

日期: 2005 年 12 月 15 日
AN 编号: AN-2006-01

第 1 页

部门: AIM PMD ID AE

利用单极栅电压驱动 IGBT

简介

英飞凌建议使用负栅电压来安全地关闭并阻断 IGBT 模块。在标称电流小于 100 A 的场合, 出于成本原因, 常常会忽略负栅电压。本文说明关于 IGBT 模块单极驱动的特殊考虑。

关闭至 0 V

英飞凌最新一代 IGBT 芯片具有多种优势。其中的一些突出亮点是更宽的动态范围、更快的开关速度、更少的开关损耗和更低的导通损耗。

切换至 0 V 时, 有两个效应可能会产生影响:

- 通过米勒电容发生寄生开启
- 通过杂散电感发生寄生开启

通过米勒电容开启

开启半桥中的下方 IGBT 时, 上方 IGBT/二极管上会发生 dv_{CE}/dt 的电压

变化。这就会引起一个位移电流 $i_{CG} = C_{CG} \frac{dv_{CE}}{dt}$ 流动, 对上方 IGBT 的寄生电容 C_{CG} 充电。

电容 C_{CG} 和 C_{GE} 形成一个容性分压器。图 1 显示了经由上方 IGBT 米勒电容的电流路径。

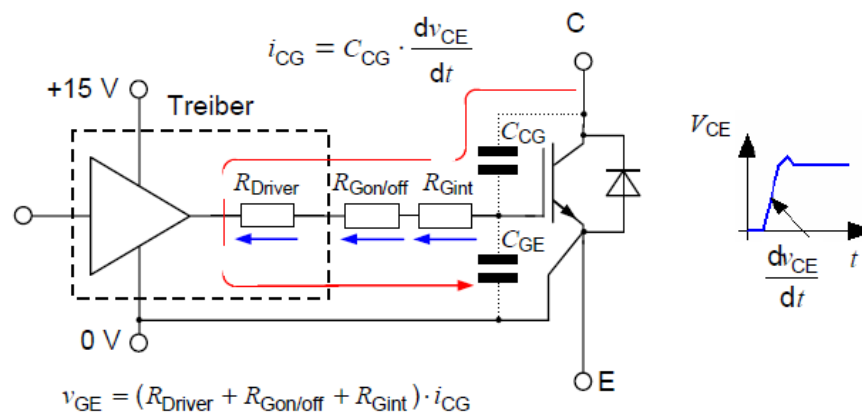


图 1: 经由上方 IGBT 米勒电容的电流

日期: 2005 年 12 月 15 日
AN 编号: AN-2006-01

第 2 页

部门: AIM PMD ID AE

电流 i_C 流经米勒电容、串联电阻、 C_{GE} 和直流母线。
如果栅极电阻上的压降超过 IGBT 的阈值电压，就会发生寄生开启情况。
随着芯片温度上升，阈值电压将以数 mV/K 的速率下降。
当上方 IGBT 切换时，会有一个电流流经下方 IGBT 的米勒电容，同样可能引起寄生开启。

通过杂散电感开启

关闭负载电流时，射极杂散电感上会感应产生一个电压 $v_{\sigma E2} = L_{\sigma E2} \frac{di_{C2}}{dt}$ 。

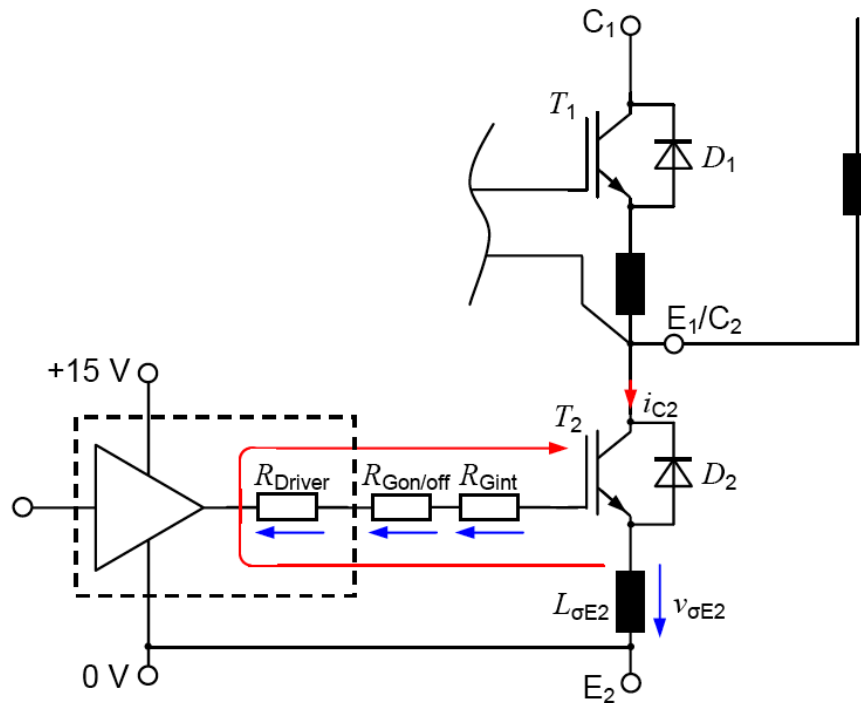


图 2: 射极电感上的感应电压

开启 IGBT T_1 时，主电流将从续流二极管 D_2 切换到 IGBT。二极管反向恢复衰变产生的 di_{C2}/dt 在 $L_{\sigma E2}$ 上感应产生一个电压，使 T_2 的射极电位变为负值。

如果通过高 di_C/dt 产生的感应电压高于 IGBT 的阈值电压，就会导致 T_2 寄生开启。

日期：2005 年 12 月 15 日
AN 编号：AN-2006-01

第 3 页

部门：AIM PMD ID AE

带共辅助射极的模块中的寄生开启

在多个 IGBT 的辅助射极连接与一个共射极连接合一的模块中，非常快速的切换可能会在射极杂散电感上感应产生一个电压。

图 3 所示为等效电路图：

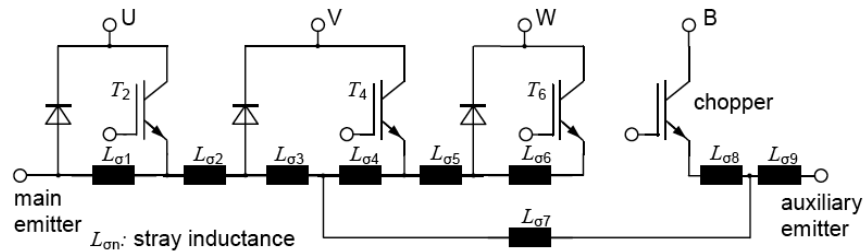


图 3：通过共射极电感发生寄生开启

模块中的寄生电感编号为 $L_{\sigma 1}$ 至 $L_{\sigma 9}$ 。开启 IGBT T_6 时， $L_{\sigma 2}$ 至 $L_{\sigma 3}$ 上产生一个感应电压，这会影响 T_2 。IGBT T_2 的射极电位因此而发生偏移，当该电压变化超过阈值电压时，就会导致 IGBT T_2 寄生开启。

寄生开关的证明

为了证明寄生开启，需要在模块的桥臂中插入一个电流传感器。进行两次测量可获得确凿的证据。

1. 向下方 IGBT 发送双脉冲，同时用负电压阻断上方 IGBT。
2. 向下方 IGBT 发送双脉冲，同时按照本应用说明稍后所述，关断上方 IGBT。

建议用不同的电流进行两次测量，电流介于 $\frac{1}{10} \cdot I_{Cnom}$ 和 $2 \cdot I_{Cnom}$ 之间。

日期：2005年12月15日
AN 编号：AN-2006-01

第 4 页
部门：AIM PMD ID AE

当两条电流曲线差别很大时，即已证明寄生开启。这里需要特别注意的是较高的电流峰值、较宽的反向电流峰值和/或额外的电流脉冲。抑制意外开通的方法详见“建议措施”部分所述。

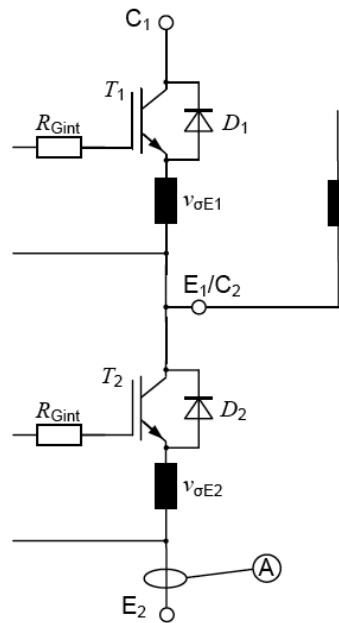


图 4：带电流传感器的桥臂

在采用螺丝端子电源连接的应用中，常常可以使用罗氏线圈进行测量。但是，多数情况下无法直接在一个臂中测量。在较小模块中，负载电流常常通过焊接管脚引入 PCB。这里建议在直流母线中测量，例如使用罗氏线圈或电流取样电阻。

日期：2005 年 12 月 15 日
AN 编号：AN-2006-01

第 5 页
部门：AIM PMD ID AE

建议措施

改变栅极电阻

开启过程中的电压变化 $-dv_{CE}/dt$ 和电流变化 di_C/dt ，可通过改变栅极电阻 R_{Gon} 来施加影响。提高栅极电阻可减小电压和电流变化。IGBT 开关速度会变慢；另请参见表 1。

降低 R_{Goff} 值可消除容性寄生开启。然而，感性寄生开启则要通过提高 R_{Goff} 值来防止。

利用单独的栅极电阻实现非要害开启和关闭

许多应用中，若开启电阻和关闭电阻使用不同的电阻，则可实现非临界开关特性。

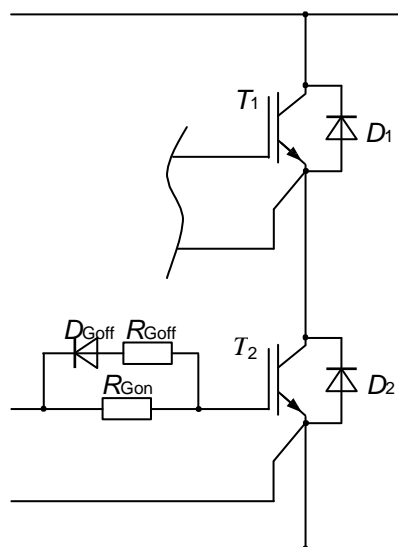


图 5：单独的开启电阻和关闭电阻

选择 $R_{Goff} < R_{Gon}$ 可防止通过米勒电容发生容性开启；参见“通过米勒电容开启”部分。

增加栅射电容以分流米勒电流

在栅极和射极之间增加一个电容 C_G 可影响开关行为。该电容可吸收源自米勒电容的额外电荷。由于 IGBT 的总输入电容为 $C_G \parallel C_{GE}$ ，因此达到阈值电压所需的栅极电荷会提高。

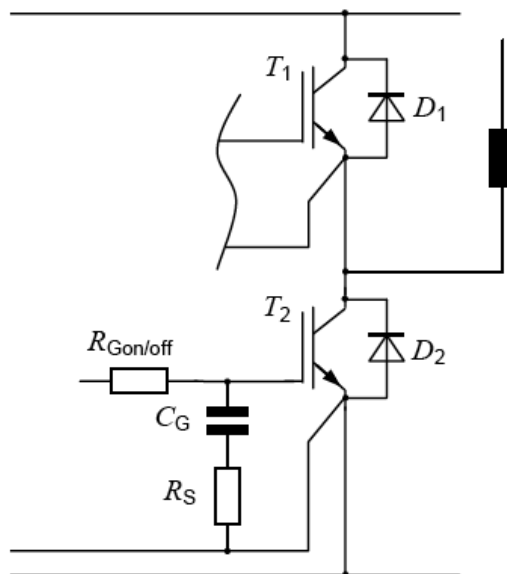


图 6: 栅极和射极之间增加一个电容

在 IGBT 模块无内置栅极电阻的应用中，建议增加一个电阻 R_S 并将其与该电容串联，以防止振荡。 R_S 的推荐值为： $R_S \approx \frac{1}{20} \cdot R_{Gon/off}$ 。这些值得自于经验。

外加电容的推荐值同样得自于经验，计算如下：

$$C_G \approx \frac{Q_{ge}}{3 \cdot 30V}$$

由于增加了电容，所需的驱动功率会提高，IGBT 的开关损耗也会提高，具体取决于如何更改 $R_{Gon/off}$ 。

日期: 2005 年 12 月 15 日
AN 编号: AN-2006-01

第 7 页
部门: AIM PMD ID AE

利用晶体管分流米勒电流（有源米勒箝位）

防止意外开通的另一个措施是短接栅极至射极路径。

这可以通过在栅极与射极之间增加一个三极管来实现。

只要驱动器在其输出端显示一个 0V 信号，此“开关”就会在一定的时间延迟后短接栅射区。肖特基二极管防止来自米勒电容的电流经由栅极电阻返回。

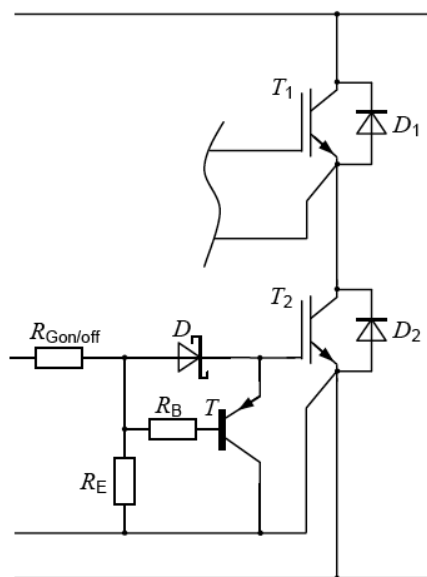


图 7: 附加三极管的可能设置

米勒电容上出现的电流由三极管以受控方式分流。这可以保证安全开关。

结论

表 1 总结了上面讨论的各种措施，并给出了其优缺点。 R_{Gon} 用于开启 IGBT； R_{Goff} 用于阻断和关闭 IGBT。

$R_{Gon/off}$ 时开启和关闭 IGBT 通用的电阻。

日期: 2005 年 12 月 15 日
AN 编号: AN-2006-01

第 8 页
部门: AIM PMD ID AE

影响 \ 措施	开启由于米勒电容	开启由于杂散电感	开关损耗
降低 $R_{Gon/off}$	+	-	↓
提高 $R_{Gon/off}$	-	+	↑
附加 C_G	+	-	↑
降低 R_{Goff}	+	0	↓
降低 R_{Gon}	-	-	↓
提高 R_{Goff}	-	+	↑
提高 R_{Gon}	+	+	↑
附加三极管	++	-	↓

表 1: 不同措施的效果

++: 效果非常好

+: 有所改善

-: 恶化

0: 无变化

↑: 提高

↓: 降低