

功率器件热设计及散热计算

引言

当前，电子设备的主要失效形式就是热失效。据统计，电子设备的失效有55%是温度超过规定值引起的，随着温度的增加，电子设备的失效率呈指数增长。所以，功率器件热设计是电子设备结构设计中不可忽略的一个环节，直接决定了产品的成功与否，良好的热设计是保证设备运行稳定可靠的基础。

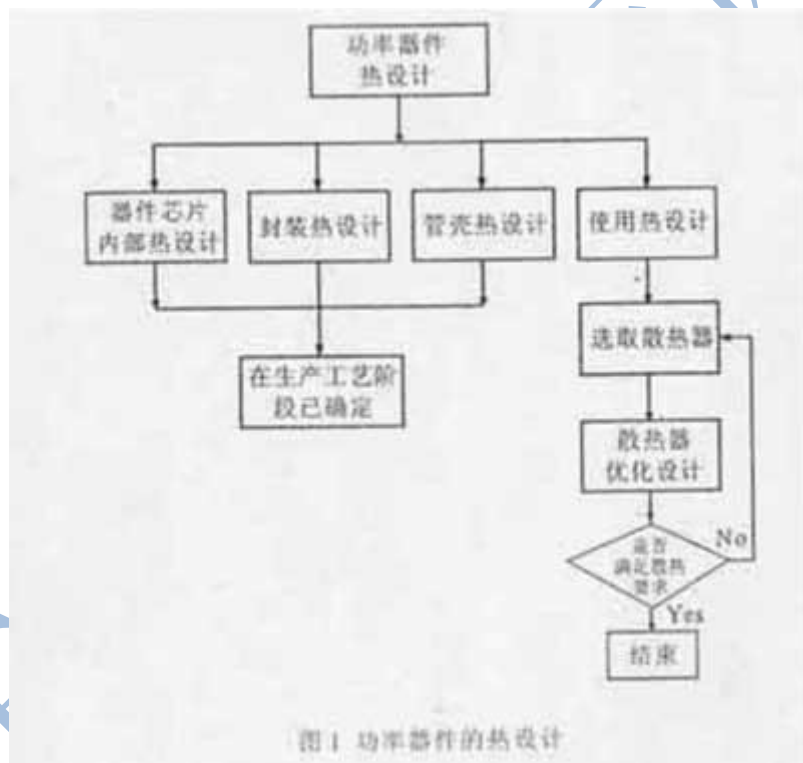


图1 功率器件的热设计

功率器件热性能的主要参数

功率器件受到的热应力可来自器件内部，也可来自器件外部。若器件的散热能力有限，则功率的耗散就会造成器件内部芯片有源区温度上升及结温升高，使得器件可靠性降低，无法安全工作。表征功率器件热能力的参数主要有结温和热阻。

器件的有源区可以是结型器件（如晶体管）的 PN 结区、场效应器件的沟道区，也可以是集成电路的扩散电阻或薄膜电阻等。当结温 T_j 高于周围环境温度 T_a 时，热量通过温差形成扩散热流，由芯片通过管壳向外散发，散发出的热量随着温差 $(T_j - T_a)$ 的增大而增大。为了保证器件能够长期正常工作，必须规定一个最高允许结温 $T_{j\max}$ 。 $T_{j\max}$ 的大小是根据器件的芯片材料、封装材料和可靠性要求确定的。

功率器件的散热能力通常用热阻表征，记为 R_t ，热阻越大，则散热能力越差。热阻又分为内热阻和外热阻：内热阻是器件自身固有的热阻，与管芯、外壳材料的导热率、厚度和截面积以及加工工艺等有关；外热阻则与管壳封装的形式有关。一般来说，管壳面积越大，则外热阻越小。金属管壳的外热阻明显低于塑封管壳的外热阻。

当功率器件的功率耗散达到一定程度时，器件的结温升高，系统的可靠性降低，为了提高可靠性，应进行功率器件的热设计。

功率器件热设计

功率器件热设计主要是防止器件出现过热或温度交变引起的热失效，可分为器件内部芯片的热设计、封装的热设计和管壳的热设计以及功率器件实际使用中的热设计。

对于一般的功率器件，只需要考虑器件内部、封装和管壳的热设计，而当功耗较大时，则需要安装合适的散热器，通过其有效散热，保证器件结温在安全结温之内正常可靠的工作。

散热计算

最常用的散热方法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。

热量在传递过程中有一定热阻。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：

$$R_{sa} \leq (T_j - T_a) / P_d - (R_{jc} + R_{cs})$$

为设计考虑，一般设 T_j 为 125°C 。在较坏的环境温度情况下，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和封装结构有关，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 $0.1^\circ\text{C}/\text{W} \sim 0.2^\circ\text{C}/\text{W}$ ；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。

计算实例

一功率运算放大器 PA02 作低频功放，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 $4\ \Omega$ ，频率 1 kHz，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。 $P_{dq} = I_q (V_{s+} + |V_{s-}|)$ ， $P_{dout} = V_s^2 / (4 R_L)$ ，代入上式

$$P_d = I_q (V_{s+} + |V_{s-}|) + V_s^2 / (4 R_L)$$

$$= 0.037 \times (18 + 18) + 18^2 / (4 \times 4)$$

$$= 21.6\ \text{W}$$

式中，静态电流取 37mA。

散热器热阻 R_{sa} 计算： $R_{sa} \leq (T_j - T_a) / P_d - (R_{jc} + R_{cs})$

为留有余量, T_j 设为 125°C , T_a 设为 40°C , R_{jc} 取最大值 ($R_{jc}=2.6^{\circ}\text{C}/\text{W}$), R_{cs} 取 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ (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:

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

HS04 在自然对流时热阻为 $0.95^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 可满足散热要求。

散热器的选取

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 $500\text{V} \sim 800\text{V}$ 。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。

功率器件使用散热器是要控制功率器件的温度, 尤其是结温 T_j , 使其低于功率器件正常工作的安全结温, 从而提高功率器件的可靠性。常规散热器趋向标准化、系列化、通用化, 而新产品则向低热阻、多功能、体积小、质量轻、适用于自动化生产与安装等方向发展。合理地选用、设计散热器, 能有效降低功率器件的结温, 提高功率器件的可靠性。

各种功率器件的内热阻不同, 安装散热器时由于接触面和安装力矩的不同, 会导致功率器件与散热器之间的接触热阻不同。选择散热器的主要依据是散热器热阻 R_{tf} 。在不同的环境条件下, 功率器件的散热情况也不同。因此, 选择合适的散热器还要考虑环境因素、散热器与功率器件的匹配情况以及整个电子设备的体积、质量等因素。

首先根据功率器件正常工作时的性能参数和环境参数, 计算功率器件结温是否工作在安全结温之内, 判断是否需要安装散热器, 如需安装则计算相应的散热器热阻, 初选一散热器; 重新计算功率器件结温, 判断功率器件结温是否在安全结温范围之内, 从而判断所选散热器是否满足要求; 对于符合要求的散热器, 应根据实际工程需要进行优化设计。

结语

通过功率器件发热原理的分析和散热计算, 可以指导设计散热方式和散热器的选择, 保证了功率器件工作在安全的温度范围内, 减少了质量问题, 提高了电

子产品的可靠性。电子设备的可靠性还同元器件、结构、装配、工艺、加工质量等有关，在实际工程应用上，还应通过各种试验取得反馈数据来完善设计，进一步提高电子设备的可靠性。

参考文献

- 1 王建石编。电子设备结构设计标准手册。北京：中国标准出版社，2001，
10

OFweek电源网