

## 开关功耗

### IGBT T1:

假设开关能耗与集电极电流之间存在着线性关系,则 IGBT 的总功耗可以根据这一简化来由下式计算:

$$P_{\text{on+off/T1}} = \frac{1}{\pi} \cdot f_s \cdot [E_{\text{on/T}}(\hat{i}_1) + E_{\text{off/T}}(\hat{i}_1)] \quad (3.7)$$

事实上,公式 3.7 是基于如下假定,即在一个电流的正弦半波内,IGBT 的开关损耗可以用一个相应的直流电流所产生的开关损耗来等效,这个直流电流便是该正弦半波的平均值。

在其它直流母线电压下的 IGBT 开关损耗可以近似地按比例换算。

### 二极管 D2:

假设关断能耗与二极管的电流之间存在着线性关系,则二极管的总功耗可以根据这一简化来由下式计算:

$$P_{\text{off/D2}} = \frac{1}{\pi} \cdot f_s \cdot E_{\text{off/D}}(\hat{i}_1) \quad (3.8)$$

事实上,公式 3.8 也是基于如下假定,即在一个电流的正弦半波内,二极管的开关损耗可以用一个相应的直流电流所产生的开关损耗来等效,这个直流电流便是该正弦半波的平均值。

在其它直流母线电压下的二极管开关功耗可近似地按比例换算。

对于实际运行的逆变器,上述简化的功耗计算方法可提供足够准确的结果。

此方法的最大优点在于,应用者可从模块的参数表中找出所有计算所需的参数。

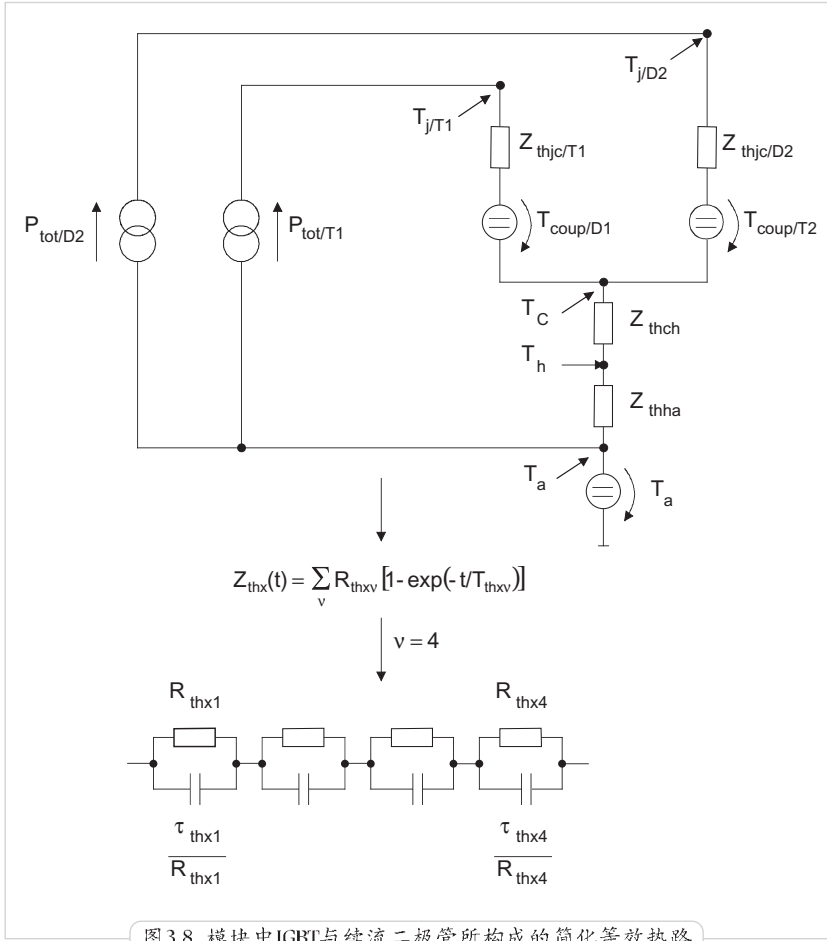
## 3.2.2 结温的计算

### 3.2.2.1 概述

结温的计算是建立在图 3.8 所示的简化等效热路的基础上的。

在计算中,晶体管和二极管的符号可以参照图 3.5。

此等效热路仅代表一个晶体管以及同一模块中与之换流的二极管,即限于共同承担负载电流的一个正弦半波的两个元件(在图中为 T1 和 D2)。按照类似的方法可以得到 T2 和 D1 的等效热路。



图中所采用的符号解释如下： $P_{tot}$ 为晶体管和续流二极管的总功耗； $T_j$ 为结温； $Z_{thjc}$ 为芯片和模块外壳之间的热抗； $T_c$ 为壳温； $Z_{thch}$ 为模块外壳和散热器之间的热抗； $T_h$ 为散热器温度； $Z_{thha}$ 为散热器和环境之间的热抗（见3.3章）； $T_a$ 为环境温度。

在功率模块中，晶体管和二极管被焊接在同一块铜质底板上。因此， $T_{coup/D1}$ 和 $T_{coup/T2}$ 代表了T1和D2对与其反并联的元件D1和T2的传热耦合，尤其是在低频输出时，它们有着可观的影响。

热耦合的精确确定只有对模块结构进行复杂的传热模拟计算才能得到[194]。因此，在简化计算中一般忽略热耦合的影响。

如果晶体管 and 续流二极管位于同一个模块里,则可以简化地认为它们的壳温以及散热器温度是相同的。

这一简化并不适用于大功率的单元件模块,此时,晶体管和二极管需要采用不同的等效热抗参数 $Z_{thch}$ 。

在外壳和散热器之间的传热参数主要依赖于下列因素:模块底板的状况、模块与散热器之间的接触压力、导热脂、散热器的表面状况等等。尤其要留意器件制造商提供的参数和推荐值(参阅 1.4.2.2 节)。

如果采用计算机来辅助计算结温随时间变化的过程,则热抗可拆分为一组 RC 元件(见图 3.8)。

为方便用户,SEMIKRON 在其技术手册中给出了等效 RC 元件的参数,用于计算功率模块的热抗 $Z_{thjc}$ 。同样,用户还可查询散热系统的热抗参数(见 3.3.6 节)。

基于图 3.8 所示的等效热路,以壳温为参考点,晶体管和二极管的结温随时间而变化的表达式如下:

$$T_{jT1}(t) = T_C + T_{coup/D1} + P_{T1}(t) \cdot \sum_{v=1}^n R_{thv/T1} \left[ 1 - \exp(-t/\tau_{thv/T1}) \right] \quad (3.9)$$

$$T_{jD2}(t) = T_C + T_{coup/T2} + P_{D2}(t) \cdot \sum_{v=1}^n R_{thv/D2} \left[ 1 - \exp(-t/\tau_{thv/D2}) \right] \quad (3.10)$$

在设计变流器时,常常只需要知道结温的平均值及其波动幅度。典型负载下的结温计算将在下节中举例示出。

### 3.2.2.2 间歇工作时的结温

功率半导体在间歇工作时,它能够承受的电流可以大于参数表中所给出的连续工作额定电流。但此时仍需保证在给定条件下所出现的最高结温不大于其最大定额  $T_j = 150^\circ\text{C}$ 。

具体的计算可以应用 3.2.2.1 节中的公式 3.9 和 3.10。