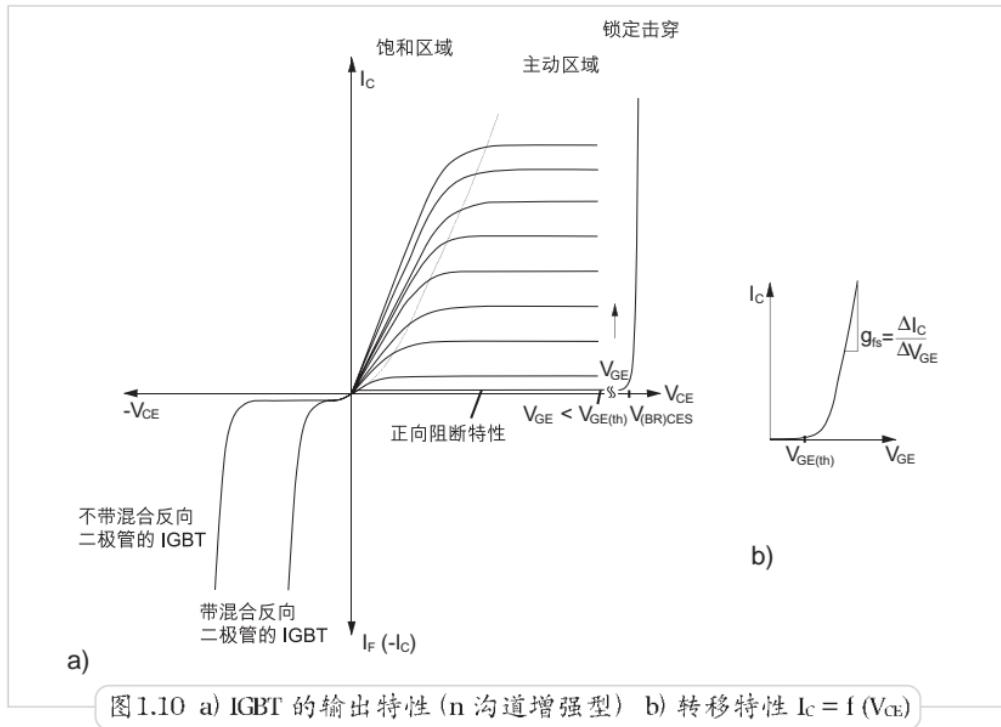


1.2.2.2 IGBT

根据第 1.2.1 节中描述的 IGBT 的工作原理, 我们可以得到如图 1.10 所示的输出特性。



正向截止状态

与 MOSFET 的原理相似，当集电极—发射极电压 V_{CE} 为正，且栅极—发射极电压 V_{GE} 小于栅极—发射极开启电压 $V_{GE(th)}$ 时，在 IGBT 的集电极和发射极端子之间仅存在着一个很小的集电极—发射极残余漏电流 I_{CES} 。

I_{CES} 随 V_{CE} 增加而略微增加。当 V_{CE} 大于某一特定的、最高允许的集电极—发射极电压 V_{CES} 时，IGBT 的 pin 结 (p^+ 井区 / n^- 漂移区 / n^+ 外延生长层) 会出现锁定效应。从物理的角度来说， V_{CES} 对应了 IGBT 结构中 pnp 双极式晶体管的击穿电压 V_{CER} ，参阅图 1.6。

出现锁定现象时，由集电极—基极二极管引起的电流放大效应可能会导致双极晶体管的开通，进而导致 IGBT 的损坏。

值得庆幸的是，基极和发射极区几乎被金属化的发射极所短路。它们之间只是被 p^+ 井区的横向电阻所隔开。

应用多种设计措施，类似于我们在 1.2.2.1 节中针对 MOSFET 所采取的措施一样，IGBT 的单元锁定电流可以维持在一个很低的水平，从而使正向截止电压能够获得较高的稳定性（锁定承受力）。

导通状态

当集电极—发射极电压和集电极电流均为正值时，IGBT 的正向导通状态也可以进一步细分为两个区域。

主动区域

当栅极—发射极电压 V_{GE} 只是略大于开启电压 $V_{GE(th)}$ 时，由于沟道电流的饱和效应，沟道会出现一个可观的压降(输出特性中的水平线)。此时，集电极电流跟随 V_{GE} 而变化。

类似于 MOSFET，我们用正向转移斜率 g_{fs} 来描述图 1.10b 所示的转移特性。它的定义如下：

$$g_{fs} = dI_C/dV_{GE} = I_C/(V_{GE} - V_{GE(th)})$$

转移特性在线性放大区域内的转换斜率随集电极电流 I_C 和集电极—发射极电压 V_{CE} 的增加而增加，并随芯片温度的降低而减小。

在由多个 IGBT 芯片并联构成的功率模块中，这一区域只是在开关过程中被经过。

一般来说，模块在这一区域中的稳态运行是不被允许的（如同 MOSFET 模块一样）。究其原因，是 $V_{GE(th)}$ 随温度的上升而下降，因此单个芯片之间小小的制造偏差就可能引起温升失衡。

饱和区域

在开关过程中,一旦 I_C 只是由外部电路所决定,便处于所谓的饱和区域,也被称作导通状态(输出特性中的陡斜部分)。导通特性的主要参数是 IGBT 的残余电压 V_{CEsat} (集电极-发射极饱和压降)。至少对于高截止电压的 IGBT 器件来说,由于 n^- 漂移区的少子泛滥,使得 IGBT 的饱和压降明显低于同类型 MOSFET 的通态压降。

正如前面所提到过的,PT 型 IGBT 的 V_{CEsat} 在额定电流区域内随温度的升高而下降。而对于 NPT 型 IGBT 来说,它则随温度的增加而增加。

反向特性

在反向运行状态下(图 1.10, 第三象限),IGBT 集电极端的 pn 结处于截止状态。因此与 MOSFET 不同的是,IGBT 不具备反向导通的能力。

尽管—基于较宽的 n^- 漂移区—IGBT 结构中存在着一个高阻的 pin 二极管,但目前的 IGBT 的反向截止电压仅在数十伏上下,尤其对于 NPT 型 IGBT 来说更是如此。究其原因,是在于设计芯片和它的边缘结构时,人们着重于追求高的正向截止电压和优化集电极端口的散热。

对于某些特殊的、需要 IGBT 开关承受反向电压的应用来说,到目前为止全部采用了混合结构,即在模块中串联一个快速二极管。

因此,IGBT 模块在静态反向工作时,它的导通特性只是由外部的或者混合的二极管的特性来决定,请参阅第 1.3 章。