

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



电子元器件系列知识—IGBT

一、IGBT 驱动

1 驱动电压的选择

IGBT 模块 GE 间驱动电压可由不同地驱动电路产生。典型的驱动电路如图 1 所示。

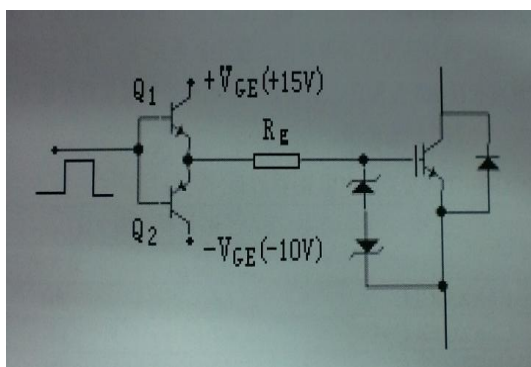


图 1 IGBT 驱动电路示意图

Q1, Q2 为驱动功率推挽放大, 通过光耦隔离后的信号需通过 Q1, Q2 推挽放大。选择 Q1, Q2 其耐压需大于 50V。选择驱动电路时, 需考虑几个因素。由于 IGBT 输入电容较 MOSFET 大, 因此 IGBT 关断时, 最好加一个负偏电压, 且负偏电压比 MOSFET 大, IGBT 负偏电压最好在 -5V~-10V 之内; 开通时, 驱动电压最佳值为 $15V \pm 10\%$, 15V 的驱动电压足够使 IGBT 处于充分饱和, 这时通态压降也比较低, 同时又能有效地限制短路电流值和因此产生的应力。若驱动电压低于 12V, 则 IGBT 通态损耗较大, IGBT 处于欠压驱

动状态；若 $V_{GE} > 20V$ ，则难以实现电流的过流、短路保护，影响 IGBT 可靠工作。

2 栅极驱动功率的计算

由于 IGBT 是电压驱动型器件，需要的驱动功率值比较小，一般情况下可以不考虑驱动功率问题。但对于大功率 IGBT，或要求并联运行的 IGBT 则需要考虑驱动功率。IGBT 栅极驱动功率受到驱动电压即开通 $V_{GE(ON)}$ 和关断 $V_{GE(off)}$ 电压，栅极总电荷 Q_G 和开关 f 的影响。栅极驱动电源的平均功率 P_{AV} 计算公式为：

$$P_{AV} = (V_{GE(ON)} + V_{GE(off)}) * Q_G * f$$

对一般情况 $V_{GE(ON)} = 15V$ ， $V_{GE(off)} = 10V$ ，则 P_{AV} 简化为： $P_{AV} = 25 * Q_G * f$ 。f 为 IGBT 开关频率。

栅极峰值电流 I_{GP} 为：

$$I_{GP} = [V_{GE(ON)} - (-V_{GE(off)})] / R_g = (V_{GE(ON)} + V_{GE(off)}) / R_g$$

注意： R_g 应为内部和外部驱动电阻之和，EUPEC 部分 IGBT 模块内部封有驱动电阻。

3 栅极驱动电阻 R_g 的选择

在设计 IGBT 驱动电路时，选择适当的栅极驱动电阻 R_g 比较重要。 R_g 对 IGBT 的动态性有较大的影响， R_g 越小，栅电容放电越快，开关时间较快，开关损耗就较低。但发生短路时或与 IGBT 反并联的续流二极管关断期间，施加了集电极—栅极电容上的 d_i/d_t 和 d_v/d_t 可引起栅极电路有电流流过，若电流足够大，则在栅极电阻上产生电压，严重的后果是引起 IGBT 误导通，或在栅极驱动电路产生振荡。此外， R_g 比较小时，是得 IGBT 开通 d_i/d_t 变大，从而引起较高的 d_v/d_t ，增加续流二极管恢复时的浪涌电压。相反， R_g 较大时降低了 IGBT 的开关速度，增加了开关的损耗。因此，选择 R_g 时需要折中考虑。

4 栅极驱动及布线的几点注意事项

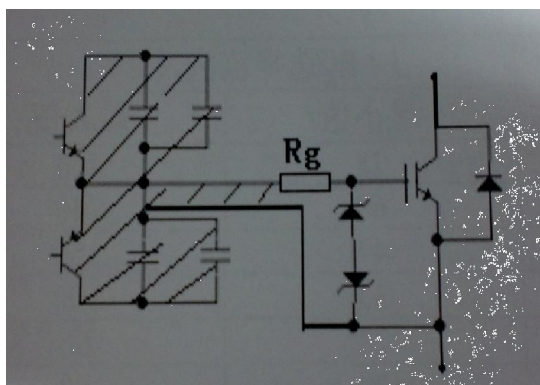


图 2 驱动电路布线说明

栅极驱动电路的布局对防止潜在的干扰，减小噪声损耗和减小驱动电路保护动作次数由较大的影响，因此驱动电路的布线需要注意以下几点：

- ◆ 驱动电路连线尽量的短，即将阴影部分内的环路面积减至最低。将驱动电路、吸收电路布置在同一个 PCB 版上，并装在 IGBT 模块上市最佳方案。
- ◆ 在不能直接布在同一个 PCB 版上的情况，驱动连线要采用双绞线（>2 转/cm），正确放置栅极驱动电路版或屏蔽驱动电路，以防止主电路和驱动、控制电路的相互干扰。
- ◆ 桥式逆变电路高端各个 IGBT 的驱动回路之间，高端和低端回路之间的寄生电容回耦合 d_v/d_t 产生的干扰，要在布线时尽量减少寄生电容。电源变压器各驱动电源绕组之间的寄生电容，也是耦合干扰噪声的来源，在这种情况下，EUPEC 2ED300C17S/ST 系列 IGBT 驱动电路板，消除了各驱动电源之间的干扰，逆变电路所有 IGBT 均可共用一个驱动电源（+15V），其负电压由内部自动产生。
- ◆ 在靠近 IGBT 的 GE 之间加双 16V-18V 稳压二极管，以箝位 d_v/d_t 引起的耦合到栅极的电压尖峰。
- ◆ 采用光耦隔离控制与高频驱动信号时，应选择公模抑制比大于 10KV/ μ s 的高速光耦。

二 IGBT过流与短路保护

IGBT是高频开关器件，芯片内部的电流密度大。当发生过流或短路故障时，器件中流过的大于额定值的电流时，极易使器件管芯结温度升高，导致器件烧坏。因此，对IGBT的过流或短路保护相应时间必须快，必须在10 μ s以内完成。应用实践表明：过电流时IGBT电力电子线路中经常发生的故障和损坏IGBT模块的主要原因之一，过流保护应当首先考虑。须指出的是：过流于短路保护是两个概念，他们既有联系也有区别。过流大多数是指某种原因引起的负载过载；短路是指桥臂直通，或主电压经过开关IGBT的无负载回来，他们的保护方法也有区别。如过流保护常用电流检出传感器，短路保护常通过检测IGBT饱和压降，配合驱动电路来实现。不同的功率有不同的方法来实现过流过短路保护。

1、 小功率IGBT模块过流保护

对于小功率IGBT模块，通常采用直接串电阻的方法来检测器件输出电流，从而判断过电流故障，通过电阻检测时，无延迟；输出电路简单；成本低；但检测电路与主电路不隔离，检测电阻上有功耗，因此，只适合于小功率IGBT模块。

2、 中功率IGBT模块的电流检测与过流、短路保护

中功率IGBT模块的电流检测与过流、短路保护，一种方法是仍然采用电阻检测法，而了降低电阻产生功耗及发热产生的影响，可把带散热器的取样电阻固定在散热器上，以测量更大的电流。

3、 中、大功率IGBT模块的电流检测与过流、短路保护

对于大、中功率IGBT模块的电流检测与过流保护常采用电流传感器。但需注意要选择满足相应速度要求的电流传感器，如HALL电流传感器。由于需要配置检测电源，成本较高，但检测电路与主电路隔离，适用于较大功率的IGBT模块。保护电流动作的时间须在10μs之内完成。

4、 通过检测IGBT饱和压降实现短路保护

IGBT通常工作在逆变桥上，并处于开关工作状态，若设计不当，易于发生短路现象。对于短路保护，常用的方法是通过检测IGBT的饱和压降 $V_{CE(sat)}$ 来实现短路保护，它往往配合驱动电路来实现，其基本原理如图 3 所示。

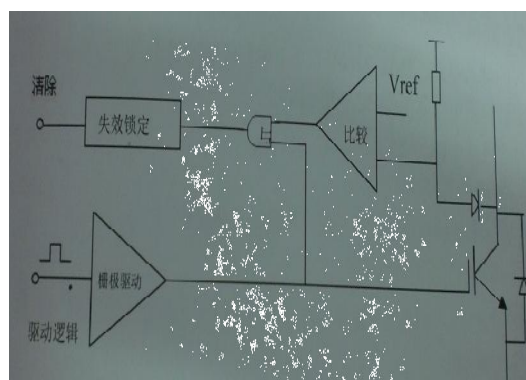


图3 短路保护电路

当过流或者短路发生时，设定一个参考电压 V_{ref} ，一旦通过快恢复二极管检测的 $V_{CE(sat)} \geq V_{ref}$ 时，保护电流动作，保护电流必须在10μs之内将IGBT关断。采用先降低栅电压的方法，实现软关断，可以减少IGBT的关断能力，甚至延长保护电路动作的时间。

三 IGBT 驱动电路与短路保护电路的推荐

IGBT驱动保护与IGBT模块是相对独立的,即可用三菱IGBT驱动电流(现改为谏早电子生产)来驱动EUPEC IGBT 模块,也可用EUPEC Ece dri ver来驱动三菱IGBT模块。IGBT驱动与保护的关键,首先是提供一个+15V和-10V的驱动电源,其次是一旦过流或短路现象出现,必须在10 μ s之内切断控制回路。用户可以自己设计驱动与保护电路。当然也可以采用驱动IC,脉冲变压器,驱动光耦或厚膜混合驱动电路来完成。

1、 电流小于50A的IGBT模块常用驱动电路

➤ 安捷伦(Agilent)驱动光耦

对于电流小于50A、1200V以下IGBT,常采用驱动光耦如下:

HCPL-315J 驱动电流0.5A 两通道 不带保护

HCPL-316J 驱动电流2.0A 单通道 带过流保护,失效锁定

HCPL3120J 驱动电流2.0A 单通道 仅带欠压保护,可驱动1200V,100A以下

HCNW3120J 驱动电流2.0A 单通道 仅带欠压保护,可驱动1700V,100A以下

➤ EUPEC无磁芯驱动IC: 2ED020I12-F

EUPEC 2ED020I12-F是驱动电流为 $\pm 1/-2$ A,能驱动75A、1200V以下来那个单元IGBT或MOSFET模块。EUPEC称之为CLT(Coreless Transformer)驱动IC,它把变压器的原边和付边集成在硅片上,没有磁芯。因此,EUPEC称之为无磁芯变压器技术即CLT技术。

2、 电流范围在50A-400A IGBT模块驱动电路

➤ 谏早(ISAHAYA)厚膜驱动电路

谏早电子(ISAHAYA)是三菱IGBT驱动电路的生产商,现已有三菱商标改为谏早商标生产。

M57959L或M57959AL-可驱动600V、200A或1200V、100A以下一单元IGBT,带短路保护,软关断。

M57962L或M57962AL-可驱动600V、400A或1200V、400A以下一单元IGBT,带短路保护,软关断。

该系列驱动电路,采用厚膜混合集成电路形式,带短路保护,需+15V和-15V双电源供电,性能价格比较优,可靠性高。“L”系列与“AL”系列的区别在于:“AL”系列引脚“2”有功能,在引脚“2”与“4”之间,外接电容 C_{trip} ,可调整保护动作时间,并可改成单电源供电。

➤ EUPEC驱动IC开展驱动功率

采用EUPEC 2ED020I12-F外接功率推挽放大可驱动更大功率IGBT模块,常采用npn MJD44H11与pnp MJD45H11晶体管对可把驱动电路扩展到8A;用npn MJD44H11与pnp MJD45H11晶体管可把电流扩展到15A。由于2ED020I12-F价格较低,并可驱动两单元IGBT模块,因此是低成本方案。

➤ 安捷伦HCPL-316J扩展驱动电流

安捷伦 (AGILENT) IGBT驱动光耦HCPL-316J可直接驱动150A、1200V以下IGBT模块，具有短路、欠压保护功能，并能实现软关断，是中、小功率IGBT模块性能价格比较高的驱动电路。由于它具有软关断功能，也适合于外接功率放大，驱动更大功率的IGBT模块。

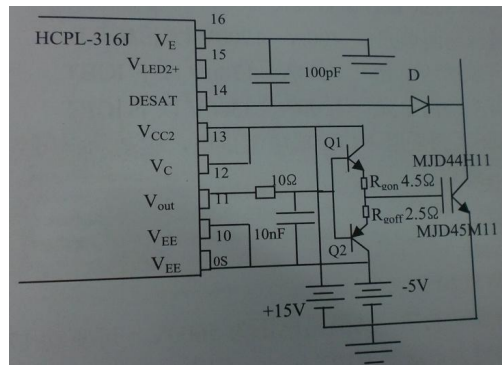


图 4 用 HCPL-316J 扩展驱动电流电路图

如图 4 所示:用HCPL-316J扩展驱动电路的电路图: Q1, Q2是一对nnp和pnu晶体管。MJD44H11和MJD45H11配对可把驱动电流扩展到8A; 若用D44VH10和45H10配对可把驱动电流扩展到15A。在 V_{out} 和 V_{EE} 之间加100欧姆电阻和10nF电容是为了IGBT慢关断而设置。二极管D的功能是传导正向电流，用于检测IGBT导通时的饱和压降 $V_{CE(sat)}$; 关断时，阻断主电路的高压。在IGBT关断期间: IGBT C-E之间通常有较高的 dv_{CE}/dt , 进而引起给C-E间脉冲电容充电的充电电流，为了避免由于充电电流引起的误触发，该二极管最好使用快恢复二极管，如ERA34-10或MUR1100E。短路保护的阈值 $V_{CE, fault(th)}$, 可通过比较器内设定的参考电压 V_{ref} (对316J, $V_{ref} = 7.0V$) 和带串联二极管数来设定。实际加在C-E间的饱和压降保护点电压 $V_{CE, fault(th)} =$

$V_{ref} - n * V_F$, 其中 V_{ref} 是比较器内设定的参考电压, n是串联二极管数; V_F 是二极管的正向通态压降。

3、 电流大于400A，电压小于1700V的IGBT驱动

➤ EUPEC 2ED300C17-S/ST

对于电流大于400A，电压小于1700V的IGBT模块驱动电路、或并联使用、或对开关频率有特殊需求的应用电路中可选用EUPEC 2ED300C17-S/ST, 他可驱动3600A、1700V以下两单元IGBT模块。

➤ 瑞士Concept公司Scale Driver系列

采用+15V单电源供电，驱动频率可到100KHZ以下，但不是软关断，驱动大功率时时弱点

➤ 安捷伦HCNW3120驱动光耦

安捷伦HCNW3120驱动光耦，其隔离电压为5000V，可驱动1700V以下一单元IGBT模块，外加功率放大可

驱动更大电流的IGBT模块。

四 功率电路设计与过压吸收

由于 IGBT 通常工作在高频开关状态，又是电压驱动型器件输入阻抗很高，因此，主电路电感引起的电压尖峰会通过 IGBT 的结间电容耦合到驱动控制回路，进而引起 IGBT 误动作，甚至损坏 IGBT 模块。另一方面，主电路电感引起的电压尖峰，严重时会使 IGBT 的电压超过 IGBT 的电压额定值，损坏 IGBT，因此，需要特别注意设计 IGBT 模块的主电路。减小功率电路的电感，设计好吸收回路以吸收 IGBT 的电压尖峰，这是高频电力电子线路与低频信号电子线路的主要区别。

1、 功率主电路的设计

在 IGBT 功率回路中，由于主电路电感 L_p 引起的浪涌电压 ΔV 的能量 $(1/2 L_p * I^2)$ 与工作电流 I 的平方成正比，因此大功率逆变回路更需要注意减少功率回路的电感。为了降低大功率回路母线电感，就需要特殊的母线结构，通常采用由交错镀铜层和绝缘层构成的迭层母线结构，正、负极板处于绝缘层的两面，并尽量在两面重叠。正、负宽平板就像吸收电容的作用，起到了减少功率回路寄生电感的作用，为了使母线电感量 L_p 尽量达到最小，宽平正负母线极版尽量靠近电解电容。

2、 吸收电路的设计

功率主回路的吸收电路是用来吸收 IGBT 关断浪涌电压和续流二极管 (F.W.D) 反向回复浪涌电压。在某些应用中，吸收电压还可以减少 IGBT 的开关损耗。通用的吸收电路的推荐方案是不可能做出的，因为吸收电路的类型和所需元器件值极大地取决于主电路的布局结构，杂散电感的值大小，逆变器的功率，工作频率等多变因素。最理想的情况是：如果主电路设计好，以至于杂散电感为零，那么就可以不用吸收电路，但这很难实现。因此，吸收电路是必要的且简单可行。特别是大功率，高频 IGBT 回路中，吸收电路的设计还比较重要

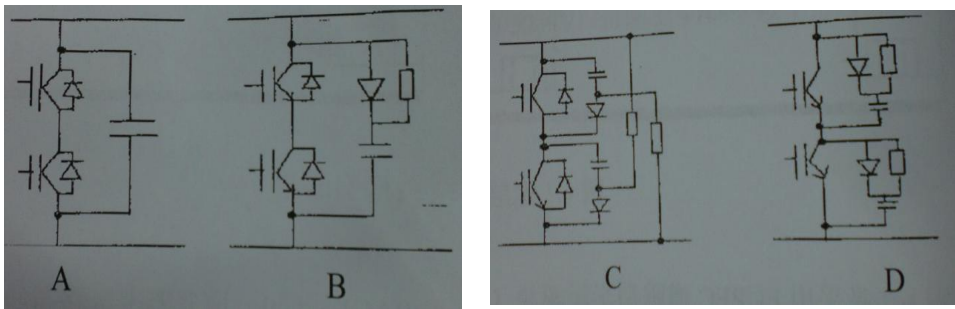


图 5 常用四种吸收电路

A: 适合于中小功率电路、低频、主电路布线较好的电路中，电容值 C 可取得比较大；

B: 适合于中等功率电路；

C: 适合于大功率电路，吸收效果好；

D: 适合于更大功率电路，吸收能力最强，电容的容量应选择比较小，否则电阻发热严重。

在设计大功率吸收电路时，吸收电路的布线也应当注意，最好设计在 PCB 板上，把 R、C、D 安装在其上，然后再安装在 IGBT 模块上，R、C 应尽量选择低电感，或无电感元件，二极管必须是快恢复二极管，采用多个 R、C 并联可降低吸收电路杂散电感。