

IGBT 模块损坏的原因

IGBT 在使用过程中经常受到容性或感性负载的冲击,承受过负荷甚至负载短路等,可能导致 IGBT 损坏。IGBT 模块在使用时的损坏原因主要有以下几种情况。

(1) 过电流损坏

①锁定效应。IGBT 为复合器件,其内有一个寄生晶闸管,在规定的漏极电流范围内,NPN 的正偏压不足以使 NPN 晶体管导通,当漏极电流大到一定程度时,这个正偏压足以使 NPN 晶体管开通,进而使 NPN 或 PNP 晶体管处于饱和状态,于是寄生晶闸管开通,栅极失去了控制作用,便发生了锁定效应。IGBT 发生锁定效应后,集电极电流过大,造成了过高的功耗而导致器件损坏。

②长时间过流运行。IGBT 模块长时间过流运行是指 IGBT 的运行指标达到或超出 RBSOA (反偏安全工作区)所限定的电流安全边界(如选型失误、安全系数偏小等),出现这种情况时,电路必须能在电流到达 RBSOA 限定边界前立即关断器件,才能达到保护器件的目的。

③短路超时(>10us)。短路超时是指 IGBT 所承受的电流值达到或超出 SCSOA (短路安全工作区)所限定的最大边界,比如 4-5 倍额定电流时,必须在 10us 之内关断 IGBT。如果此时 IGBT 所承受的最大电压也超过器件标称值,IGBT 必须在更短的时间内被关断。

(2) 过电压损坏和静电损坏

IGBT 在关断时,由于逆变电路中存在电感成分,关断瞬间产生尖峰电压,如果尖峰电压超过 IGBT 器件的最高峰值电压,将造成 IGBT 击穿损坏。IGBT 过电压损坏可分为集电极-栅极过电压、栅极-发射极过电压、高 du/dt 过电压等。大多数过电压保护的电路设计都比较完善,但是对于由高 du/dt 所导致的过电压故障,基本上都是采用无感电容或者 RCD 结构吸收电路。由于吸收电路设计的吸收容量不够而造成 IGBT 损坏,对此可采用电压钳位,往往在集电极-栅极两端并接齐纳二极管,采用栅极电压动态控制,当集电极电压瞬间超过齐纳二极管的钳位电压时,超出的电压将叠加在栅极上(米勒效应起作用),避免了 IGBT 因受集电极发射极过电压而损坏。

采用栅极电压动态控制可以解决过高的 du/dt 带来的集电极发射极瞬间过电压问题,但是它的弊端是当 IGBT 处于感性负载运行时,半桥结构中处于关断的 IGBT,由于其反并联二极管(续流二极管)的恢复,其集电极-发射极两端的

电压急剧上升，从而承受瞬间很高的 du/dt 。多数情况下，该 du/dt 值要比 IGBT 正常关断时的集电极-发射极电压上升率高，由于米勒电容 (C_{res}) 的存在，该 du/dt 值将在集电极和栅极之间产生一个瞬间电流，流向栅极驱动电路。该电流与栅极电路的阻抗相互作用，直接导致栅极-发射极电压 U_{GE} 值的升高，甚至超过 IGBT 的开通门限电压 $U_{GE(th)}$ 值。出现恶劣的情况就是使 IGBT 被误触发导通，导致变换器的桥臂短路。

(3) 过热损坏

过热损坏一般指使用中 IGBT 模块的结温正超过晶片的最大温度限定，目前应用的 IGBT 器件还是以 $T_{jmax}=150^{\circ}\text{C}$ 的 NPT 技术为主流的，为此在 IGBT 模块应用中其结温应限制在该值以下。