

接工艺和优化键接过程, 模块的寿命又有了新的提高。例如, 现在在 $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ 和 $T_{j,\min} = 40^\circ\text{C}$ 的条件下, 已经可以达到 20000 次的循环次数。目前, 更新的 SEMIKRON 功率模块寿命曲线正在准备中。

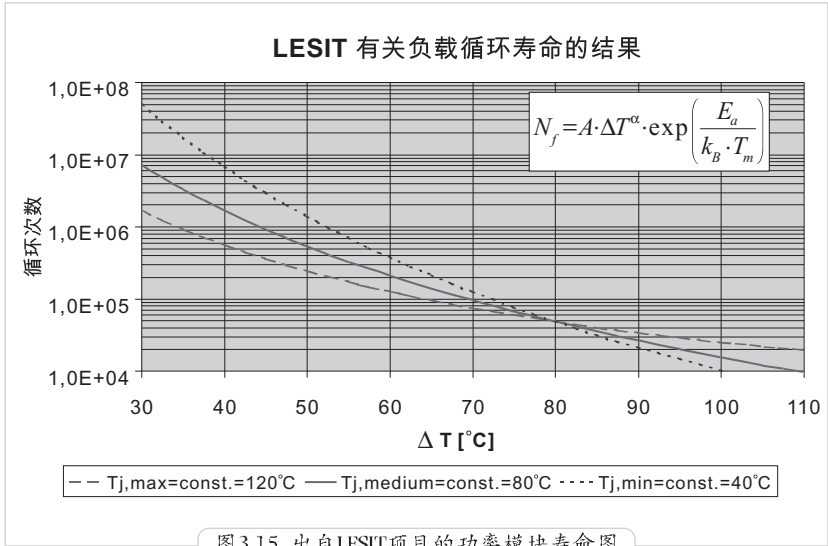


图 3.15 出自 LESIT 项目的功率模块寿命图

3.3 功率模块的冷却

3.3.1 冷却装置、冷却介质和冷却方法

功率模块的通态损耗、开关损耗、截止损耗等所产生的温升需由散热器来降低。散热器的作用是增加功率模块的传热和辐射面积、扩张热流以及缓冲传热过渡过程。

基于模块的绝缘性能, 一个系统的所有功率模块都可安装在一块共同的散热器上。该散热器同时还可当作结构部件, 实现其它的功能(外壳、底座等)。

散热器的散热过程为: 通过直接传导或借助于传热介质将热量传递到冷却介质。

传热介质可以是空气、水或者(在极少数情况下)绝缘油, 通过其自身的重力或通过风扇以及泵来实现循环过程。

冷却介质可以是自然或被强制流动的空气、水及其混合液。

下面,我们将主要讨论自然空气冷却(自然对流)、强制空气冷却以及仅含一种冷却介质的水冷系统。其它更为复杂的冷却方式,象热管或蒸发冷却,一般来说需要针对具体的应用做特别的设计。另外,在功率模块中油冷也几乎很少被用到。

在材料费用和加工费用允许的情况下,散热器材料应该具有尽可能好的导热系数 λ 。因此,金属铝(纯铝 $\lambda = 247\text{W/K}\cdot\text{m}$)通常是优先被采用的材料。在要求特别高的场合有时也可以采用铜($\lambda = 398\text{W/K}\cdot\text{m}$)。

值得注意的是导热系数与制造工艺以及所采用的合金有很大的关系。在实际应用中,多数散热器的导热系数 λ 大致在 $150\text{W/K}\cdot\text{m}$ (铸造铝合金)和 $220\text{W/K}\cdot\text{m}$ (AlMgSi挤压成型)之间。

热量的扩散对散热器的散热效率有着可观的影响。因此,对散热器根部厚度的优化、翼片的数目、翼片的高度以及翼片的厚度之间比例的合适选取显得相当重要:

1. 散热器的根部是用于安装功率模块的、不含分岔的平面区域。该处与模块底板之间的温度梯度相对较小,有着明显的热扩散作用。
2. 对于空冷散热器来说,其大部分热量是通过翼片以辐射和传导的方式传递到周边环境的。而对于水冷散热器来说,这一作用是或多或少地由具有特定结构的水通道来实现的。

$$\text{由 } R_{\text{thja}} = \Delta T / P_{\text{tot}} = 1 / (\alpha * A)$$

$$\text{可得到 } Q = \alpha * A * \Delta T = P_{\text{tot}}$$

(以上 Q 为散发的热量, α 为传导系数, A 为传热面积, ΔT 为与环境温度之间的温度差, P_{tot} 为需要带走的损耗, R_{thja} 为散热器的热阻)。

如果采用较多的翼片,便可以增大传热面积,但前提是能够保证流体的顺畅流动,否则 α 会超比例下降。

从这一结论出发,自然冷却和强制冷却的优化条件便有所不同。

当功耗增加时,散热器温度增高,受热也就更加均匀。也就是说,有效热交换的面积在增加。在图 3.16 中还可以看到,增加散热器的长度也可以增加热交换的面积。

3.3.2 冷却装置的传热模型

在 1.4.2.2 节中介绍功率模块的热性能时,等效热路中的散热器是由一个 RC 元件来描述的(R_{thja} , Z_{thja})。

然而,当功耗在 $t = 0$ 时刻从 $P = 0$ 跳跃到 $P = P_m$ 时,散热器的动态热抗 Z_{thja} 随时间 t 而变化的特性曲线显示出其具有多个时间常数,如图 3.16 举例所示。系统总热抗的特性曲线 $Z_{\text{thja}}(t)$ 可以通过将功率模块的热抗与模块一散热器的热抗相迭加而得到。