

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)。

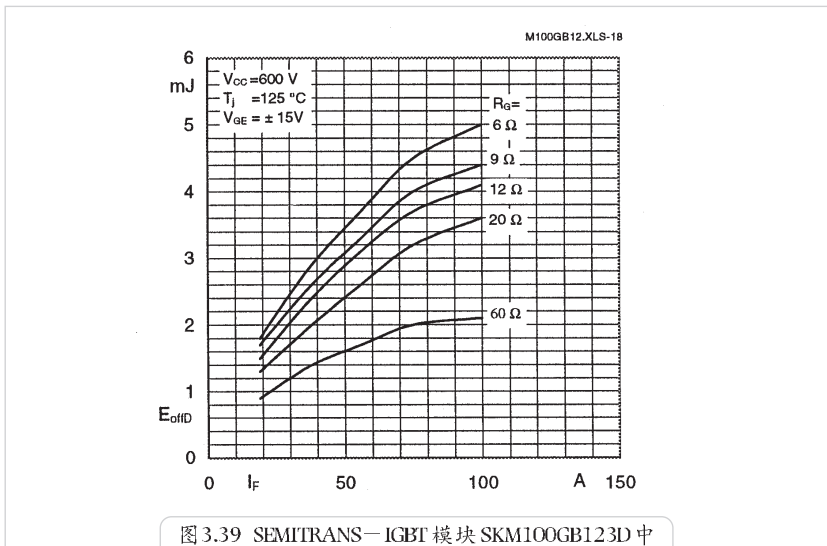


图 3.39 SEMITRANS-IGBT 模块 SKM100GB123D 中 CAL 二极管关断损耗 E_{offD} 与 R_G 的关系

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_σ 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。

在上述驱动器中,上、下桥开关及其各部分的信号处理之间,如驱动信号、驱动电源以及输出信号和错误信号的反馈,均采用了真正的电位隔离。而在较为简单一些的驱动电路中,某些隔离是可以合并的(如驱动信号与其放大部分共用一个电源),或部分地甚至全部省略(如为上桥开关供电的自举电路)。对于低工作电压的开关,特别是对于低侧的斩波开关(只有底部开关工作),由于单开关不再需要互锁功能与死区时间,驱动电路的结构还可以进一步简化。

栅极驱动单元是驱动电路的核心部分。它包括(在多数情况下)原边的各个控制单元,如时间延迟、内部互锁、最小开通和关断时间的控制(见 3.5.4 节)、电位隔离(有时还需加上脉冲整形)以及栅极的正/负驱动电压发生器。另外,在靠近功率晶体管的栅极处,还可以加上过压保护,也可以结合使用连接到 V_{DS} 或 V_{CE} 的有源箝位(参阅 3.6 章)。

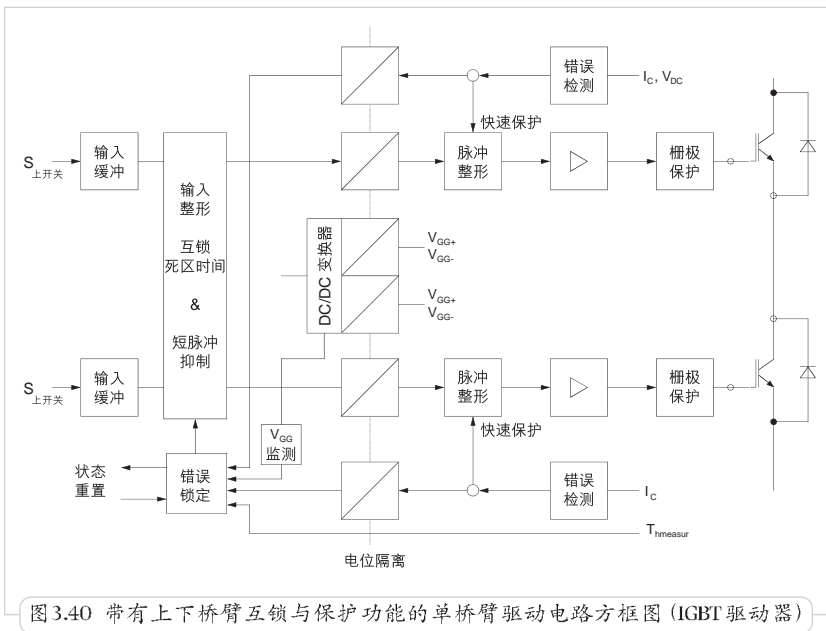


图 3.41 给出了正负栅极驱动电压发生器的原理图(为 IGBT 设计,带负偏栅极-发射极电压)。

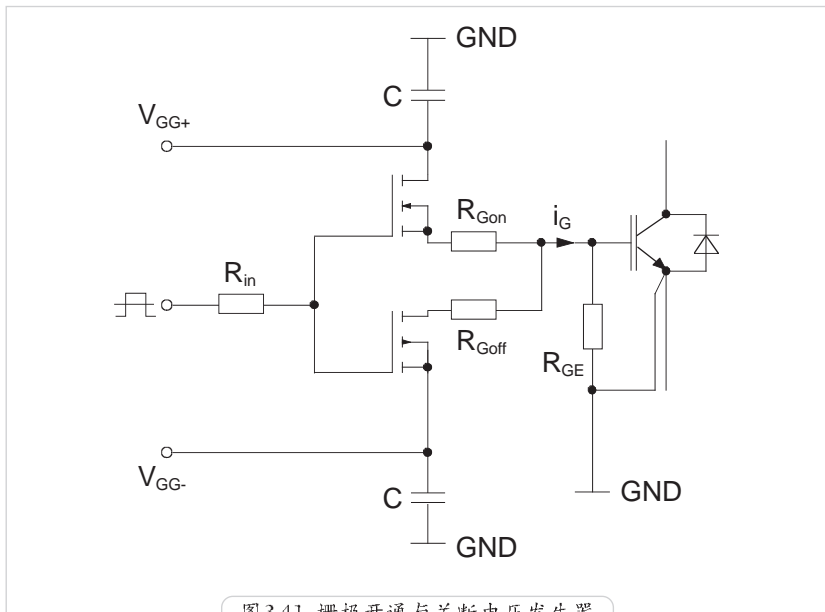


图 3.41 栅极开通与关断电压发生器

图中采用了小功率 MOSFET 来构成互补型源极跟随放大器。除此以外，其它如采用 MOSFET 或双极性晶体管构成的互补型漏极或集电极跟随器以及推挽驱动器也常常得到应用。

其它的解决方案，包括采用集成电路元件的方案，将在 3.5.6 节中涉及。

在图 3.41 中，栅极电阻 R_G 被分成 R_{Gon} 和 R_{Goff} 两部分，分别作用于开通和关断过程。这种方法可以限制从 V_{GG+} 流到 V_{GG-} 的直通电流。这个直通电流产生于驱动器末级的 MOSFET 开关过程中，通常不可避免。而且，这种方法最主要的优点是可以分别优化开通与关断的过程，在开通时针对开通过电流，而在关断时针对关断过电压（见 3.5.2 节）以及短路特性（见 3.6.2 节）进行优化。如果线路只有一对可以安装 R_G 的输出端子，则可以将各串联了一只二极管的电阻 R_{Gon} 和 R_{Goff} 相并联，来实现上述功能。在这里，二极管阴极朝向 IGBT 栅极的接法用于 R_{Gon} ，阳极朝向 IGBT 栅极的接法用于 R_{Goff} 。

在任何情况下，栅极—发射极电阻 R_{GE} （10—100k Ω 都不能被省略。它的作用是，在驱动器处于高阻输出状态时（开关期间、截止状态和驱动电源损坏时）防止栅极电容被意外充电。

在靠近驱动器的输出处，常用一个低电感的电容来缓冲电压 V_{GG+} 和 V_{GG-} 。和低阻的驱动电路一起，它被用来保证驱动器的动态内阻尽可能地小。只有这样，驱动电路才有可能吸收由 dv_{CE}/dt 所引起的、经过米勒电容流向栅极的位移电流，从而避免开关的误动作、寄生振荡或栅极过电压。

此外,在设计栅极电压发生器时,还应考虑以下方面:

- 1) 尽量使栅极回路寄生电感为最小。例如在驱动器—栅极或驱动器—发射极间采用短绞线,减小电路的几何尺寸。
- 2) 消除负载电流对栅极电压的反馈。这个反馈由功率模块内发射极的寄生电感所引起。方法是将驱动器的地连接到功率模块的控制发射极端子。
- 3) 避免环地。
- 4) 避免栅极和集电极之间的变压器式或容性耦合(尽量不设置平行导线;引入屏蔽区域)。

当然,这些要求也同样适用于提供驱动能量的隔离电源(例如,驱动电路内置的开关电源)以及其它与功率晶体管等势的功能单元。

在信号传输途中,用于噪音抑制的低通滤波器、脉冲整形器、脉宽发生器都需要考虑其延迟时间对最小驱动脉宽以及故障响应时间的影响。

3.5.4 驱动器内置的保护和监视功能

为了在故障状态下能够快速有效地保护 MOSFET 和 IGBT,需要在驱动器中引入各种保护功能。例如,过流或短路保护、漏源或集电极—发射极过压保护、栅极过压保护、过温保护以及对栅极驱动电压 V_{GG+} 和 V_{GG-} 的监视。

这一节将对就图 3.40 所示的驱动器中如何引入保护功能进行阐述,其电路的实现和参数的计算将在 3.6 章中涉及。

过流和短路保护

用于保护的电流信号可以是一个模拟信号(例如,通过分流器、电流变换器、受控 MOSFET 的 $R_{DS(on)}$ 或源极以及发射极的镜像电流单元来得到)或某个最大定额的突破(IGBT 离开饱和状态)。通过比较实测值与设定的最大值,一旦检测到一个故障信号,就用它来直接在高压边——或在采用隔离传感器的情况下在驱动器的低压边——触发一个故障记忆电路,进而关闭功率晶体管,直至复位信号到达为止。

如果故障记忆电路设在低压侧,则它的状态信号可以通过一个电位隔离单元来传递给高压侧。如果采用高精度的隔离型电流传感器,例如在 SKiPPACK 和某些 MiniSKiP 单元中,则它的输出还可以被用作控制环的电流实测值,或被用于对地短路电流的检测。

栅极过压保护

栅极保护与前述的过流保护不同。无论是否直接检测到要求关断功率晶体管的故障信号,它必须能够周期性地限制栅极电压。因此,栅极保护并没有连接到故障记忆电路,详情请见 3.6.1 节和 3.6.3 节。