

功率器件的散热计算及散热器选择

Heat Dispersion Calculation For Power Devices and Radiators Selection

■北京航空航天大学 方佩敏

目前的电子产品主要采用贴片式封装器件，但大功率器件及一些功率模块仍然有不少用穿孔式封装，这主要是可方便地安装在散热器上，便于散热。进行大功率器件及功率模块的散热计算，其目的是在确定的散热条件下选择合适的散热器，以保证器件或模块安全、可靠地工作。

散热计算

任何器件在工作时都有一定的损耗，大部分的损耗变成热量。小功率器件损耗小，无需散热装置。而大功率器件损耗大，若不采取散热措施，则管芯的温度可达到或超过允许的结温，器件将受到损坏。因此必须加散热装置，最常用的就是将功率器件安装在散热器上，利用散热器将热量散到周围空间，必要时再加上散热风扇，以一定的风速加强冷却散热。在某些大型设备的功率器件上还采用流动冷水冷却板，它有更好的散热效果。散热计算就是在一定的工作条件下，通过计算来确定合适的散热措施及散热器。功率器件安装在散热器上。它的主要热流方向是由管芯传到器件的底部，经散热器将热量散到周围空间。若没有风扇以一定风速冷却，这称为自然冷却或自然对流散热。

热量在传递过程有一定热阻。由器件管芯传到器件底部的热阻为 R_{JC} ，器件底部与散热器之间的热阻为 R_{CS} ，散热器将热量散到周围空间的热阻为 R_{SA} ，总的热阻 $R_{JA}=R_{JC}+R_{CS}+R_{SA}$ 。若器件的最大功率损耗为 P_D ，并已知器件允许的结温为 T_J 、环境温度为 T_A ，可以按下式求出允许的总热阻 R_{JA} 。

$$R_{JA} \leq (T_J - T_A) / P_D$$

则计算最大允许的散热器到环境温度的热阻 R_{SA} 为

$$R_{SA} \leq ((T_J - T_A) / P_D) - (R_{JC} + R_{CS})$$

出于为设计留有余地的考虑，一般设 T_J 为 125°C 。环境温度也要考虑较坏的情况，一般设 $T_A=40^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 。 R_{JC} 的大小与管芯的尺寸封装结构有关，一般可以从器件的数据资料中找到。 R_{CS} 的大小与安装技术及器件的封装有关。如果器件采用导热油脂或导热垫后，再与散热器安装，其 R_{CS} 典型值为 $0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}/\text{W}$ ；若器件底面不绝缘，需要另外加云母片绝缘，则其 R_{CS} 可达 $1^\circ\text{C}/\text{W}$ 。 P_D 为实际的最大损耗功率，可根据不同器件的工作条件计算而得。这样， R_{SA} 可以计算出来，根据计算的 R_{SA} 值可选合适的散热器了。

散热器简介

小型散热器(或称散热片)由铝合金板料经冲压工艺及表面处理制成，而大型散热器由铝合金挤压成型材，再经机械加工及表面处理制成。它们有各种形状及尺寸供不同器件安装及不同功耗的器件选用。散热器一般是标准件，也可提供型材，由用户根据要求切割成一定长度而制成非标准的散热器。散热器的表面处理有电泳涂漆或黑色氧化处理，其目的是提高散热效率及绝缘性能。在自然冷却下可提高 $10 \sim 15\%$ ，在通风冷却下可提高 3% ，电泳涂漆可耐压 $500 \sim 800\text{V}$ 。

散热器厂家对不同型号的散热器给出热阻值或给出有关曲线，并且给出在不同散热条件下的不同热阻值。

计算实例

一功率运算放大器PA02(APEX公司产品)作低频功放，其电路如图1所示。器件为8引脚TO-3金属外壳封装。器件工作条件如下：工作电压 V_S 为 18V ；负载阻抗 R_L 为 4Ω ，工作频率直流条件下可到 5kHz ，环境温度设为 40°C ，采用自然冷却。

查PA02器件资料可知：静态电流 I_Q 典型值为 27mA ，最大值为 40mA ；器件的 R_{JC} (从管芯到外壳)典型值为 $2.4^\circ\text{C}/\text{W}$ ，最大值为 $2.6^\circ\text{C}/\text{W}$ 。

器件的功耗为 P_D ：

$$P_D = P_{DQ} + P_{DOUT}$$

式中 P_{DQ} 为器件内部电路的功耗， P_{DOUT} 为输出功率的功耗。 $P_{DQ} = I_Q(V_S + |-V_S|)$ ， $P_{DOUT} = V^2_{\{S\}} / 4R_L$ ，代入上式

$$P_D = I_Q(V_S + |-V_S|) + V^2_{\{S\}} / 4R_L$$

$$= 37\text{mA}(36\text{V}) + 18\text{V}^2 / 4 \times 4$$

$$= 21.6\text{W}$$

式中静态电流取 37mA 。

散热器热阻 R_{SA} 计算: $R_{SA} \leq \frac{(T_{J} - T_{A})}{P_{D}} - (R_{JC} + R_{CS})$

为留有余量, T_J 设 125°C, T_A 设为 40°C, R_{JC} 取最大值 (R_{JC} = 2.6°C/W), R_{CS} 取 0.2°C/W, (PA02 直接安装在散热器上, 中间有导热油脂)。将上述数据代入公式得

$$R_{SA} \leq \frac{125^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}}{21.6\text{W}} - (2.6^{\circ}\text{C}/\text{W} + 0.2^{\circ}\text{C}/\text{W}) \leq 1.135^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

HS04 在自然对流时热阻为 0.95°C/W, 可满足散热要求。

注意事项

1. 在计算中不能取器件数据资料中的最大功耗值, 而要根据实际条件来计算; 数据资料中的最大结温一般为 150°C, 在设计中留有余地取 125°C, 环境温度也不能取 25°C (要考虑夏天及机箱的实际温度)。
2. 散热器的安装要考虑利于散热的方向, 并且要在机箱或机壳上相应的位置开散热孔 (使冷空气从底部进入, 热空气从顶部散出)。
3. 若器件的外壳为一电极, 则安装面不绝缘 (与内部电路不绝缘)。安装时必须采用云母垫片来绝缘, 以防止短路。
4. 器件的引脚要穿过散热器, 在散热器上要钻孔。为防止引脚与孔壁相碰, 应套上聚四氟乙烯套管。
5. 另外, 不同型号的散热器在不同散热条件下有不同热阻, 可供设计时参改, 即在实际应用中可参照这些散热器的热阻来计算, 并可采用相似的结构形状 (截面积、周长) 的型材组成的散热器来代用。
6. 在上述计算中, 有些参数是设定的, 与实际值可能有出入, 代用的型号尺寸也不完全相同, 所以在批量生产时应作模拟试验来证实散热器选择是否合适, 必要时做一些修正 (如型材的长度尺寸或改变型材的型号等) 后才能作批量生产。

IDT 热量数据

考虑到微电子器件的功率消耗问题, 热能管理对于任何电子产品能否达到最佳性能是至关重要的。微电子器件的操作温度决定了产品的速度和可靠性。IDT 积极致力于加强其产品和封装的研发, 以达到最佳的速度和可靠性。然而, 产品性能经常受到执行情况影响, 因此小心处理各项影响操作温度的因素有助于充分发挥产

影响器件操作温度最重要的因素包括功率消耗、空气温度、封装构造和冷却装置等。以上这些因素共同决定了产品的操作温度。以下是目前计算操作温度所采用的方程式

$$Q_{JA} = (T_J - T_A)/P$$

$$Q_{JC} = (T_J - T_C)/P$$

$$Q_{CA} = (T_C - T_A)/P$$

$$Q_{JA} = Q_{JC} + Q_{CA}$$

$$T_J = T_A + P [Q_{JA}]$$

$$T_C = T_A + P [Q_{CA}]$$

Q_{JA} = 管芯到周围环境空气的封装热阻力 (每瓦摄氏度)

Q_{JC} = 管芯到封装外壳的封装热阻力 (每瓦摄氏度)

Q_{CA} = 封装外壳到周围环境空气的封装热电阻 (每瓦摄氏度)

T_J = 平均管芯温度 (摄氏度)

T_C = 封装外壳温度 (摄氏度)

T_A = 周围环境空气温度 (摄氏度)

P = 功率 (瓦)

以上方程式是目前决定封装温度的方法。业界有时会采用更为精确和复杂的方法, 但相应地需要获得更多的装配条件和冷却设备方面的信息。由于收集这些信息是相当困难的, 这些简单的方法就通常被用来比较不同封装的热性能和预测操作温度。

热或冷: 热阻值是关键因素

热阻值是测试的关键因素。它是种决定散热器性能表现的测试方法。它是根据下列公式, 从处理器的电压损失 P_V、芯片温度 T_D 和环境温度 T_A 所计算出来:

$$R_{\text{therm}} = (T_D - T_A) / P_V \text{ 单位 K/W}$$