

第5章 使用时的注意事项

1. 最大结温 T_{vjmax}	5-2
2. 短路保护	5-2
3. 过电压保护和安全工作区域	5-2
4. 动作条件和死区时间设定	5-7
5. 并列连接	5-8
6. 静电放电措施与门极保护	5-9
7. ESD导电海绵	5-10

本章将对IGBT模块实际使用时的注意事项进行说明。

1. 最大结温 T_{vjmax}

如规格书所述，本车载IGBT模块可在 $T_{vj}=175^{\circ}\text{C}$ 以下使用。但是，如果动作时的结温超过最大结温，则会加速产品的热疲劳，造成缩短产品寿命的可能性。因此，请在确保安全动作的适当动作条件下使用产品。

2. 短路保护

IGBT在短路状态时，集电极电流增大、 V_{CE} 电压急剧升高。根据该特性，集电极电流将被控制在规定值以下。但是由于IGBT处于瞬时高电压、大电流的状态，因此需在最短的时间内摆脱该状态。关于采用了内置短路保护功能的栅极驱动IC的保护电路示例，请参考第7章。

如第1章所述，本IGBT模块内置有集成芯片电流检测传感器，关于该功能和特性，请参考第8章。请充分利用此集成芯片传感器，以有效发挥短路保护功能。

另一方面，本IGBT模块不包括各桥臂的集电极电压检测点，因此不饱和型短路保护方法可能导致意想不到的问题，因此请勿采用。

3. 过电压保护和安全工作区域

3.1 过电压保护

由于IGBT的开关速度非常快，因此关断动作时或反向恢复时发生高 di/dt ，或模块内部和外部存在的电感成分产生浪涌电压。如果该浪涌电压高于元件的击穿电压，则元件处于过电压状态，甚至可能损坏。为了防止这些元件损坏，采取以下措施。

- 1) 增加缓冲电路
- 2) 调整栅极电阻
- 3) 降低主电路内配线的电感

图5-1所示为关断波形和反向恢复波形以及此时的浪涌电压示意图。

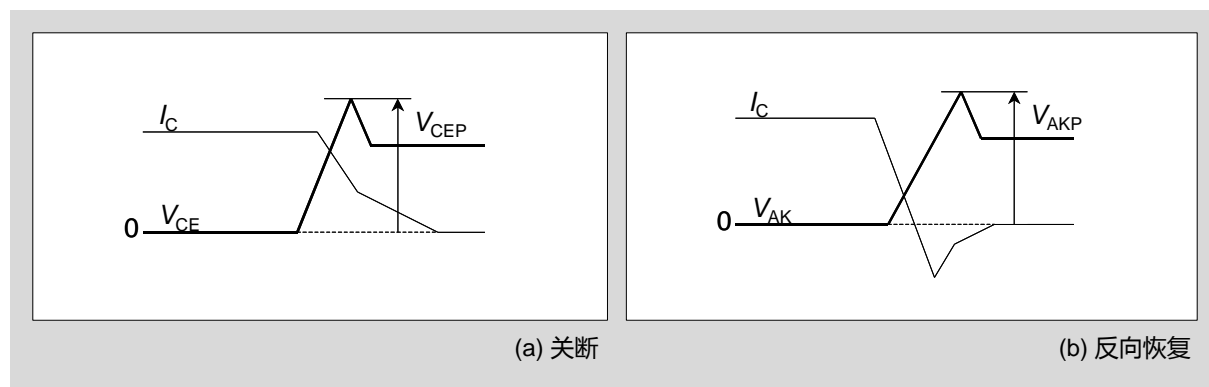


图5-1 关断波形、反向恢复波形和浪涌电压

6MBI800XV-075V实际的浪涌电压测量结果如下所示。

IGBT浪涌电压的集电极电流依存性示例如图5-2所示。通常，伴随着集电极电流增大，关断时的浪涌电压也会增大。另一方面，FWD反向恢复时的浪涌电压会随着集电极电流的增大而降低。

反向恢复浪涌电压的栅极电阻依存性示例如图5-3所示。如上所述IGBT模块产生的浪涌电压不仅受到电路内电感成分的影响，还受到如栅极电阻等零件常数和 V_{CC} 等动作条件的影响。因此，在实际装置中使用IGBT模块时，在变频器等实际系统中，需确认所有动作条件下的浪涌电压在RBSOA以内。如果浪涌电压超出RBSOA的保证范围，则应通过追加缓冲电路、减少杂散电感、调整栅极电阻等降低浪涌电压。另外，通过栅极电阻降低浪涌电压时，可能需要分别调整开通时和关断时的栅极电阻以找到最佳动作条件。

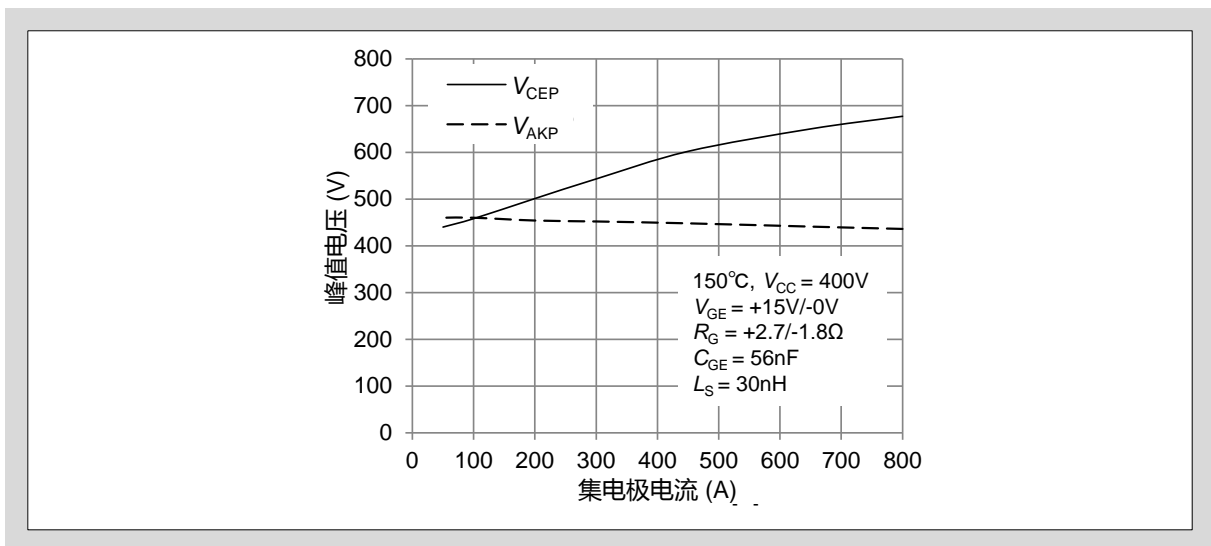


图5-2 浪涌电压的集电极电流依存性示例

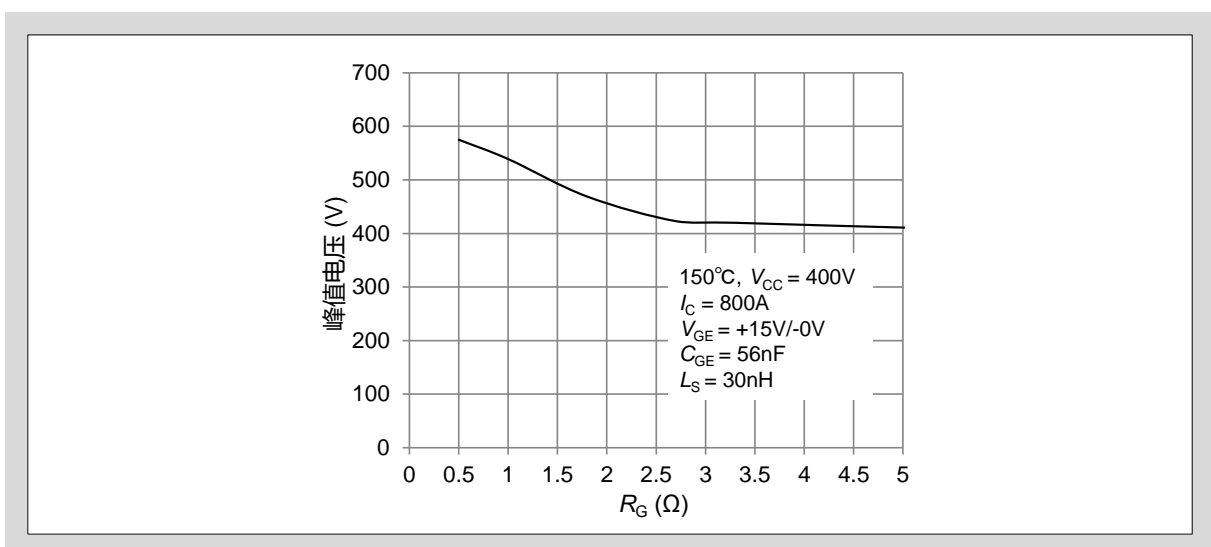


图5-3 浪涌电压的栅极电阻依存性示例

3.2 关断时浪涌电压栅极电阻依存性

关于过电压保护，关断时浪涌电压的栅极电阻依存性示例如图5-4所示。

通常，增大栅极电阻可以有效抑制浪涌电压。但是，因IGBT的代数不同，其浪涌电压特性也不同，因此调整栅极电阻时需充分确认实际的装置状况。

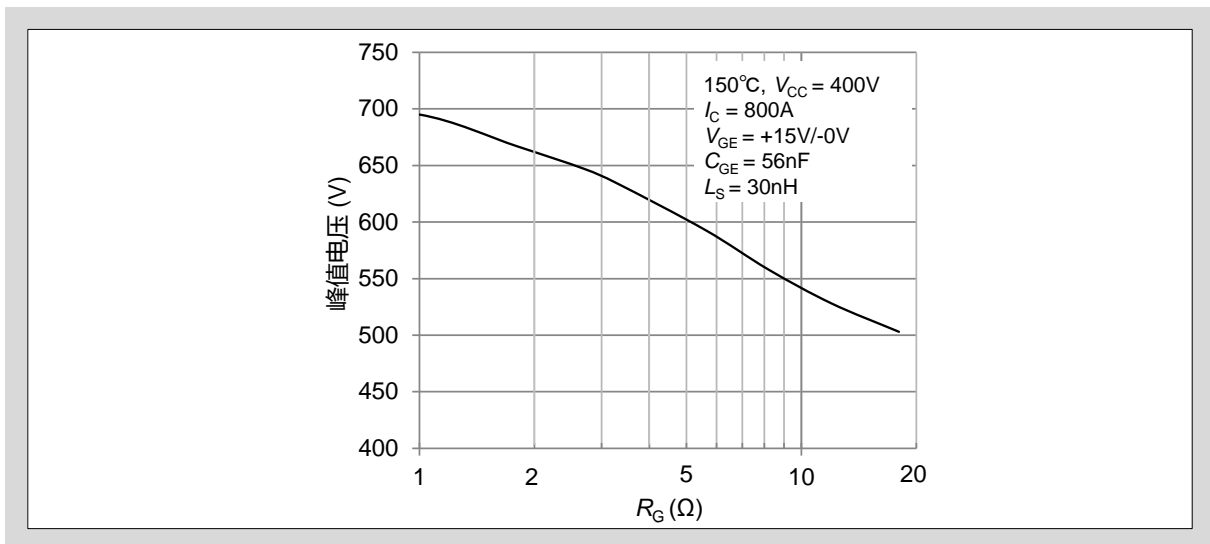


图5-4 关断时浪涌电压的栅极电阻依存性示例

3.3 FWD的安全工作区域(SOA)

与IGBT的RBSOA相同，对FWD的SOA定义进行说明。通过反向恢复动作时的施加电压和反向恢复电流乘积的最大功率(P_{max})确定的区域定义二极管的SOA。因此，设计电路时，应将反向恢复时的电压和电流的动作轨迹设计在该SOA范围内。

MBI800XV-075V的FWD的SOA示例如图5-5所示。

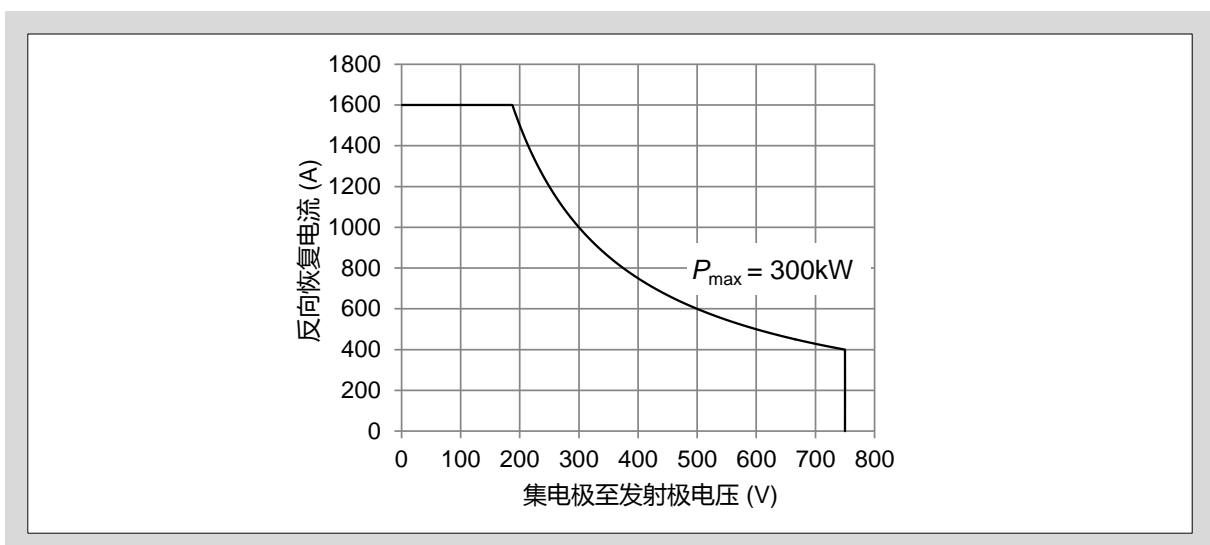


图5-5 FWD的SOA示例

3.4 动态雪崩现象

如上一项所述，关断动作时发生 V_{CE} 增加的现象。并且，当该 V_{CE} 电压超过某一电压后， V_{CE} 电压升高被抑制并维持高位一段时间。这种现象的典型代表示例如图5-6所示。

这种现象被称为动态雪崩现象，在本现象中降低关断电流可以抑制 V_{CE} 的峰值电压，但是也可能因关断损耗增加和门锁效应造成IGBT损坏。实际使用时，应注意动作条件和主电路的配线长度等，并在RBSOA条件范围内使用，以免出现动态雪崩现象。

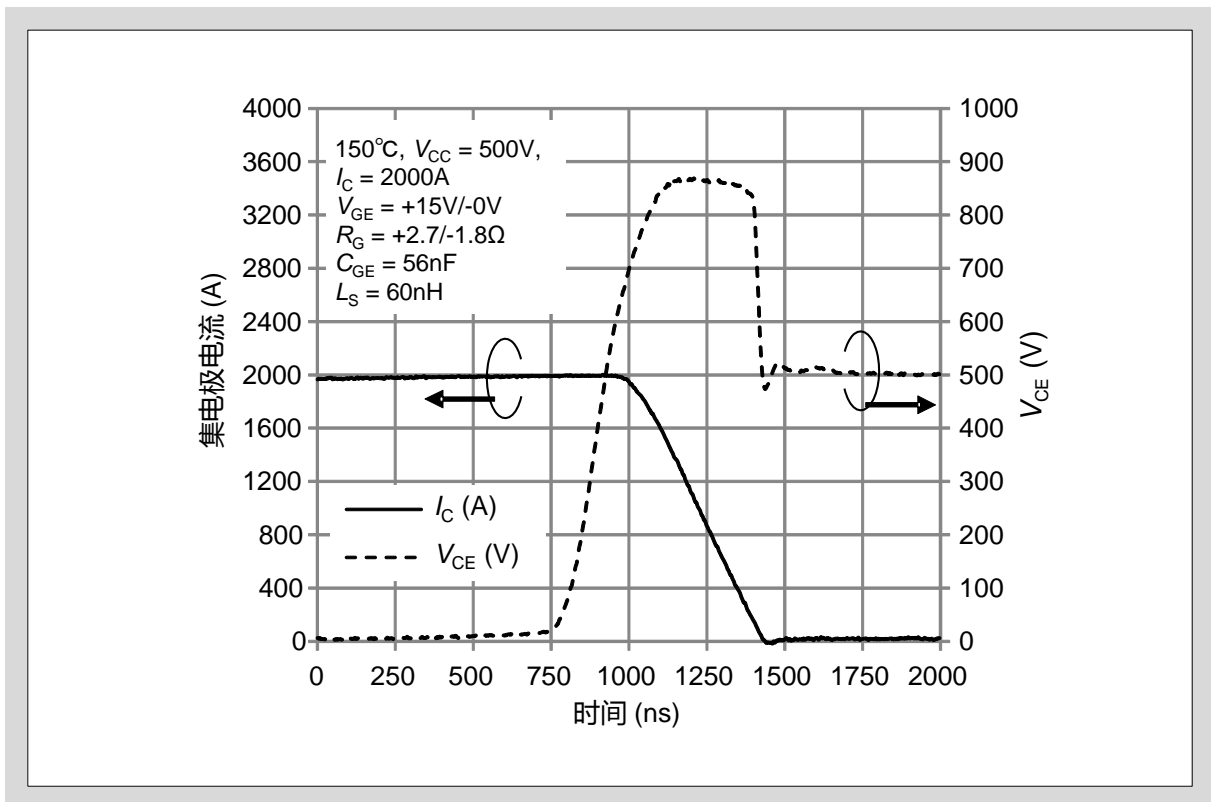


图5-6 动态雪崩波形示例

3.5 浪涌电压抑制电路 - 钳位电路示例 -

一般情况下，可以通过减少主电路寄生电感和设置缓冲电路来抑制集电极-发射极间的浪涌电压。但是根据装置的运转条件等情况，也可能出现浪涌电压抑制困难的情况。在这种情况下可以使用钳位电路，它是浪涌电压抑制措施之一。

图5-7显示了钳位电路的一个实例。

在集电极-发射极间增加稳压二极管的同时，在该稳压二极管的反方向串联二极管，这一连接方式为基本的钳位电路结果。该电路中，当集电极-发射极间的电压超过稳压二极管的击穿电压时，稳压二极管被击穿，集电极-发射极间的电压峰值与稳压二极管的击穿电压大致相等。因此通过设置钳位电路，可以有效地抑制浪涌电压。另一方面，稳压二极管被击穿后电流开始流过IGBT门极，关断时的电流变化率 di/dt 比增加钳位电路前变得更加平缓，关断时间延长（参照图5-8）。因此为避免损耗增大，请在进行各种设计验证之后再使用钳位电路。

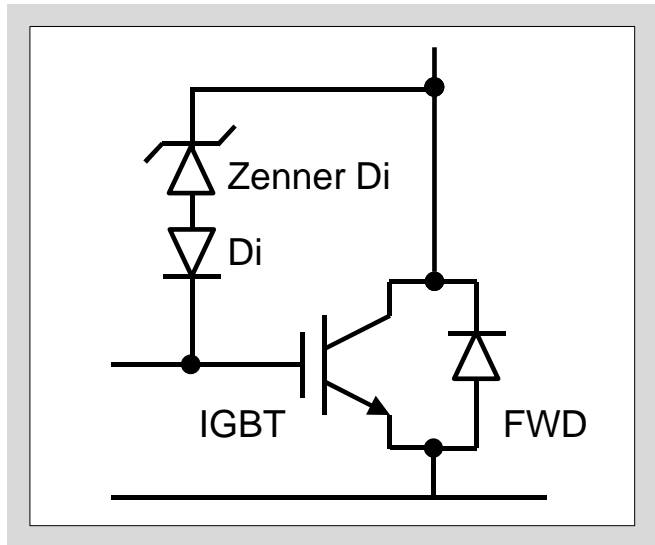


Fig. 5-7 钳位电路

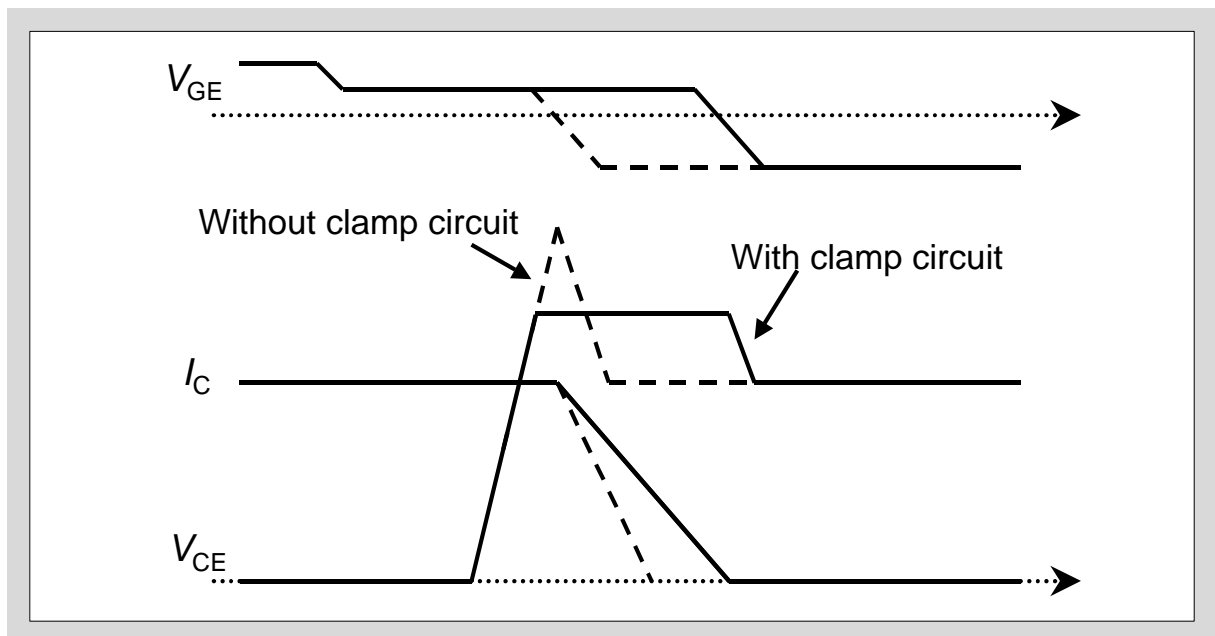


Fig. 5-8 钳位电路应用时的波形图

4. 动作条件和死区时间设定

由于IGBT的主要特性依赖 V_{GE} 和 R_G 等驱动条件，因此需根据设计的目标值，正确的设定这些条件，此处对栅极偏压条件和死区时间设定进行说明。

4.1 栅极正向偏压： $+V_{GE}$ （ON期间）

$+V_{GE}$ 设计时的注意事项如下所示。

- (1) 将 $+V_{GE}$ 设计在G-E间最大额定电压+20V以内。
- (2) 建议电源电压的变动在 $\pm 10\%$ 以内。
- (3) ON期间C-E间的饱和电压($V_{CE(sat)}$)根据 $+V_{GE}$ 发生变化， $+V_{GE}$ 越高饱和电压越低。
- (4) $+V_{GE}$ 越高开通开关时的时间和损耗越小。
- (5) $+V_{GE}$ 越高开通时（FWD反向恢复）越容易产生对相桥臂的浪涌电压。
- (6) 即使在OFF期间，IGBT也可能因FWD反向恢复时的 dv/dt 产生误动作，脉冲形状的短路电流流动造成过度散热，更严重时可能损坏。这一现象被称为 dv/dt 误触发， $+V_{GE}$ 越高越容易出现这种现象。
- (7) $+V_{GE}$ 越高短路耐量越小。

4.2 栅极反向偏压： $-V_{GE}$ （OFF期间）

$-V_{GE}$ 设计时的注意事项如下所示。

- (1) 将 $-V_{GE}$ 设计在G-E间最大额定电压-20V以内。
- (2) 建议电源电压的变动在 $\pm 10\%$ 以内。
- (3) IGBT的关断特性，尤其是集电极电流关断开始部分的特性，对 $-V_{GE}$ 的依存性极强， $-V_{GE}$ 越大关断时的开关时间和损耗越小。
- (4) $-V_{GE}$ 较小时可能产生 dv/dt 误触发，因此，至少将其设定在-5V以下。栅极配线较长时应特别注意。

4.3 避免反向恢复时的 dv/dt 造成的误触发

本节将对避免因FWD反向恢复时产生的 dv/dt 造成IGBT误触发甚至损坏的方法进行说明。

反向恢复时发生 dv/dt 时产生的误触发的原因如图5-9所示。在本图中，IGBT₁侧由OFF状态变为ON状态，IGBT₂的栅极-发射极电压 V_{GE} 为反向偏压状态。此处IGBT₁由OFF状态变为ON状态后，该对向桥臂的FWD也就是FWD₂反向恢复。与此同时，由于处于OFF状态的IGBT₂和FWD₂电位升高，根据IGBT₁的开关时间产生了 dv/dt 。由于IGBT_{1,2}有各自的反馈电容 C_{GC} ，因此，通过该 C_{GC} 产生电流 $I = C_{GC} \times dv/dt$ 。

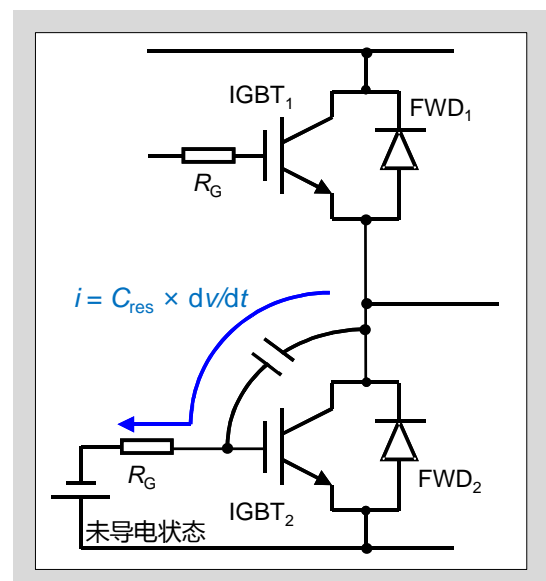


图5-9 dv/dt 发生时的误触发原理

该电流通过栅极电阻 R_G 使得栅极电位升高,结果产生栅极-发射极之间的电压 V_{GE} 。如果该 V_{GE} 超过 $IGBT_2$ 的反向偏压和阈值电压 $V_{GE(th)}$ 的电压之和,那么 $IGBT_2$ 将出现误触发(ON),进而导致 $IGBT_1$ 和 $IGBT_2$ 均为ON,进入短路状态。

根据该原理,作为避免IGBT误触发的方法,可以采用栅极-发射极之间的附加容量成分 C_{GE} 的方法,增大 V_{GE} 的方法,增大栅极电阻 R_G 的方法。这些对应措施的效果因所用的栅极电路而异,因此请充分确认后再使用。另外,由于也会影响开关损耗,因此,请一并确认。

4.4 死区时间的设定

在变频器电路等中,为了防止上下桥臂的短路,需在ON/OFF切换时间中设定死区时间,并且在死区时间中上下桥臂均处于“OFF”状态。如图5-10所示,基本上需要设定的死区时间比IGBT的开关时间($t_{off\ max.}$)长,例如 R_G 增加则开关时间也会延长,因此,也需要延长死区时间。另外,也需要考虑其他的驱动条件和温度特性等。

死区时间较短时,上下桥臂发生短路,可能因短路电流导致过热损坏元件,因此,实际使用时应充分确认实际情况后进行设定。

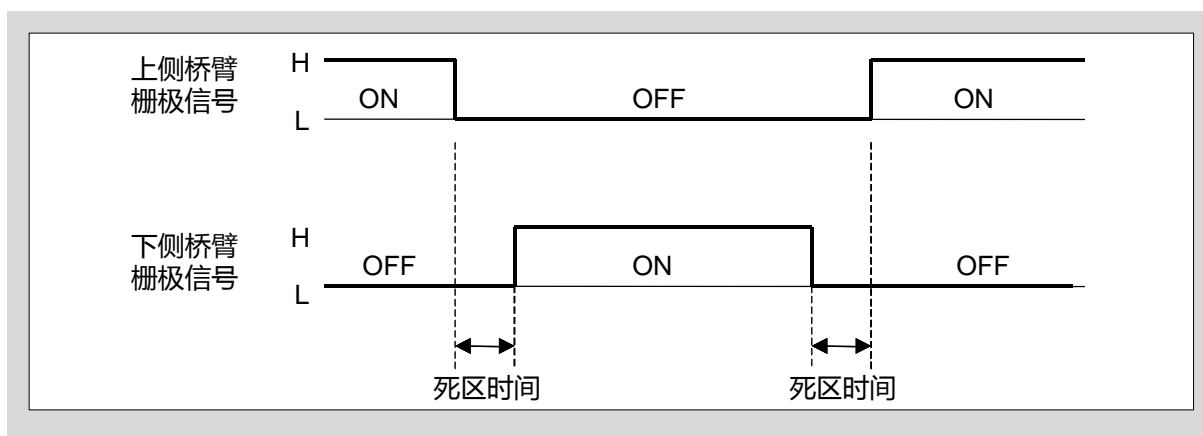


图5-10 死区时间的时间图

5. 并列连接

在大功率变频器中为了控制大电流,常常把IGBT模块并联使用。元件并列连接的情况下,让各并联模块流均等电流的设计是非常重要的,如果电流不均衡的情况发生,可能会导致因其中某个元件流过电流集中而导致损坏。并联时的电流均衡会因元件的特性及接线方式而发生变化,比如,元件的 $V_{CE(sat)}$ 进行匹配,主电路的接线均等化等等的管理和设计是必要的。

另外,如果有附带水套的散热器的情况,需要严格遵守各水套内的水温,流量,压力等的规格。

关于这点,第10章「IGBT模块的并列连接」中记载了详细注意点,请进行参考。

6. 静电放电措施与门极保护

IGBT模块的 V_{GE} 保证值通常最大为 $\pm 20V$ (保证值记载在规格书中, 请确认)。在IGBT的G-E之间施加超过保证值(V_{GES})的电压时, 有可能导致IGBT栅极损坏。因此, 请注意不要在G-E之间施加超过保证值的电压。特别是IGBT的栅极和温度传感器二极管等控制端子承受静电等的能力较弱, 在使用本品时请注意以下事项。

- 1) 开封后, 操作使用模块时, 先需要让人体和衣服上所带的静电通过高电阻 (1M Ω 左右) 接地线放电, 然后在接地的导电性垫板上进行操作模块。
- 2) 开封后, 因为尚未对IGBT模块实施防静电措施, 因此在使用时请拿取模块的封装外壳, 不要直接触摸端子 (特别是控制端子) 部分。
- 3) 如需对IGBT端子进行焊接作业, 请以足够小的电阻使烙铁前端等接地, 以免因烙铁、焊槽漏电产生的静电施加至IGBT。

另外, 若栅极-发射极之间为开放状态时, 在集电极-发射极之间施加电压, 有可能导致IGBT损坏。这是由于集电极的电位发生变化, 如图5-11所示引起电流 (i) 流过, 栅极电位上升, IGBT开通, 电流流过集电极, 该集电极电流可能导致IGBT发热并受损。

把产品安装在装置中时, 在栅极电路发生故障或栅极电路非正常运行的状态 (栅极开路状态) 下, 若对主电路施加电压, 会由于以上原因使IGBT损坏。为防止这种损坏的发生, 建议在栅极 - 发射极之间连接10k Ω 左右的电阻 (R_{GE})。

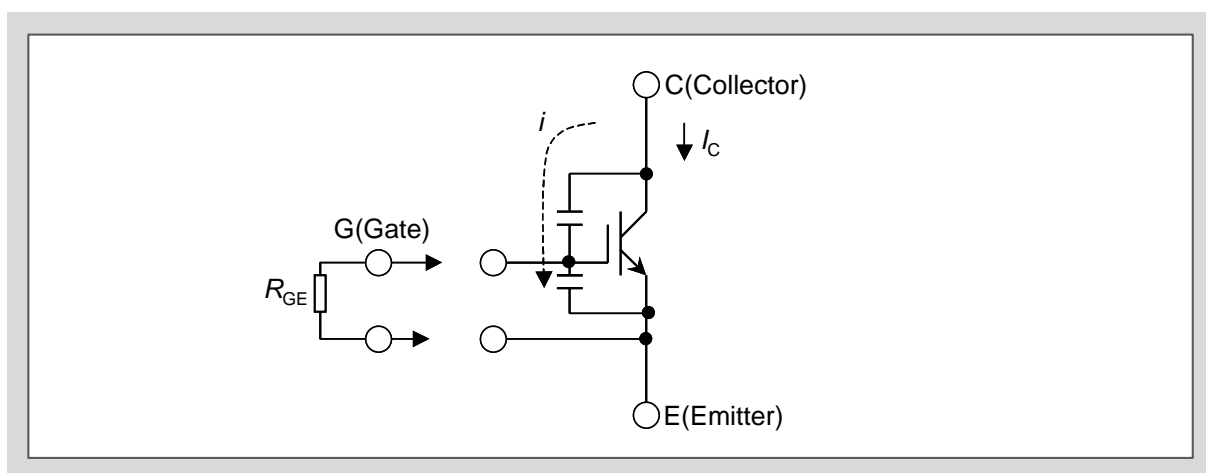


图5-11 G-E之间处于开路状态下IGBT的动作

7. ESD导电海绵

将产品开封并拆除导电海绵后，如果使用产品是接触控制端子，有可能导致静电损坏。将本产品安装在设备中时，为防止静电损坏，请在安装PCB前拆除导电海绵。（参考以下作业流程）

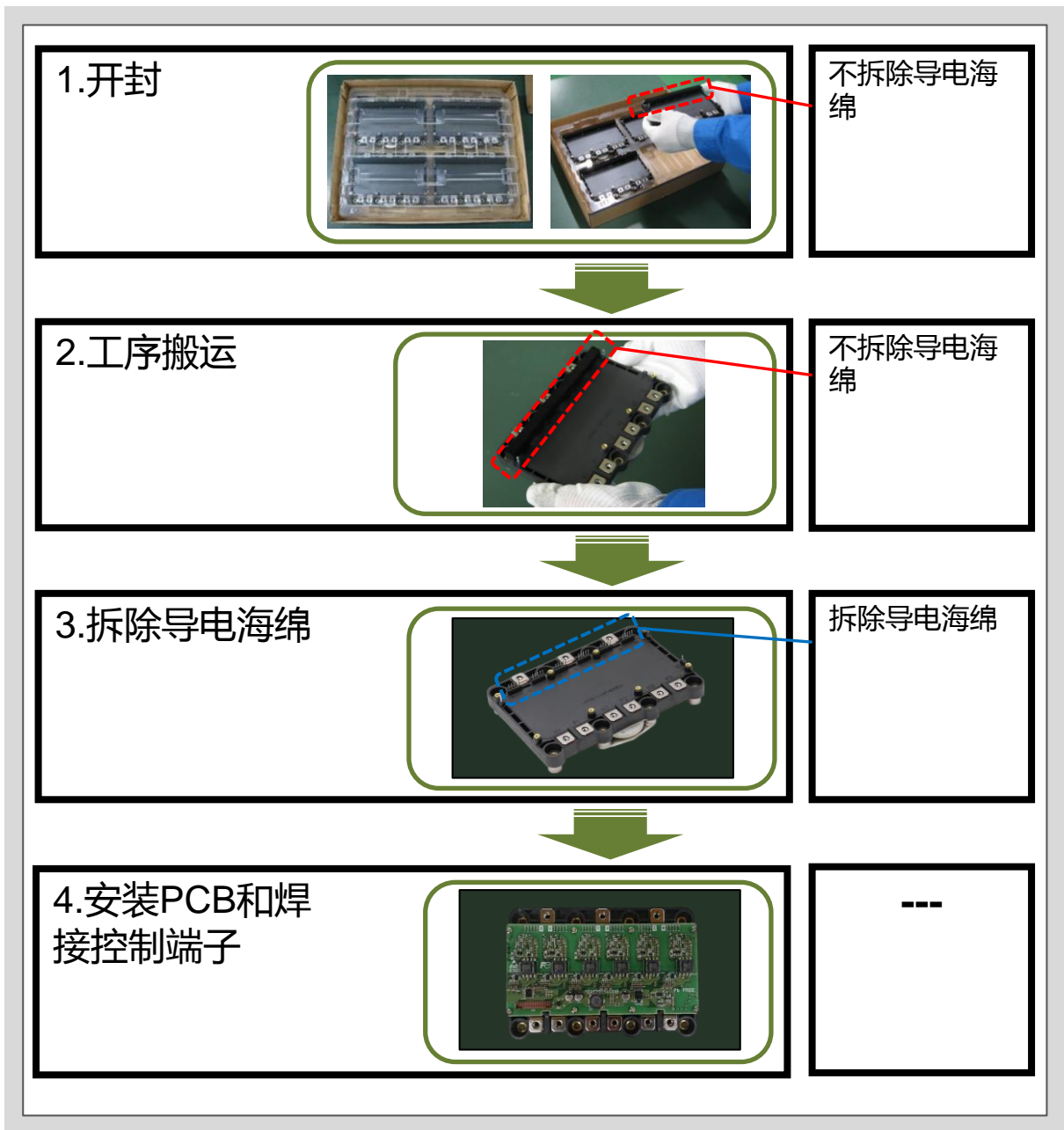


图5-12 ESD导电海绵的拆除