

**IGBT** 是由 BJT(双极型三极管)MOS(绝缘栅型场效应管)组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件, 兼有 MOSFET 的高输入阻抗和 GTR 的低导通压降两方面优点。由 IGBT (绝缘栅双极型晶体管芯片) 与 FWD (续流二极管芯片) 通过特定的电路桥接封装而成的模块化半导体产品; IGBT 的特性参数主要分为静态特性和动态特性。

## 静态特性

IGBT 的静态特性主要有伏安特性、转移特性、开关特性。

### 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。如果无  $N^+$  缓冲区, 则正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。

### 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。

### 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  $\beta$  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  $U_{ds(on)} = U_{j1} + U_{dr} + I_d R_{oh}$  式中  $U_{j1}$  —— J1 结的正向电压, 其值为 0.7 ~ 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:  $I_{ds} = (1 + \beta_{npn}) I_{mos}$  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, 只有很小的漏电流存在。

术语	符号	定义与说明
集电极-发射极间电压	V <sub>CES</sub>	在门级-发射极之间处于短路状态时，集电极-发射极间能够施加的最大电压
门级-发射极间电压	V <sub>GES</sub>	在集电极-发射极间处于短路状态时，门级-发射极间能够施加的最大电压（通常±20V max）
集电极-发射极间断路电流	I <sub>CES</sub>	门极（下称G）-发射极（下称E）间处于短路的状态时，在集电极（下称C）-E间外加指定的电压时C-E间的漏电流
门极-发射极间的漏电流	I <sub>GES</sub>	C-E间处于短路状态时，在G-E间外加指定的电压时G-E间的漏电流
门极-发射极间的阈值电压	V <sub>GE(th)</sub>	处于指定的C-E间的电流（下称集电极电流）和C-E间的电压（下称V <sub>CE</sub> ）之间的G-E间的电压（下称V <sub>GE</sub> ）（C-E间有微小电流开始通过时的V <sub>GE</sub> 值用于作为衡量IGBT开始导通时的V <sub>GE</sub> 值的尺度）
集电极-发射极间的饱和电压	V <sub>CE(sat)</sub>	在指定的V <sub>GE</sub> 下，额定集电极电流流过时的V <sub>CE</sub> 值（通常，V <sub>GE</sub> =15V，计算损耗时重要值）
集电极电流	I <sub>C</sub>	集电极的电极上容许的最大直流电流
最大集电极电流	I <sub>CRM</sub>	集电极的电极上容许的最大脉冲电流
正向导通电流	I <sub>F</sub>	集成二极管上容许的最大直流正向电流
最大正向导通电流	I <sub>FRM</sub>	集成二极管上容许的最大脉冲正向电流
短路电流	I <sub>SC</sub>	IGBT短路时的电流
输入电容	C <sub>ies</sub>	C-E间交流性短路状态下，G-E间和C-E间外加指定电压时G-E间的电容
输出电容	C <sub>oes</sub>	G-E间交流性短路状态下，G-E间和C-E间外加指定电压时C-E间的电容
反向传输电容	C <sub>res</sub>	在E接地的情况下，G-E间外加指定电压是C-G间的电容
二极管正向电压	V <sub>F</sub>	在内置二极管中流过指定的正方向电流（通常为额定电流）时的正方向电压（与V <sub>CE(sat)</sub> ）相同，也是计算损耗时的重要值。

热敏电阻	Resistance	指定温度下热敏电阻端子之间的电阻值
B 值	B	表示在电阻-温度特性上任意 2 个温度间的电阻变化大小的常数
反向恢复电流	Irr ( Irp )	到内置二极管中正方向电流断路时反方向流动的电流的峰值
门极电阻	RG	门极串联电阻值 ( 标准值记载在交换时间测定条件中 )
最大损耗	PTOT	每个 IGBT 所容许的最大功率损耗
绝缘强度	Viso	在电极全部处于短路状态时, 电极与冷却体的安装面间所容许的正弦波电压的最大有效值
电流二次方时间积	I <sup>2</sup> t	在不破坏元件的范围内所允许的过电流焦耳积分值

## 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。IGBT 的触发和关断要求给其栅极和基极之间加上正向电压和负向电压，栅极电压可由不同的驱动电路产生。当选择这些驱动电路时，必须基于以下的参数来进行：器件关断偏置的要求、栅极电荷的要求、耐固性要求和电源的情况。因为 IGBT 栅极-发射极阻抗大，故可使用 MOSFET 驱动技术进行触发，不过由于 IGBT 的输入电容较 MOSFET 为大，故 IGBT 的关断偏压应该比许多 MOSFET 驱动电路提供的偏压更高。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。

漏极电流的关断时间  $t(off) = t_d(off) + t_{rv} + t(f)$  式中， $t_d(off)$  与  $t_{rv}$  之和又称为存储时间。IGBT 的开关速度低于 MOSFET，但明显高于 GTR。IGBT 在关断时不需要负栅压来减少关断时间，但关断时间随栅极和发射极并联电阻的增加而增加。IGBT 的开启电压约 3~4V，和 MOSFET 相当。IGBT 导通时的饱和压降比 MOSFET 低而和 GTR 接近，饱和压降随栅极电压的增加而降低。

术语	符号	定义与说明
开通时间	$t_{don}$	IGBT 开通时， $V_{GE}$ 上升到 0V 后， $V_{CE}$ 下降到最大值的 10% 时为止的时间
关断时间	$t_{doff}$	IGBT 关断时，从 $V_{GE}$ 下降到最大值的 90% 时开始，到集电极电流在下降电流的切线上下下降到 10% 为止时间
开通损耗	$E_{on}$	开通过程中， $I_c$ 与 $V_{ce}$ 乘积对时间（电流 $I_c$ 上升到 10% 到电压 $V_{ce}$ 下降到 2% 之间）的积分
关断损耗	$E_{off}$	关断过程中， $I_c$ 与 $V_{ce}$ 乘积对时间（电压 $V_{ce}$ 上升到 10% 到电流 $I_c$ 下降到 2% 之间）的积分
上升时间	$t_r$	开通时，从集电极电流上升到最大值的 10% 开始，到 $V_{CE}$ 下降到最大值的 10% 为止的时间。
	$t_r(i)$	IGBT 开通时，从集电极电流上升到最大值的 10% 开始，到达 90% 为止的时间。
下降时间	$t_f$	IGBT 关断时，集电极电流从最大值 90% 开始，在下降电流的切线上下下降到 10% 为止的时间
反向恢复时间	$t_{rr}$	到内置二极管中的反向恢复电流消失为止所需要的时间

其它特性		
包括栅电荷、浪涌、安全工作区、热阻、温度、及一些其它物理特性等。		
术语	符号	定义与说明
正向峰值浪涌电流	IFSM	在不破坏元件的范围内所允许的一周期以上商用正弦半波 ( 50、60Hz ) 的电流最大值
门极充电电量	Qg	为了使 IGBT 开通, G-E 间充电的电荷量
逆向偏压安全操作区	RBSOA	关断时在指定的条件下, 能够使 IGBT 断路的电流与电压的区域 ( 一旦超出该区域, 元件可能遭到破坏 )
热阻	Rth ( j-e )	IGBT 或内置二极管的芯片与外壳间的热阻
	Rth ( e-f )	运动散热绝缘混合剂, 在推荐的力矩值的条件下, 将元件安装到冷却体上时, 外壳与冷却体间的热阻
外壳温度	Te	IGBT 的外壳温度 ( 通常情况指 IGBT 或内置二极管正下方的铜基下的温度 )
结温	TJ	使元件能够连续性工作的最大芯片温度
安装力矩	Mouting	用特定的螺钉将元件和冷却体 ( 散热器 ) 间夹紧时所用的最大力矩值
	Terminal	用特定的螺钉将端子和外部配线夹紧时所用的最大力矩值

西安易恩电气科技有限公司

市场部

王兵

2016 年 5 月 6 日