
第 7 章

门极驱动电路设计方法

目 录

1. 驱动条件和主要特性的关系.....	7-2
2. 关于驱动电流	7-3
3. 空载时间的设定.....	7-5
4. 驱动电路的具体实例	7-6
5. 驱动电路设计、实际安装的注意事项	7-7

本章中对 IGBT 的门极驱动电路的设计手法进行说明。

1 驱动条件和主要特性的关系

表 7-1 表述了 IGBT 的驱动条件与主要特性的关系。由于 IGBT 的主要特性是随 V_{GE} 、 R_G 变化的，需要配合装置的设计目标进行设定。

表 7-1 IGBT 的驱动条件与主要特性

主要特性	+ V_{GE} 上升	- V_{GE} 上升	R_G 上升
$V_{CE(sat)}$	减小	—	—
t_{on} E_{on}	减小	—	增加
t_{off} E_{off}	—	减小	增加
开通浪涌电压	增加	—	减小
关断浪涌电压	—	增加	减小
dv/dt 误触发	增加	减小	减小
电流限制值	增加	—	减小
短路最大耐受量	降低	—	增加(减小)* ¹
放射杂波	增加	—	减小

*¹: 在 N 系列 IGBT 中内置有过电流限制电路。这种情况下，对于 R_G 的上升，短路最大耐受量也增加。

1.1 门极正偏压电压：+ V_{GE} （导通期间）

门极正偏压电压+ V_{GE} 的推荐值为+15V，下面说明+ V_{GE} 设计时应注意的事项。

- (1) 请将+ V_{GE} 设计在 G-E 间最大额定电压 $V_{GES}=\pm 20V \text{ max.}$ 的范围内。
- (2) 电源电压的变动推荐在 $\pm 10\%$ 范围内。
- (3) 导通期间的 C-E 间饱和电压 ($V_{CE(sat)}$) 随+ V_{GE} 变化，+ V_{GE} 越高饱和电压越低。
- (4) + V_{GE} 越高，开通交换时的时间和损耗越小。
- (5) + V_{GE} 越高，开通时（FWD 反向恢复时）的对置支路越容易产生浪涌电压。
- (6) 即使是在 IGBT 断开的时段内，由于 FWD 的反向恢复时的 dv/dt 会发生误动作，形成脉冲状的集电极电流，从而产生不必要的发热。这种现象被称为 dv/dt 误触发，+ V_{GE} 越高越容易发生。
- (7) 在 U 系列的 IGBT 的情况下，+ V_{GE} 越高，短路电流值越高。
- (8) + V_{GE} 越高，短路最大耐受量越小。

1.2 门极反偏压电压：- V_{GE} （阻断期间）

门极反偏压电压- V_{GE} 的推荐值为-5V 到-15V。下面说明- V_{GE} 设计时应注意的事项。

- (1) 请将 V_{GE} 设计在 G-E 间最大额定电压 $V_{GES}=\pm 20V \text{ max.}$ 的范围内。
- (2) 电源电压的变动推荐在 $\pm 10\%$ 范围内。
- (3) IGBT 的关断特性依存于- V_{GE} ，特别是集电极电流开始关断部分的特性在很大程度上依存于- V_{GE} 。因此，- V_{GE} 越大，关断交换时的时间和损耗越小。

- (4) dv/dt 误触发在 $-V_{GE}$ 小的情况下也有发生，所以至少要设定在 $-5V$ 以上。尤其是门极配线长的情况下要注意。

1.3 门极电阻： R_G

门极电阻 R_G 的数值，在说明书中用测定交换特性时的标准门极电阻值表示。请将该值当做门极电阻 R_G 的大致标准。以下说明 R_G 设计时应注意的事项。

- (1) 交换特性在开通和关断时均依存于 R_G ， R_G 越大，交换时间和交换损耗就越大，但交换时的浪涌电压变小。
- (2) dv/dt 误触发在 R_G 较大时变得不太容易发生。
- (3) 虽然 N 系列的 IGBT 的 R_G 越大，短路最大耐受量会增加，但由于电流限制值减少，因此，必须注意将装置的过电流跳闸水平设定在该限制值以下。当 R_G 为标准门极电阻值 ($T_j=25^\circ\text{C}$) 时，电流限制最小值为额定电流值的 2 倍左右。

请在注意以上依存性的前提下，选定最适合的门极驱动条件。

2 关于驱动电流

IGBT 具有 MOS 门极构造，在交换时为了对该门极进行充放电，需要门极电流（驱动电流）从中流过。图 7-1 表示门极充电电荷量的特性。门极充电电荷量特性表示驱动 IGBT 所必要的电荷量，在计算平均驱动电流和驱动电力时使用。图 7-2 表示驱动电路的原理图和电压电流波形。驱动电路的原理是通过开关 S1、S2 交替转换正偏压电源和反偏压电源，转换时对门极充放电的电流为驱动电流，图 7-2 中以电流波形所表示的面积（斜线部分）与图 7-1 中的充放电电荷量相等。

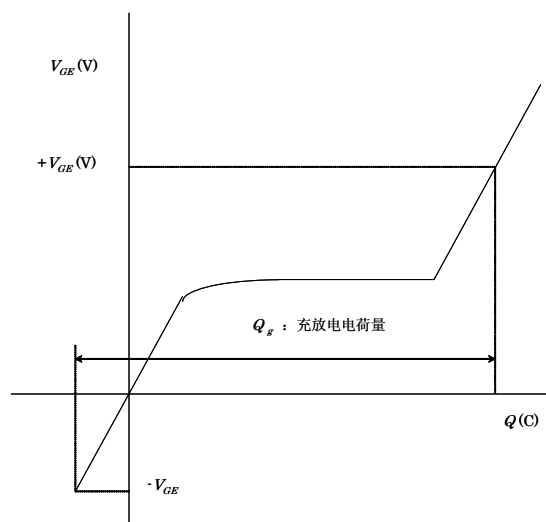


图 7-1 门极充电电荷量特性（动态输入特性）

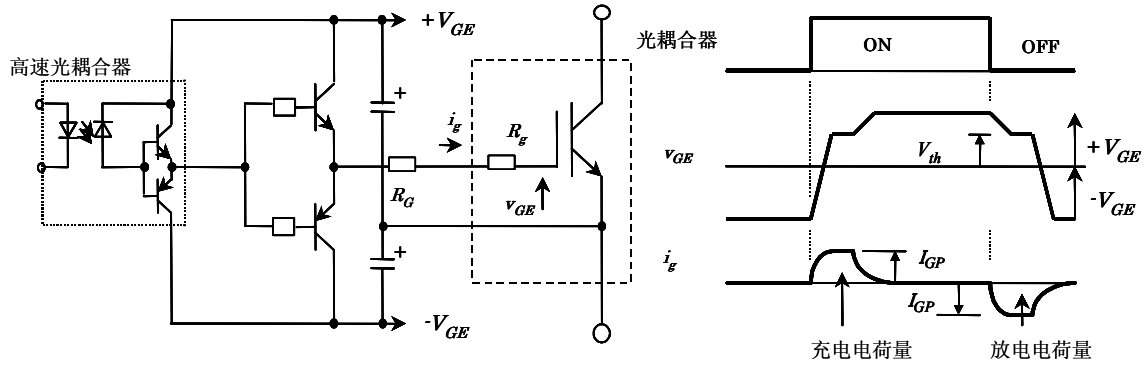


图 7-2 驱动电路原理图以及电压电流波形

驱动电流的峰值 I_{GP} 可由以下近似式求取。

$$I_{GP} = \frac{+V_{GE} + |-V_{GE}|}{R_G + R_g}$$

$+V_{GE}$: 正偏压电源电压

$-V_{GE}$: 反偏压电源电压

R_G : 驱动电路的门极电阻

R_g : 模块内部的门极电阻

表 7-2 所示为 U 系列 IGBT 模块内部门极电阻的一例。

表 7-2 U 系列 IGBT 模块内部的门极电阻值

元件耐压(V)	电流额定值(V)	内部门极电阻值 R_g (Ω)
600V	~200A	0 (无)
	300A、400A	2.5
	600A	1.7
1200V	~50A	0 (无)
	75A ~ 150A	5
	150A ~ 300A	2.5
	225A ~ 450A	2 个一组 1.7
	600A、800A	0.63

从门极充电电荷量的特性（在说明书中分别以各种型号记载）的 0V 开始上升部分的斜度大体上与输入电容 C_{ies} 等效，而反偏压领域可以作为这个部分的延长考虑。因此，驱动电流的平均值 I_G ，如图 7-1 所示，可利用门极充电电荷量特性作下述计算。

$$+I_G = -I_G = fc \times (Q_g + C_{ies} \times |-V_{GE}|)$$

fc : 载流子频率

Q_g : 从 0V 到 $+V_{GE}$ 为止的充电电荷量

C_{ies} : IGBT 的输入电容

因此，设计时要保证驱动电路的输出段上能流过由这些近似式计算得出的电流 I_{GP} 以及 $\pm I_G$ 。

另外，如驱动电路的发生损耗均由门极电阻予以消耗，为了驱动 IGBT 所需要的驱动电力 P_d 可由下式表示。

$$Pd(on) = fc \cdot \left(\frac{1}{2} Q_g |V_{GE}| + \frac{1}{2} C_{ies} |V_{GE}|^2 \right)$$

$$Pd(off) = Pd(on)$$

$$Pd = Pd(off) + Pd(on)$$

$$= fc \cdot \left(Q_g |V_{GE}| + C_{ies} |V_{GE}|^2 \right)$$

因此，需要根据该近似公式计算出发生损耗，并选择能容许该发生损耗的门极电阻。

请根据上述内容，设计能够提供驱动电流和驱动电力的驱动电路。

3 空载时间的设定

在变频电路等中，为了防止上下支路的短路，需要在开通、关断切换时机上设定空载时间。如图 7-3 所示，在空载时间中，上下支路均变成“关断”状态。空载时间原则上要设定为比 IGBT 的交换时间 ($t_{off \max.}$) 长。IGBT 模块的空载时间通常设定在 $3\mu s$ 以上。

另外，由于加大 R_G 会使交换时间变长，因此空载时间也有必要加长。此外，还必须考虑其他驱动条件和元件本身的特性、温度特性等（如果达到高温， t_{off} 也就变长）。

当空载时间偏短时，由上下支路短路时发生的短路电流引起的发热，可能导致元件破坏，请充分注意。

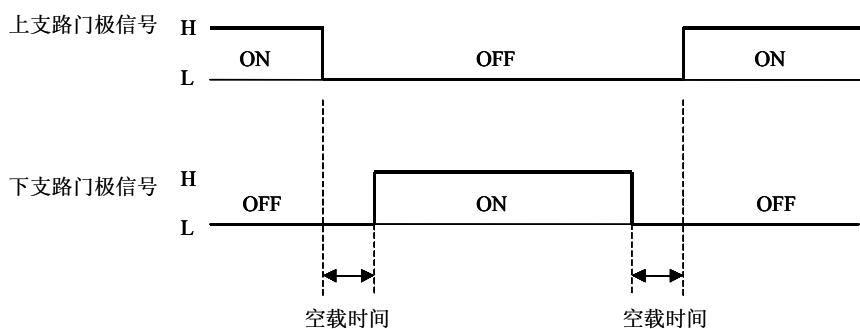
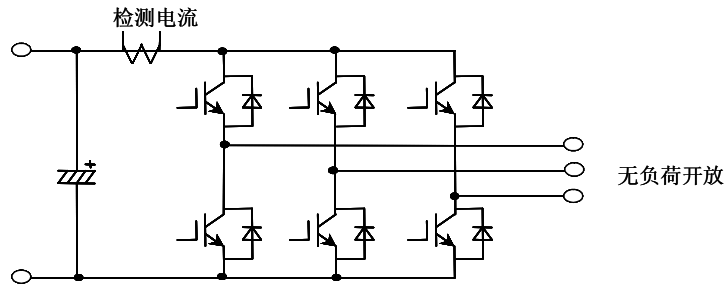


图 7-3 空载时间 时间图



短路电流 (\gg 进行元件结电容充电的电流)

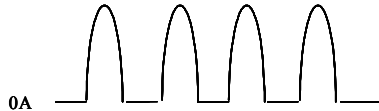


图 7-4 由空载时间不足引起短路电流的检测方法

有一种可以判断空载时间的设定是否合理的方法是确认无负荷时直流电源线的电流。

如图 7-4 的三相变频器的情况下，将变频的输出 (U.V.W) 成为开放状态，施加通常的输入信号，测定 DC 线的电流。

即使空载时间充分，会有微小的脉冲状电流（经元件密勒电容而流过的 dv/dt 电流：通常为额定电流的 5% 左右）通过，如果空载时间不足，将会有更大的短路电流通过。这种情况下，请将空载时间延长到短路电流消失为止。由于温度越高，关断时间会变长，推荐该试验在高温状态下实施。

另外，即使反偏压电压 $-V_{GE}$ 不足，短路电流也增加。在即使空载时间增加而短路电流也不减少的情况下，请增加反偏压电压 $-V_{GE}$ 。推荐反偏压电压 $-V_{GE} \geq 5V$ 。

4 驱动电路的具体实例

在变频电路等中，IGBT 与控制电路间必须有电绝缘。如下所示为用于这种用途的驱动电路实例。

图 7-5 为使用高速光耦合器的驱动电路。通过使用光耦合器，使输入信号与元件绝缘。另外由于光耦合器对输出脉冲宽度没有制约，因此这种驱动电路适用于如 PWM 控制等脉冲宽度在大范围内变化的用途，现在使用最为广泛。

另外，通过安装 2 个门极电阻，能够分别设定开通和关断的特性。

富士电机电子设备技术，运用了表 7-3 所示的光耦合器的驱动电路，作为混合式 IC 已产品化。

该混合式 IC 能够单电源驱动，另外由于它内置了短路事故检测机能和柔性断开电路，能够在短路事故中切实地保护 IGBT。详细内容请参考混合式 IC 的应用手册。

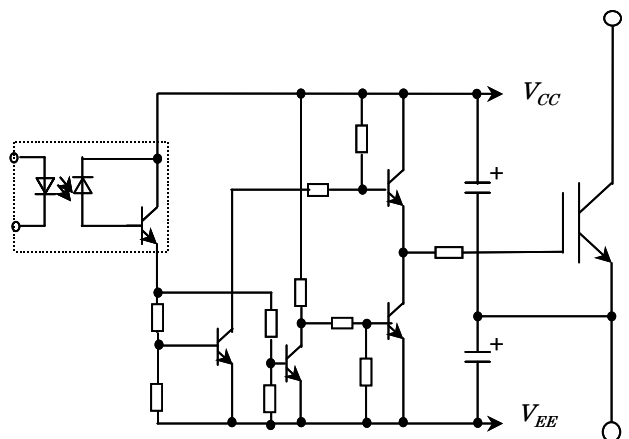


图 7-5 使用高速光耦合器的驱动电路实例

此外，还有在信号隔离上使用脉冲变压器的驱动方法。该方法由于能同时从信号端提供信号和门极驱动力，从而可使电路简化。但是，由于有开通/（关断+开通）时间比例最大为 50%、无法设定反偏压的制约，因交换频率和控制方式等因素它的用途受到限制。

表 7-3 IGBT 驱动用混合式 IC

对象 IGBT 对应的混合式 IC	600V 级 ~150A	600V 级 200A~400A
		1200V 级 ~75A
中速型	EXB850	EXB851
高速型	EXB840	EXB841

中速型：驱动电路的信号传递延迟：4 μ s max.

高速型：驱动电路的信号传递延迟：1.5 μ s max.

5 驱动电路设计、实际安装的注意事项

5.1 关于光耦合器的杂波耐受力

由于 IGBT 是高速交换元件，因此在驱动电路中使用的耦合器需要选用杂波耐受力大的类型（如：HCPL4504）。另外，为了避免误动作，光耦合器的初级侧和次级侧的配线不能交叉。另外，为了充分发挥 IGBT 的高速交换性能，推荐使用信号传递延迟时间短的光耦合器。

5.2 关于驱动电路与 IGBT 间的配线

在驱动电路和 IGBT 间的配线长的情况下，门极信号的振荡和感应杂波会导致 IGBT 误动作。作为对策，有图 7-6 所示的方法。

- (1) 驱动配线要尽量短，门极配线和发射极配线要紧密拧成一体（扭转状配线）。
- (2) 增大 R_G ，但是请注意交换时间、交换损耗。
- (3) 门极配线和 IGBT 的主电路配线要尽量远离，布局时两者要正交（使相互间不受感应）。
- (4) 不要和其他相的门极配线绑扎在一起。

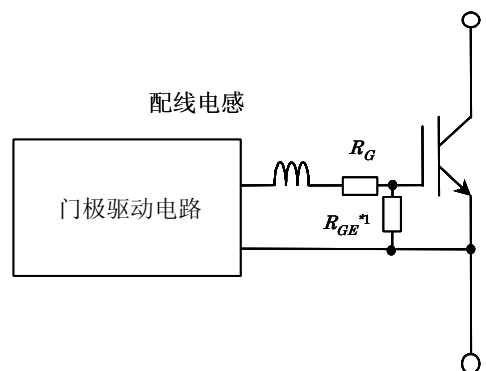


图 7-6 门极驱动电路实际安装时的注意点

*1 关于 R_{GE} ：

在门极电路不良或门极电路完全未动作的状态（门极开放状态）时，在主电路上外加电压时，IGBT 可能破坏。为了防止这种破坏，推荐在 G-E 间连接 10k Ω 左右的电阻 R_{GE} 。

关于电源投入：

对于电源投入，请先投入门极电路电源，使其完全动作后，再投入主电路电源。

5.3 关于门极过电压保护

IGBT 与其他的 MOS 型元件同样，需要在实施了充分的静电对策的环境下使用。另外由于 G-E 间最大的额定电压为 $\pm 20\text{V}$ ，因此如果外加的电压有可能超出该电压时，如图 7-7 所示，需要在 G-E 间连接齐纳二极管等保护措施。

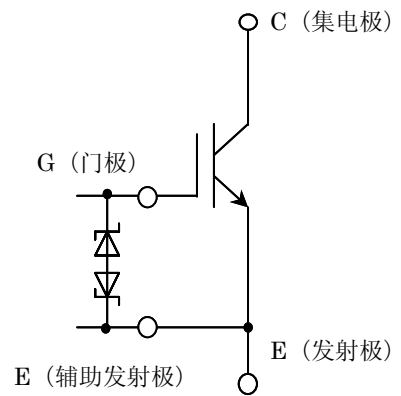


图 7-7 G-E 间过电压保护电路实例

警 告

1. 本目录包含截止至 2004 年 2 月的产品规格、特性、数据、材质以及结构。
因规格改变或其它原因而使本内容变更，恕不另行通知。在使用本目录中所列的产品时，请务必获取最新版本的规格说明。
2. 本目录中所述的所有应用乃举例说明富士电机电子设备技术株式会社产品的使用，仅供参考。并不授予（或被视为授予）富士电机电子设备技术株式会社所拥有的任何专利、版权、商业机密或其它知识产权的任何授权或许可，无论是明示的或暗示的。对于可能因使用此处所述的应用而造成侵犯或涉嫌侵犯他人知识产权的，富士电机电子设备技术株式会社不予作出任何明示或暗示的声明或保证。
3. 尽管富士电机电子设备技术株式会社不断加强产品质量和可靠性，但仍可能会有一小部分的半导体产品出现故障。当在您的设备中使用富士电机电子半导体产品时，您应采取足够的安全措施以防止当任何产品出现故障时，导致该设备造成人身伤害、火灾或其它问题。我们建议，您的设计应能够自动防故障、阻燃并且无故障。
4. 本目录中介绍的产品用于以下具有普通可靠性要求的电子和电气设备。
 - 计算机 · OA 设备 · 通信设备（终端设备）· 测量设备 · 机床
 - 视听设备 · 家用电气设备 · 个人设备 · 工业机器人等
5. 如果您要将本目录中的产品用于具有比普通要求更高可靠性要求的设备，例如以下所列设备，则必须联系富士电机电子设备技术株式会社，得到事先同意方可使用。在将这些产品用于下述设备时，您应采取足够措施（如建立备份系统），使得即使用于该设备的富士电机电子设备技术株式会社产品出现故障，也不会导致该设备发生故障。
 - 运输设备（安装在汽车和船上） · 干线通信设备 · 交通信号控制设备
 - 具有自动关闭功能的漏气检测装置 · 防灾 / 防盗装置 · 安全装置
6. 请勿将本目录中的产品用于具有严格可靠性要求的设备，例如（但不限于以下设备）
 - 航天设备 · 航空设备 · 核反制设备 · 海底中继器 · 医疗设备
7. 版权 (c) 1996-2004 富士电机电子设备技术株式会社。版权所有。
未经富士电机电子设备技术株式会社明确许可，本目录的任何部分不能以任何形式或任何方式进行复制。
8. 如果您对本目录中的内容存有疑问，请在使用该产品前咨询富士电机电子设备技术株式会社或其销售代理商。
富士电机电子设备技术株式会社和其销售代理商对未遵守此处所做说明使用本产品而造成的任何伤害不予负责。