub>4</sub>, R<sub>3</sub> 为栅射结保护电阻, R<sub>2</sub> 与稳压管 VS<sub>1</sub> 构成负偏压产生电路, VS<sub>1</sub> 通常选用 1 W/5.1 V 的稳压管。此电路的特点是只用 1 组供电就能输出正负驱动脉冲,使电路比较简洁。

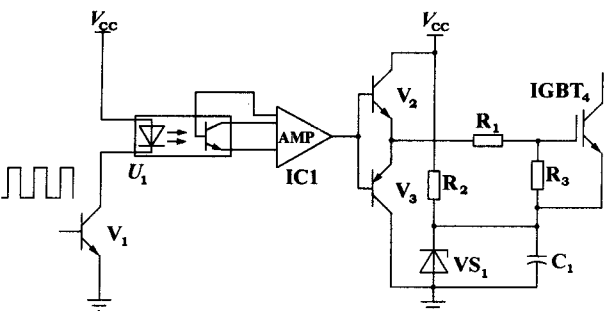


图 3 光耦隔离驱动电路

## 2.3 驱动模块构成的驱动电路

应用成品驱动模块电路来驱动 IGBT,可以大大提高设备的可靠性,目前市场上可以买到的驱动模块主要有:富士的 EXB840、841,三菱的 M57962L,惠普的 HCPL316J、3120 等。这类模块均具备过流软关断、高速光耦隔离、欠压锁定、故障信号输出功能。由于这类模块具有保护功能完善、免调试、可靠性高的优点,所以应用这类模块驱动 IGBT 可以缩短产

品开发周期,提高产品可靠性。EXB840 和 M57962 很多资料都有介绍,这里就简要介绍一下惠普公司的 HCPL316J。典型电路如图 4 所示。

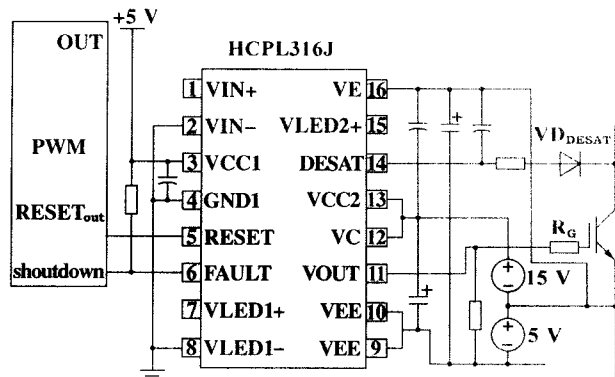


图 4 由驱动模块构成的驱动电路

HCPL316J 可以驱动 150 A/1 200 V 的 IGBT,光耦隔离,COMS/TTL 电平兼容,过流软关断,最大开关速度 500 ns,工作电压 15~30 V,欠压保护。输出部分为三重复合达林顿管,集电极开路输出。采用标准 SOL-16 表面贴装。

HCPL316J 输入、输出部分各自排列在集成电路的两边,由 PWM 电路产生的控制信号加在 316j 的第 1 脚,输入部分需要 1 个 5 V 电源,RESET 脚低电平有效,故障信号输出由第 6 脚送至 PWM 的关闭端,在发生过流情况时及时关闭 PWM 输出。输出部分采用 +15 V 和 -5 V 双电源供电,用于产生正负脉冲输出,14 脚为过流检测端,通过二极管 VD<sub>DESAT</sub> 检测 IGBT 集电极电压,在 IGBT 导通时,如果集电极电压超过 7 V,则认为是发生了过流现象,HCPL316J 慢速关断 IGBT,同时由第 6 脚送出过流信号。

## 3 结语

通过对 IGBT 门极驱动特点的分析及典型应用电路的介绍,使大家对 IGBT 的应用有一定的了解。可作为设计 IGBT 驱动电路的参考。

### 参考文献:

- [1] 史平君. 绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 的驱动与保护 [J]. 火控雷达技术, 1996, (3): 15-18.
- [2] IR Corporation. IGBT Designer's Manual [Z]. International Rectifier, 1993.