

**LIMA**

**劉 成**  
Sales Engineer  
S.Z.Mobile:136-8239-6505  
MSN:szlima@hotmail.com  
QQ:778174600

**AVAGO** 光耦一级代理商  
TECHNOLOGIES

**利瑪電子(新加坡)有限公司**  
Add:深圳市華強北電子科技大廈A座3908室  
Tel:0755-8250 8350 Fax:0755-8836 4656  
E-mail:lima@limaic.com  
Website:www.limaic.com

**Optocoupler  
World**



## IGBT 驱动保护电路的详细的设计与如何测试

该文章讲述了 IGBT 驱动保护电路的详细的设计与如何测试应用

1 引言 (欢迎来电咨询 网址: <http://www.bpqjs.cn> 变频器维修|电话:

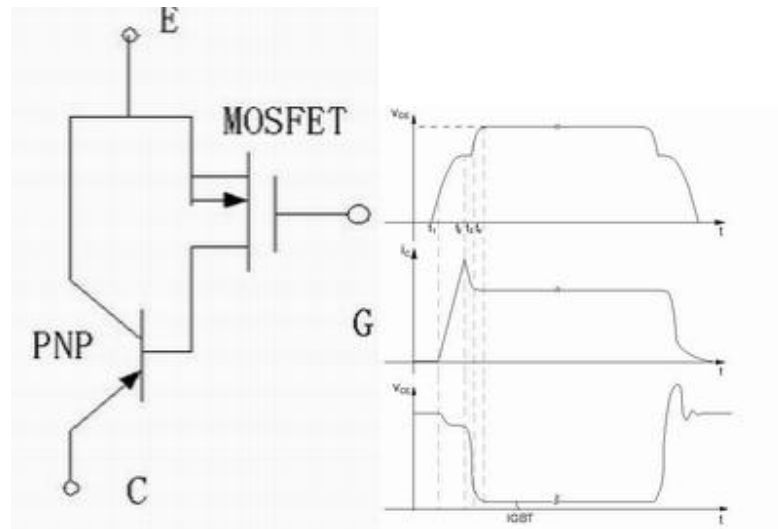
15515598858)

IGBT 集功率 MOSFET 和双极型功率晶体管的优点于一体, 具有电压控制、输入阻抗大、驱动功率小、控制电路简单、开关损耗小、通断速度快且通态压降低, 易高压大电流等特点。

在 IGBT 的应用中, 驱动和保护一直都是研究的关键技术, 特别是过流保护方面。IGBT 器件本身以及它 在电路中运行条件的特点, 决定了其过流保护和其他开关器件相比有很大的差别。IGBT 的过流保护电路直接关系到整个系统的工作性能和运行安全。

## 2 IGBT 驱动电路

### 2.1 IGBT 的开关特性



由图 1 所示 IGBT 的等效电路和器件的内部结构可知，IGBT 的开关控制是通过和 MOSFET 类似的栅极结构来完成的，因此 IGBT 和 MOSFET 的开关过程大致相似。图 2 为 IGBT 硬开关时  $V_{GE}$ 、 $I_{CE}$  和  $V_{CE}$  的波形。开通时，当  $V_{GE}$  达到开通门限后，到  $t_2$  时间， $I_{CE}$  达到最大值， $V_{CE}$  下降过程中，由于和 MOSFET 一样的密勒电容  $C_{GC}$  的作用，栅极电压基本恒定，延缓了 IGBT 的开通过程，当  $V_{CE}$  下降结束， $I_{CE}$  达到稳态值， $C_{GC}$  作用消失， $V_{GE}$  以较快的上升率达到最大值。为了降低此效应，应该使栅极驱动源的内阻足够小，增加流经  $C_{GC}$  的电流，加快开通速度。

关断时，同样由于密勒电容的效应，当  $V_{CE}$  上升的过程中， $V_{GE}$  有一段近似恒定的时间，影响关断的过程。另外，由于 IGBT 是双极性器件，在关断过程中有一个少子复合过程，造成关断时的拖尾电流，这是 IGBT 和 MOSFET 开关最大的不同点，如图 2 所示，这也是影响 IGBT 工作频率的最主要原因。

## 2.2 IGBT 驱动电路的要求

### 2.2.1 开通正栅压 （欢迎来电咨询 网址：<http://www.bpqjs.cn> 变频器维修：15515598858）

IGBT 静态特性曲线所示，IGBT 正栅压  $V_{GE}$  越大，导通电阻越低，损耗越小。但是，

如果  $V_{GE}$  过大，一旦 IGBT 过流，会造成内部寄生晶闸管的静态擎柱效应，造成 IGBT 失效。相反如果  $V_{GE}$  过小，可能会使 IGBT 的工作点落入线性放大区，最终导致器件的过热损坏，比较理想的 IGBT 驱动电压范围是 12V。

### 2.2.2 关断栅压选择

IGBT 的关断过程可能会承受很大的  $dv/dt$ ，伴随关断浪涌电流，干扰栅极的关断电压，可能造成器件的误开通。为提高驱动电路的抗干扰能力，在关断时栅极加适当的负偏压，一般取为 -10V。

### 2.2.3 栅极串联电阻 $R_g$ 的选择

从 IGBT 的开关特性的分析可以看出， $R_g$  直接影响 IGBT 的工作情况。为提高开关频率， $R_g$  取值应该尽量小。但如果  $R_g$  取值过小，会导致栅射极之间的充放电时间常数小，开通瞬间电流较大，从而损坏 IGBT；而若  $R_g$  取值过大，虽然在抑制  $dv/dt$  方面很有效果，但增加了 IGBT 的开关时间和开关损耗，严重影响 IGBT 的性能和工作状态。 $R_g$  的取值大概是十几欧到几百欧之间，具体的值应该根据应用的实际情况选取最佳值。

## 3 驱动电路的保护

### 3.1 过流保护

#### 3.1.1 过电流损坏原因

IGBT 内部有寄生晶闸管，在规定漏极电流范围内，其产生的正偏压不足以使晶体管导通，当漏极电流大到一定程度，正偏压足以使晶体管导通，进而使寄生晶闸管开通，栅极失去控制，发生擎柱效应。此时关断无效，集电极电流很大致使 IGBT 损坏。当电流还未达到擎柱效应所需电流大小时，如果 IGBT 运行指标超过 SOA 所限定的电流安全边界，也就工作在了过流状态下，长时间过流运行造成很高的功耗，损坏器件。当最严重的过流情况，短路发生时，电流很快达到额定电流的 4-5 倍，此时必须尽快关断器件，否则器件将很快损坏。（欢迎来电咨询 网址：<http://www.bpqjs.cn> 变频器维修|电话：

15515598858)

### 3.1.3 过电流的处理

根据 IGBT 的静态特性，当发生过流时，VCE 会随电流急剧变大，可以通过检测 VCE 的大小来判断是否过流。当检测到过流发生时，首先采取降栅压措施，从图 3 的静态特性曲线可知，栅压降低以后，电流显著减小。这样一方面可以保护器件，另一方面如果确定是短路需要关闭器件时，不用在相当大电流的基础上执行关断，反而引入  $di/dt$  的问题。当降栅压运行一段时间后（一般是 10ms），如果电流恢复正常，可以再加上正常的栅压。这样可以有效避免假过流造成的误保护。但如果电流仍然处于过流的状态，可以判断是短路故障，应该马上对 IGBT 进行关断。此时绝对不能快速关断，因为短路时电流非常大，直接关断会在线路寄生电感上产生很大的电压，进而损坏器件。此时应该保证电流变化率不会过大，让栅极电压缓慢降低关断器件。

## 3.2 栅极过压的保护

### 3.2.1 栅极过压原因

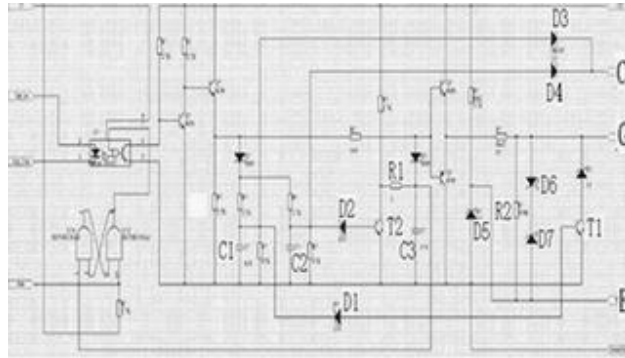
IGBT 大多是工作于感性负载状态，当其处于关断状态，而反并二极管正在反向恢复过程时，就会有很大的  $dv/dt$  加于 CE 两端。由于密勒电容的存在，该  $dv/dt$  将在电容上产生瞬间电流，流向栅极驱动电路。该电流与  $R_g$  作用，如果  $R_g$  值偏大，使  $V_{ge}$  超过 IGBT 开通门限电压值，器件就会被误触发导通。

### 3.3.2 栅极过压的处理

在栅射间并接入一个栅射电阻可以解决这个问题。另外，为了防止栅极驱动电路出现高压尖峰，我们在栅射间并接两只反向串联的稳压二极管，其稳压值与正栅压和负栅压相同。这样可以保证栅射电压的稳定，并且能有效地将密勒电容产生的电流通过栅射电阻释放，达到栅极过压保护的目。

## 4 电路设计

## 4.1 电路说明



驱动电路如图 4 所示，整个驱动端电路采用 6N137 光耦隔离，单电源供电，通过一个 5V 的稳压管 D5 完成 0V 和 -5V 之间的转换，用一个电源实现了正负电源的功能。D6、D7、R2 构成栅极过压保护电路。重要的元件如图中编号所示。D3、D4 是快恢二极管，D1、D2 是稳压值不同的齐纳稳压管。

### 4.1.1 正常工作时

驱动信号通过光耦送入驱动电路，通过 RS 触发器的置位引脚启动电路。开通时，两个过流保护的延时电路电容 C1、C2 开始充电，此时推挽电路也将  $V_g$  提高到正栅压，IGBT 导通，VCE 很快下降为导通压降，当 C1、C2 电压高于 VCE 时，D3、D4 导通，C1、C2 电压被钳位，不再上升，也就不会将 D1、D2 击穿，电路正常工作。关断时，C3 已经被充电，与 C3 串联的二极管截止，推挽电路输出低电平，由于 D5 的原因，栅压变为 -5V，将 IGBT 关断。

正常工作时最重要的是 C1、C2 及其充电电阻的选择，时间常数不能太小，否则会在 IGBT 开通前将 D1、D2 击穿进入过流保护状态。也不能过大，否则在过流时会因为动作时间过长而损坏器件。

### 4.1.2 过流降栅压运行

一旦 IGBT 过流，VCE 急剧上升，超过了 C1、C2 的钳位电压，D3、D4 反向阻断，C1、C2 开始充电，当 C1 的电压高于了 D1 的击穿电压（D1 击穿电压低于 D2）时，D1 反向击穿，T1 导通，与 T1 串联的稳压管投入电路工作，将此时的栅压降低，实现降压运行。

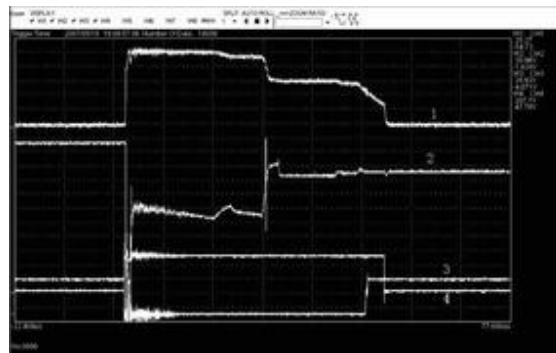
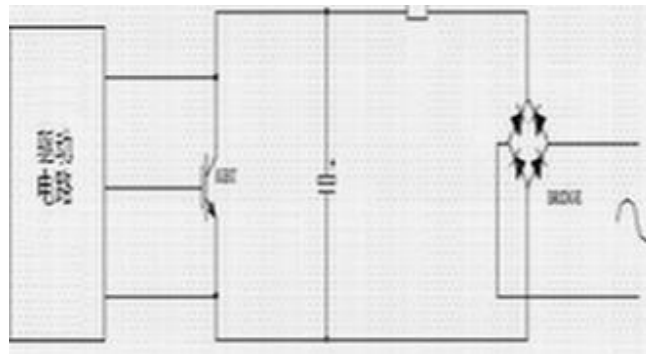
#### 4.1.3 短路缓慢关断

控制 C2 电压上升和 D2 的击穿电压之间的关系，调整 D1、D2 相继击穿的时间差约为 10，如果 10 内电流恢复正常，那 VCE 会再降低，D3 又导通，C1、C2 电压钳位到低电平。恢复正常工作。而如果是短路发生，C2 的电压会持续上升，直至击穿 D2，导通 T2，C3 马上通过 R1 和 T2 放电，栅压开始缓慢降低，降低的速率由 C3 和 R1 的时间常数决定，当 C3 的电压降低到低电平时，改变 RS 触发器状态，将 6N137 封锁，输出低电平，完全关断 IGBT，从而实现了短路时栅极电压的缓慢降低，缓慢关断了 IGBT。

这个过程中最关键是两个保护电路的延时电路参数的选取。具体 IGBT 的保护时间设置有很多选择，可以改变电阻电容的组合，也可以改变稳压管的击穿电压，通过实验能得到很好的效果，以满足不同 IGBT 使用的需要。（欢迎来电咨询 网址：

<http://www.bpqjs.cn> 变频器维修|电话：15515598858）

#### 4.2 短路保护实验



试验电路如图 5 所示，先将电容充电，然后启动驱动电路，可以观察短路保护时的波型如图 6 所示。其中 1 是栅极电压波型，2 是 VCE 波型，3、4 分别是 RS 触发器两个输出的波型。

从图中可见，向驱动电路发出启动信号后，RS 触发器输出反向，栅极电压上升到开通电压，而 VCE 由于电容通过 IGBT 放电，电压猛降，此时，IGBT 中流过的电流相当大，处于过流的状态，经过大概 10 的时间，保护电路开始作用，IGBT 进入降压运行阶段，从图中看出，此时从 IGBT 流过的电流已经明显减小，从电阻流入的电流已经将电容的电压又补充回去，但此时的电流仍然很大，故再经过大约 10 的时间，电路进入关断阶段，栅极电压开始以一定的斜率下降，趋势很平缓，当栅极电压降到逻辑低的电压值时，触发器状态变化，驱动电路封锁，如图，此时如果要重新开启电路，需要再给出启动信号。从短路测试中可以看出，该电路能够有效地在过流的时候完成降压运行和缓慢关断的任务，为 IGBT 的正常工作提供保障。



## 5 结语

该驱动电路具有隔离驱动，过流保护，过栅压保护等特点。如果希望电路能正常工作，重要元件的参数需要认真选择，特别是  $R_g$  值的选取，在电路上可对  $R_g$  部分进行改进，利用二极管分别在开通和关断时得到不同  $R_g$  值。另外，该驱动电路只能对过流和栅极过压起保护作用，对 VCE 的过压保护需要在主电路中加入缓冲保护电路，才能保证器件的可靠工作。

目前该电路结合 DSP 控制芯片在逆变装置中表现得非常出色，证明了电路的简单、有效，是驱动 IGBT 的一个比较好的选择。

## IGBT 模块工作原理及其注意事项

该文章讲述了 IGBT 模块工作原理及其注意事项应用

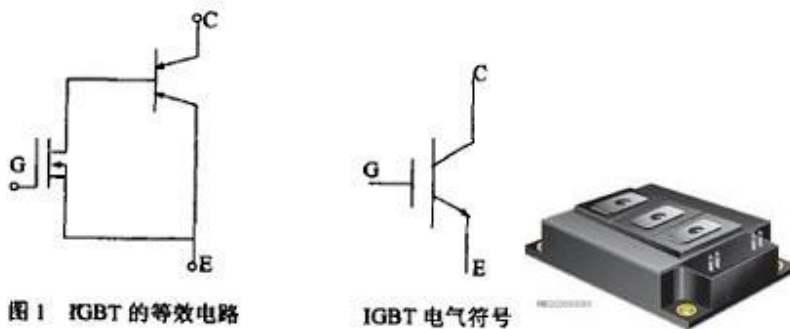
### 1、IGBT 模块简介

IGBT 是 Insulated Gate Bipolar Transistor(绝缘栅双极型晶体管)的缩写，IGBT 是由 MOSFET 和双极型晶体管复合而成的一种器件，其输入极为 MOSFET，输出极为 PNP 晶体管，它融和了这两种器件的优点，既具有 MOSFET 器件驱动功率小和开关速度快的优点，又具有双极型器件饱和压降低而容量大的优点，其频率特性介于 MOSFET 与功率晶体管之间，可正常工作于几十 kHz 频率范围内，在现代电力电子技术中得到了越来越广泛的应用，在较高频率的大、中功率应用中占据了主导地位。

IGBT 的等效电路如图 1 所示。由图 1 可知，若在 IGBT 的栅极 G 和发射极 E 之间加上驱动正电压，则 MOSFET 导通，这样 PNP 晶体管的集电极 C 与基极之间成低阻状态而使得晶体管导通；若 IGBT 的栅极和发射极之间电压为 0V，则 MOS 截止，切断 PNP 晶体管基极电流的供给，使得晶体管截止。IGBT 与 MOSFET 一样也是电压控制型器件，在它的栅极 G—发射极 E 间施加十几 V 的直流电压，只有在  $\mu A$  级的漏电流流过，基本上不消耗



功率。



## 2、IGBT 模块的选择

IGBT 模块的电压规格与所使用装置的输入电源即试电电源电压紧密相关。其相互关系见下表。使用中当 IGBT 模块集电极电流增大时，所产生的额定损耗亦变大。同时，开关损耗增大，使原件发热加剧，因此，选用 IGBT 模块时额定电流应大于负载电流。特别是用作高频开关时，由于开关损耗增大，发热加剧，选用时应该降温等使用。

## 3、使用中的注意事项

由于 IGBT 模块为 MOSFET 结构，IGBT 的栅极通过一层氧化膜与发射极实现电隔离。由于此氧化膜很薄，其击穿电压一般达到 20~30V。因此因静电而导致栅极击穿是 IGBT 失效的常见原因之一。因此使用中要注意以下几点：

- 1、在使用模块时，尽量不要用手触摸驱动端子部分，当必须要触摸模块端子时，要先将人体或衣服上的静电用大电阻接地进行放电后，再触摸；
- 2、在用导电材料连接模块驱动端子时，在配线未接好之前请先不要接上模块；
- 3、尽量在底板良好接地的情况下操作。

在应用中有时虽然保证了栅极驱动电压没有超过栅极最大额定电压，但栅极连线的寄生电感和栅极与集电极间的电容耦合，也会产生使氧化层损坏的振荡电压。为此，通常采用双绞线来传送驱动信号，以减少寄生电感。在栅极连线中串联小电阻也可以抑制振荡电

压。

此外，在栅极—发射极间开路时，若在集电极与发射极间加上电压，则随着集电极电位的变化，由于集电极有漏电流流过，栅极电位升高，集电极则有电流流过。这时，如果集电极与发射极间存在高电压，则有可能使 IGBT 发热及至损坏。

在使用 IGBT 的场合，当栅极回路不正常或栅极回路损坏时(栅极处于开路状态)，若在主回路上加上电压，则 IGBT 就会损坏，为防止此类故障，应在栅极与发射极之间串接一只  $10K\Omega$  左右的电阻。

在安装或更换 IGBT 模块时，应十分重视 IGBT 模块与散热片的接触面状态和拧紧程度。为了减少接触热阻，最好在散热器与 IGBT 模块间涂抹导热硅脂。一般散热片底部安装有散热风扇，当散热风扇损坏中散热片散热不良时将导致 IGBT 模块发热，而发生故障。因此对散热风扇应定期进行检查，一般在散热片上靠近 IGBT 模块的地方安装有温度感应器，当温度过高时将报警或停止 IGBT 模块工作。

#### 4、保管时的注意事项

- 1、一般保存 IGBT 模块的场所，应保持常温常湿状态，不应偏离太大。常温的规定为  $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，常湿的规定在  $45\sim 75\%$  左右。在冬天特别干燥的地区，需用加湿机加湿；
- 2、尽量远离有腐蚀性气体或灰尘较多的场合；
- 3、在温度发生急剧变化的场所 IGBT 模块表面可能有结露水的现象，因此 IGBT 模块应放在温度变化较小的地方；
- 4、保管时，须注意不要在 IGBT 模块上堆放重物；
- 5、装 IGBT 模块的容器，应选用不带静电的容器。

#### 5、结束语

IGBT 模块由于具有多种优良的特性，使它得到了快速的发展和普及，已应用到电力电

子的各方面。因此熟悉 IGBT 模块性能，了解选择及使用时的注意事项对实际中的应用是十分必要的。