

驱动级功率的计算如下:

$$P(V_{GG+}) = V_{GG+} \cdot Q_{Gtot} \cdot f_s$$

其中  $f_s$  为开关频率

$$P(V_{GG-}) = |V_{GG-}| \cdot Q_{Gtot} \cdot f_s$$

计算举例:

$$V_{GG+} = 15 \text{ V}, \quad V_{GG-} = -15 \text{ V}, \quad R_G = 3.3 \ \Omega$$

$$Q_{Gtot} = 2.3 \ \mu\text{C} \text{ (SKM500GB123DS)}$$

$$f_s = 10 \text{ kHz}, \quad V_{DC} = 600 \text{ V}$$

结果为:

$$I_{GMon} = |I_{GMoff}| = 9.09 \text{ A}$$

$$P_{Gavg} = 0.69 \text{ W}$$

$$P(V_{GG+}) = P(V_{GG-}) = 0.345 \text{ W}$$

$$I(V_{GG+}) = I(V_{GG-}) = 23 \text{ mA} \text{ (平均值)}$$

### 3.5.2 驱动参数对开关特性的影响

如前所述, 功率 MOSFET 和 IGBT 模块在被驱动时, 它们的各种主要特性取决于  $V_{GG+}$ 、 $V_{GG-}$  和  $R_G$  的设定值。下表给出了这些参数间定性的依赖关系 (<: 上升; >: 下降; -: 不受影响):

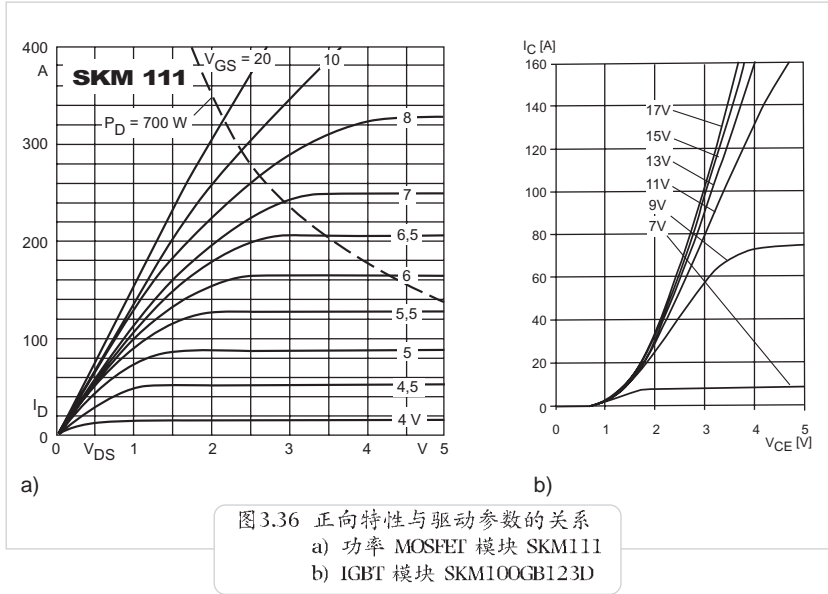
参数/性能	$V_{GG+} <$	$ V_{GG-}  <$	$R_G <$	见相应章节
$R_{DS(on)}$ 、 $V_{CESat}$	>	-	-	3.5.2
$t_{on}$	>	<	<	3.5.2
$E_{on}$	>	-	<	3.5.2
$t_{off}$	<	>	<	3.5.2
$E_{off}$	-	>	<	3.5.2
开通峰值电流*)	<	-	>	3.5.2
关断峰值电压*)	-	<	>	3.5.2
对 dv/dt 的敏感度 (MOSFET)	<	<	>	3.5.1
(IGBT)	<	>	<	3.5.1
自我限制的 $I_D$ 、 $I_C$	<	-	<	3.6.2
负载短路时的耐冲击性	>	-	<	3.6.2

\*) 硬开关感性负载时

#### 正向特性 ( $R_{DS(on)}$ 、 $V_{CESat}$ )

在功率 MOSFET 和 IGBT 的正向特性中, 它对驱动参数的依赖性可由其输出特性读出(见 1.2.2 节)。在图 3.36 中, 从参数表中各取了一个 SEMITRANS - MOSFET 和 IGBT 模块来作说明。

在 3.5.1 节里提到过驱动电压的推荐使用值：功率 MOSFET 模块为  $V_{GG+} = 10V$ ；IGBT 模块为  $V_{GG+} = 15V$ 。在 SEMITRANS、SEMITOP 和 MiniSKiiP 参数表中，此条件被用来测定各种最大定额与典型值。在大多数应用中，这是一个在功率损耗、开通峰值电流和短路特性等要求之间作出的可接受的折衷。



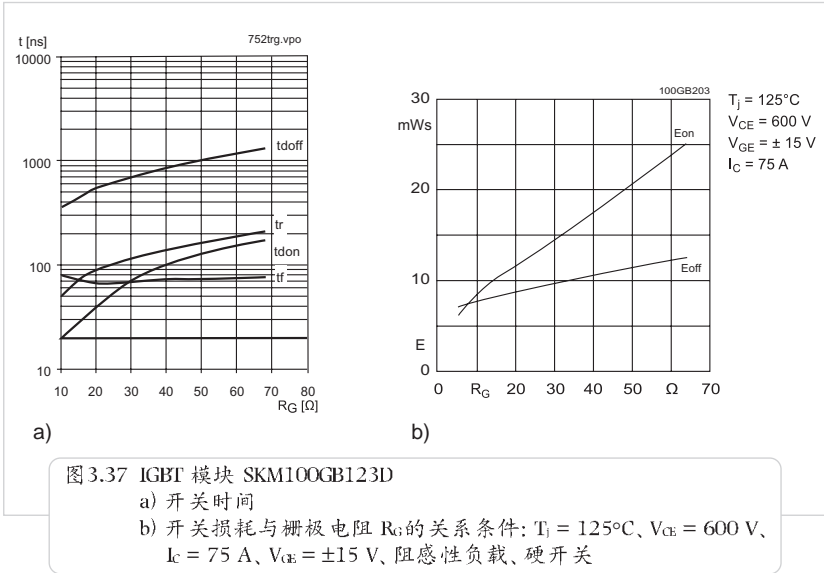
### 开关时间、开关损耗 ( $t_{on}$ 、 $t_{off}$ 、 $E_{on}$ 、 $E_{off}$ )

栅极电压和栅极电阻用不同的方式影响着 IGBT 开关时间的各个分量，如开通时间  $t_{on} = t_{d(on)} + t_r$ ，关断时间  $t_{off} = t_{d(off)} + t_f$  以及拖尾电流时间。

因为在开关过程开始前，栅极电容的电压就已经预充至额定  $V_{GG+}$  和  $V_{GG-}$  值。在给定栅极电阻  $R_G$  的情况下，如果充电电流或  $V_{GG+} + |V_{GG-}|$  增加，则充放电时间（开通延迟时间  $t_{d(on)}$ ，关断延迟时间  $t_{d(off)}$ ）就会缩短。

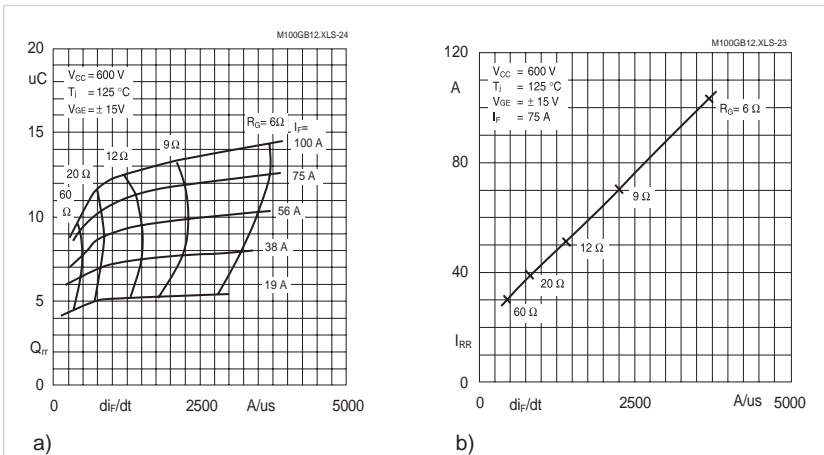
另一方面，因为  $V_{GG+}$  和  $V_{GG-}$  通过栅极电阻  $R_G$  决定了流入栅极的电流，所以它也影响着开关时间  $t_r$ 、 $t_f$  以及能量损耗  $E_{on}$ 、 $E_{off}$ 。

在 SEMITRANS-IGBT 模块的参数表中，还包括了表示开关时间和开关能耗与  $R_G$  之间关系的图表（图 3.37）。图中的测试条件为： $R_L$  负载、硬开关、 $I_C$  为壳温  $80^\circ C$  时的额定电流值。



续流二极管的开关行为和晶体管的开通峰值电流

模块内集成的续流二极管的关断行为对开通峰值电流和开通损耗有影响。在图 3.37b 中, IGBT 的开通损耗已经包含了这一影响, 请参阅 1.3.3.3 和 2.3.3 节。



漏极或集电极电流 ( $i_D$ 、 $i_C$ ) 的上升时间  $t_r$  随栅极电流的上升 (较高的  $V_{GG+}$  或较低的  $R_G$ ) 而下降。这将使得续流二极管的电流换流速率  $di_F/dt$  增加, 从而决定了反向恢复电荷  $Q_{rr}$  和反向恢复电流  $I_{RRM}$  的大小。

在 SEMITRANS-IGBT 模块中, 模块所使用的快速恢复续流二极管是建立在 CAL 原理上的。二极管的恢复特性也被包括在参数表中 (图 3.38, 图 3.39)。

若增加  $Q_{rr}$  和  $I_{RRM}$ , 则引起模块内部续流二极管的关断损耗增加。因为较高的  $di_F/dt$  会导致  $Q_{rr}$  以及  $I_{RRM}$  增加, 而  $I_{RRM}$  又构成了开通的晶体管的集电极或漏极电流的一部分, 并迭加于负载电流之上, 所以晶体管的开通峰值电流和开通损耗随着开通速度的上升而增大 (图 3.37)。

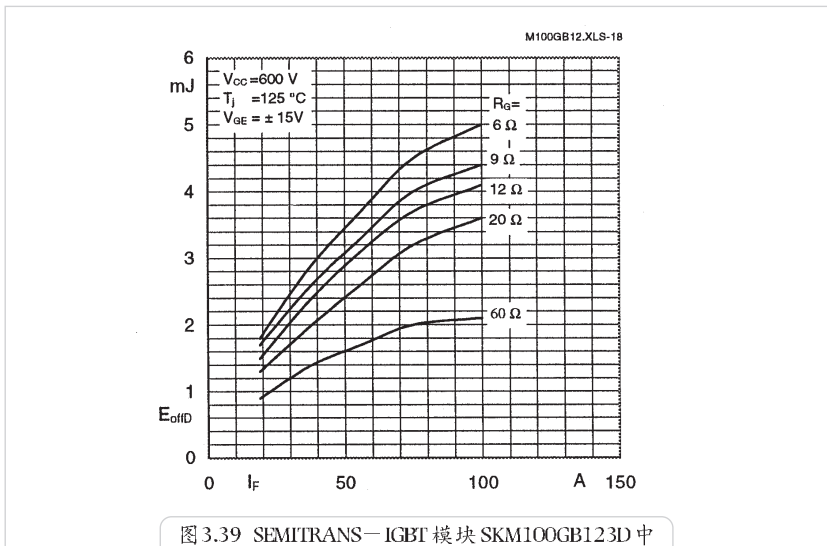


图 3.39 SEMITRANS-IGBT 模块 SKM100GB123D 中 CAL 二极管关断损耗  $E_{offD}$  与  $R_G$  的关系

### 关断峰值电压

无论  $V_{GG-}$  增加还是  $R_G$  减小, 被驱动的晶体管的栅极关断电流都会增加。如图 3.37a 所示, 漏极或集电极电流的下降时间  $t_f$  将下降, 也就是说  $-di_D/dt$  或  $-di_C/dt$  将上升。在电流下降期间, 通过电路的寄生换流电感  $L_\sigma$  而感应的电压  $\Delta u = -L_\sigma * di/dt$  随着关断时间的下降而线性增加。

### 3.5.3 驱动电路结构与对驱动器的基本要求

图 3.40 表示了一个“清爽的”驱动电路的基本结构, 它可以用来驱动一相 MOSFET 或者 IGBT 的桥臂, 同时还具有上下桥臂互锁的功能和保护功能。