

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。

举例：

单脉冲

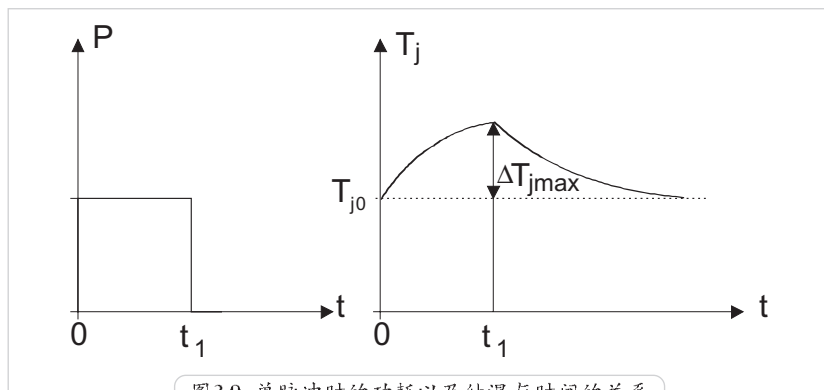


图3.9 单脉冲时的功耗以及结温与时间的关系

结温在时刻 t_1 时变化增量的最大值：

$$\Delta T_{j\max} = \Delta T_j(t_1) = P \cdot \sum_{\nu=1}^n R_{\text{th}\nu} \left[1 - \exp\left(-t_1/\tau_{\text{th}\nu}\right) \right] \quad (3.11)$$

在冷却阶段的结温：

$$\Delta T(t > t_1) = P \cdot \sum_{\nu=1}^n R_{\text{th}\nu} \left[1 - \exp\left(-t_1/\tau_{\text{th}\nu}\right) \right] - P \cdot \sum_{\nu=1}^n R_{\text{th}\nu} \left[1 - \exp\left(-(t-t_1)/\tau_{\text{th}\nu}\right) \right] \quad (3.12)$$

以上公式中，采用恒定的壳温作为参考点。

一次性的单脉冲系列

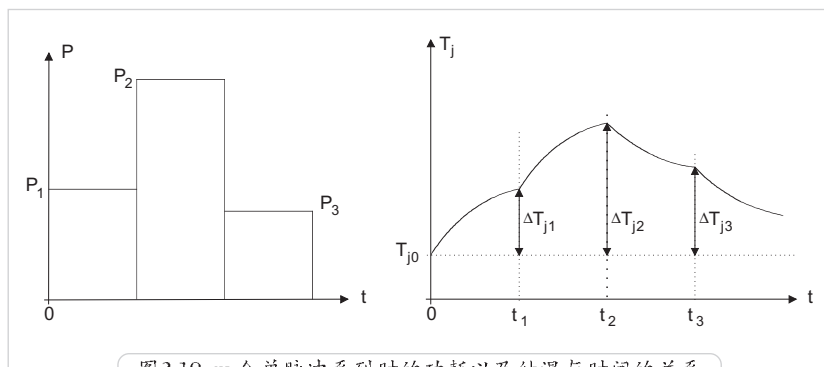


图3.10 m个单脉冲系列时的功耗以及结温与时间的关系

时刻 t_1 时的结温增量：

$$\Delta T_{j1} = P_1 \cdot \sum_{\nu=1}^n R_{\text{th}\nu} \left[1 - \exp\left(-t_1/\tau_{\text{th}\nu}\right) \right] \quad (3.13)$$

时刻 t_2 时的结温增量:

$$\Delta T_{j2} = P_1 \cdot \sum_{v=1}^n R_{thv} \left[1 - \exp\left(-t_2/\tau_{thv}\right) \right] + (P_2 - P_1) \cdot \sum_{v=1}^n R_{thv} \left[1 - \exp\left(-\left(t_2 - t_1\right)/\tau_{thv}\right) \right] \quad (3.14)$$

时刻 t_m 时的结温增量:

$$\Delta T_j(t_m) = \sum_{\mu=1}^m (P_{\mu} - P_{\mu-1}) \cdot \sum_{v=1}^n R_{thv} \left[1 - \exp\left(-\left(t_m - t_{\mu-1}\right)/\tau_{thv}\right) \right] \quad (3.15)$$

以上公式中, 采用恒定的壳温作为参考点。

3.2.2.3 脉冲调制时的结温

处于周期性脉冲功耗负载下的平均和最大结温, 可由参数表中所给出的晶体管 and 二极管的用于周期性脉冲运行的 Z_{thjC} 曲线来计算。

图 3.11 以 SKM100GB123D 为例, 显示了模块中 IGBT 和二极管的相应曲线和在脉冲运行条件下电流和结温的曲线。

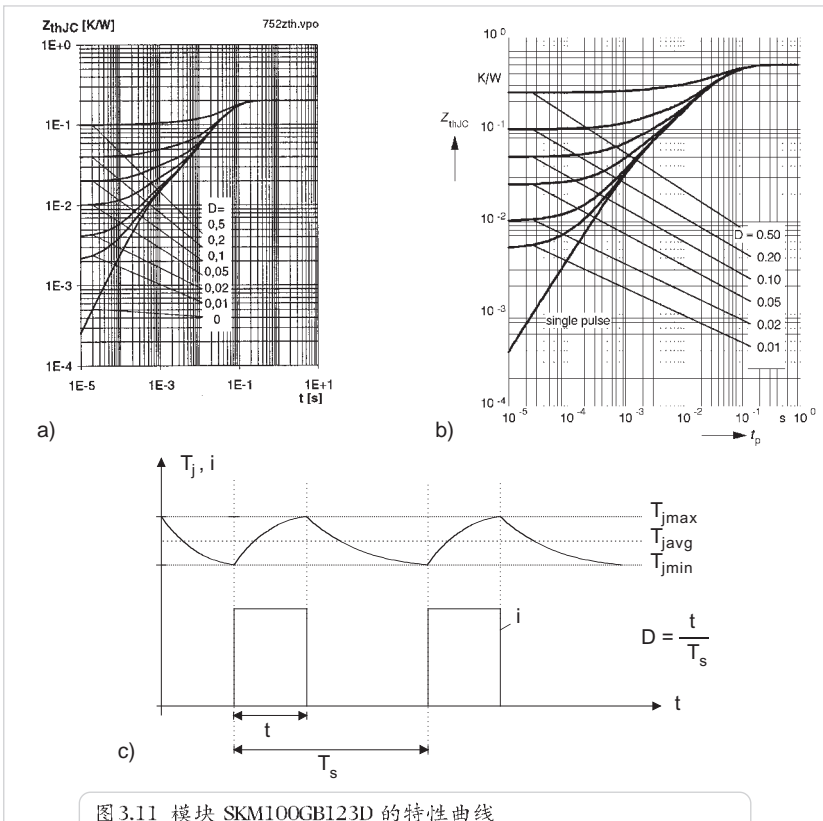


图 3.11 模块 SKM100GB123D 的特性曲线

a) IGBT 的动态热抗 b) 二极管的动态热抗 c) 电流和结温