

IGBT 的工作原理和工作特性

IGBT 的开关作用是通过加正向栅极电压形成沟道，给 PNP 晶体管提供基极电流，使 IGBT 导通。反之，加反向门极电压消除沟道，流过反向基极电流，使 IGBT 关断。IGBT 的驱动方法和 MOSFET 基本相同，只需控制输入极 N 沟道 MOSFET，所以具有高输入阻抗特性。

当 MOSFET 的沟道形成后，从 P+ 基极注入到 N 一层的空穴（少子），对 N 一层进行电导调制，减小 N 一层的电阻，使 IGBT 在高电压时，也具有低的通态电压。

IGBT 的工作特性包括静态和动态两类：

1. 静态特性 IGBT 的静态特性主要有伏安特性、转移特性和开关特性。

IGBT 的伏安特性是指以栅源电压 U_{gs} 为参变量时，漏极电流与栅极电压之间的关系曲线。输出漏极电流比受栅源电压 U_{gs} 的控制， U_{gs} 越高， I_d 越大。它与 GTR 的输出特性相似，也可分为饱和区 1、放大区 2 和击穿特性 3 部分。在截止状态下的 IGBT，正向电压由 J2 结承担，反向电压由 J1 结承担。若无 N+ 缓冲区，则正向反向阻断电压可以做到同样水平，加入 N+ 缓冲区后，反向关断电压只能达到几十伏水平，因此限制了 IGBT 的某些应用范围。

IGBT 的转移特性是指输出漏极电流 I_d 与栅源电压 U_{gs} 之间的关系曲线。它与 MOSFET 的转移特性相同，当栅源电压小于开启电压 $U_{gs(th)}$ 时，IGBT 处于关断状态。在 IGBT 导通后的大部分漏极电流范围内， I_d 与 U_{gs} 呈线性关系。最高栅源电压受最大漏极电流限制，其最佳值一般取为 15V 左右。

IGBT 的开关特性是指漏极电流与漏源电压之间的关系。IGBT 处于导通态时，由于它的 PNP 晶体管为宽基区晶体管，所以其 β 值极低。尽管等效电路为达林顿结构，但流过 MOSFET 的电流成为 IGBT 总电流的主要部分。此时，通态电压 $U_{ds(on)}$ 可用下式表示

$$U_{ds(on)} = U_{j1} + U_{dr} + I_d R_{oh} \quad (2-14)$$

式中 U_{j1} —— J1 结的正向电压，其值为 $0.7 \sim 1V$ ；

U_{dr} —— 扩展电阻 R_{dr} 上的压降；

R_{oh} —— 沟道电阻。

通态电流 I_{ds} 可用下式表示：

$$I_{ds} = (1 + \beta_{pnp}) I_{mos} \quad (2-15)$$

式中 I_{mos} —— 流过 MOSFET 的电流。

由于 N+ 区存在电导调制效应，所以 IGBT 的通态压降小，耐压 1000V 的 IGBT 通态压降为 2 ~ 3V。

IGBT 处于断态时，只有很小的泄漏电流存在。

2. 动态特性 IGBT 在开通过程中，大部分时间是作为 MOSFET 来运行的，只是在漏源电压 U_{ds} 下降过程后期，PNP 晶体管由放大区至饱和，又增加了一段延迟时间。 $t_{d(on)}$ 为开通延迟时间， t_{ri} 为电流上升时间。实际应用中常给出的漏极电流开通时间 t_{on} 即为 $t_{d(on)}$ t_{ri} 之和。漏源电压的下降时间由 t_{fe1} 和 t_{fe2} 组成，如图 2 - 58 所示

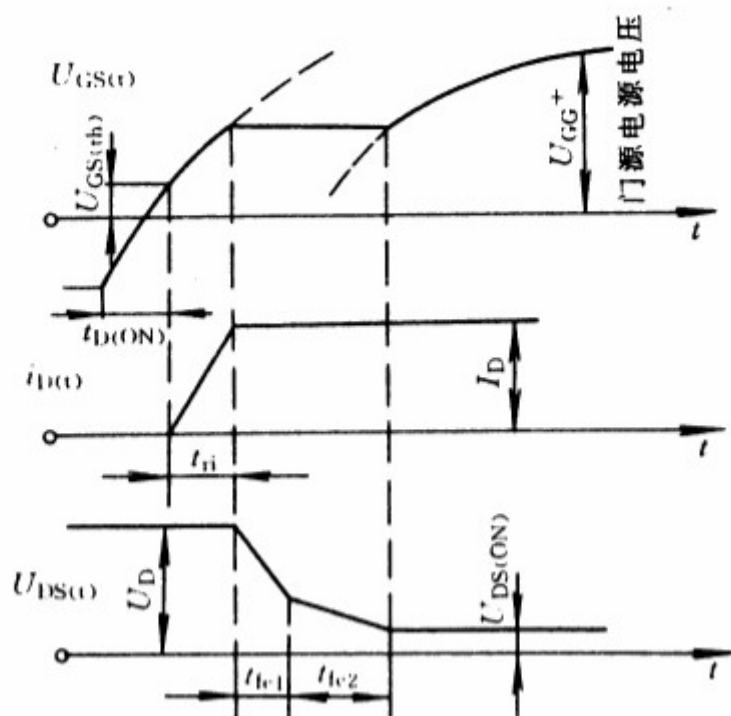


图 2-58 开通时 IGBT 的电流、电压波形

IGBT 在关断过程中，漏极电流的波形变为两段。因为 MOSFET 关断后，PNP 晶体管的存储电荷难以迅速消除，造成漏极电流较长的尾部时间， $t_{d(off)}$ 为关断延迟时间， t_{rv} 为电压 $U_{ds(f)}$ 的上升时间。实际应用中常常给出的漏极电流的下降时间 T_f 由图 2 - 59 中的 t_{f1} 和 t_{f2} 两段组成，而漏极电流的关断时间

$$t_{(off)} = t_{d(off)} + t_{rv} + t_{(f)} \quad (2 - 16)$$

式中， $t_{d(off)}$ 与 t_{rv} 之和又称为存储时间。

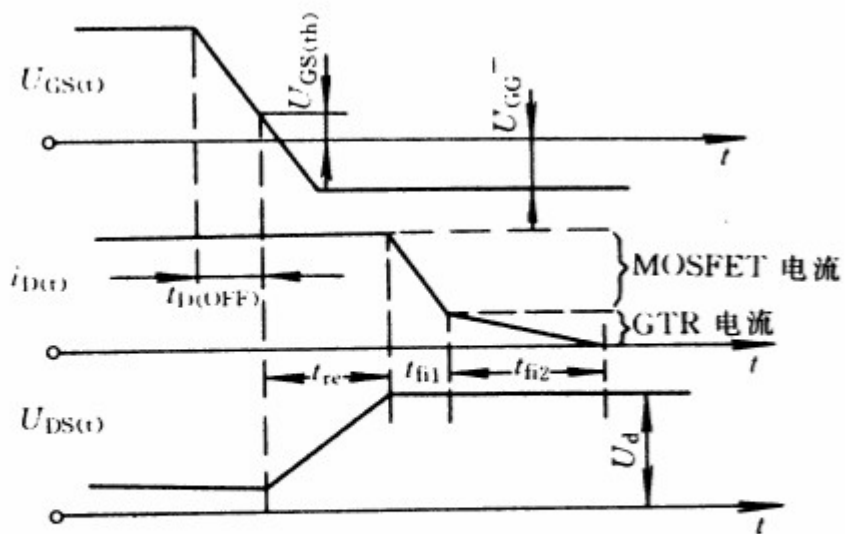


图 2-59 关断时 IGBT 的电流、电压波形