

开关电源之热设计

引言

我们设计的 DC-DC 电源一般包含电容、电感、肖特基、电阻、芯片等元器件；电源产品的转换效率不可能做到百分百，必定会有损耗，这些损耗会以温升的形式呈现在我们面前，电源系统会因热设计不良而造成寿命加速衰减。所以热设计是系统可靠性设计环节中尤为重要的一面。但是热设计也是十分困难的事情，涉及到的因素太多，比如电路板的尺寸和是否有空气流动。

我们在查看 IC 产品规格书时，经常会看到 R_{JA} 、 T_J 、 T_{STG} 、 T_{LEAD} 等名词；首先 R_{JA} 是指芯片热阻，即每损耗 1W 时对应的芯片结点温升， T_J 是指芯片的结温， T_{STG} 是指芯片的存储温度范围， T_{LEAD} 是指芯片的加工温度。

术语解释

首先了解一下与温度有关的术语： T_J 、 T_A 、 T_C 、 T_T 。由“图 1”可以看出， T_J 是指芯片内部的结点温度， T_A 是指芯片所处的环境温度， T_C 是指芯片背部焊盘或者是底部外壳温度， T_T 是指芯片的表面温度。数据表中常见的表征热性能的参数是热阻 R_{JA} ， R_{JA} 定义为芯片的结点到周围环境的热阻。其中 $T_J = T_A + (R_{JA} * P_D)$

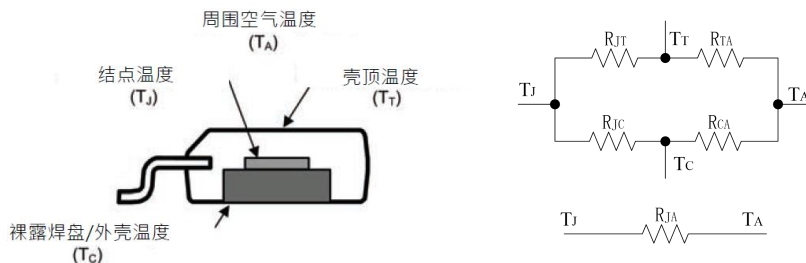


图 1. 简化热阻模型

对于芯片所产生的热量，主要有两条散热路径。第一条路径是从芯片的结点到芯片顶部塑封体 (R_{JT})，通过对流/辐射 (R_{TA}) 到周围空气；第二条路径是从芯片的结点到背部焊盘 (R_{JC})，通过对流/辐射 (R_{CA}) 传导至 PCB 板表面和周围空气。对于没有散热焊盘的芯片， R_{JC} 是指结点到塑封体顶部的热阻；因为 R_{JC} 代表从芯片内的结点到外界的最高热阻路径。

典型热阻值

表 1 典型热阻

名称	值 (°C/W)	描述	工作条件	方程
R_{CU}	71.4	铜平面的横向热阻	长度 $L=1\text{cm}$ ，宽度 $=1\text{cm}$ ，铜箔厚度 $=0.0035\text{cm}$ ，铜的热导率 (λ_{cu}) $=4\text{W}/(\text{cm}^\circ\text{C})$	$R_{CU} = \frac{1}{\lambda_{CU}} * L = \frac{0.25 * 1}{1 * 0.0035}$
R_{VIA}	261	典型 12mil 过孔热阻	过孔长度 $L=0.165\text{cm}$ ，孔壁铜厚 $=0.00175\text{cm}$ ，孔径 $=0.01524\text{cm}$ ，铜的热导率 (λ_{cu}) $=4\text{W}/(\text{cm}^\circ\text{C})$	$R_{VIA} = \frac{1}{\lambda_{CU}} * L = \frac{0.25 * 0.165}{3.14 * [0.01524^2 - (0.01524 - 0.00175)^2]}$
R_{SA}	1000	自然对流引起的从 PCB 板上边长 1cm 的正方形的表面到周围空气的热阻	边长为 1cm 的正方形，自然对流条件下 PCB 板到空气的热传递系数近似值 (h) $=0.001\text{W}/(\text{cm}^2\text{C})$	$R_{SA} = \frac{1}{h} = \frac{1000}{1 * 1}$
R_{FR4}	13.9	FR-4 垫片的纵向热阻	边长为 1cm 的正方形，FR-4 厚度 $D=0.032\text{cm}$ ，FR-4 热导率 (λ_{FR4}) $=0.0023\text{W}/(\text{cm}^\circ\text{C})$	$R_{FR4} = \frac{1}{\lambda_{FR4}} * D = \frac{435 * 0.032}{1 * 1}$

从表 1 可以看出，热阻与 PCB 板尺寸、空气流动、PCB 板厚度、过孔数量等参数都有关系。

设计实例：

某直流降压方案，输出 5V，电流 1A，转换效率 η 为 90%，环境温度 T_A 为 50℃。使用的电容额定温度 100℃，且跟芯片靠的很近，要求芯片 T_J 温度控制在 90℃。

首先系统的损耗 $P_D = V_{OUT} * I_{OUT} * (1/\eta - 1) = 5 * 1 * (1/0.9 - 1) = 0.56W$

假定所有损耗都算在芯片上，可以计算出热阻 $R_{JA} \leq (90^\circ C - 50^\circ C) / 0.56 \leq 71.4^\circ C/W$

1.PCB 板尺寸

选用芯片的热阻要低于 71.4℃/W，选用 SOP8-EP 芯片，其 R_{JA} 为 60℃/W，仍需要设计一个 PCB 板或散热片来把热量从塑封体传到周围空气。在只有自然对流（即没有空气流动）及没有散热片的情况下，一个两面都覆铜的电路板上，根据经验法则需要的电路板面积可用如下方程估算得到：

$$\text{电路板面积 (cm}^2\text{)} \geq 15.29 \frac{\text{cm}^2}{\text{W}} * P_D = 15.29 * 0.56 \text{cm}^2 = 8.56 \text{cm}^2$$

2.散热孔

$$\text{散热孔对应的热阻方程: } R_{VIAS} = \frac{261 \frac{^\circ C}{W}}{\text{散热孔数量}}$$

通过以上公式可知，增加散热孔的数量可以有效降低过孔的热阻。

3.铜箔厚度

$$\text{铜箔对应的热阻方程: } R_{Cu} = \frac{1}{\lambda_{Cu}} * \frac{\text{长度}}{\text{宽度} * \text{厚度}}$$

其中 $\lambda_{Cu} = 4W/cm^\circ C$ ，长度和宽度单位都是厘米，可以通过增加铜箔厚度来降低热阻。

4.散热片

散热片可以有效的降低芯片的温度，但是散热片的位置也很重要。对于贴片元器件，散热片可以直接放置在芯片塑封体顶部，如“图 2”所示，但是由于芯片塑封体的热阻较大，且散热片与其接触不良，会降低散热片的性能。也可以将散热片与芯片背部的过孔相连，提高散热片的性能。

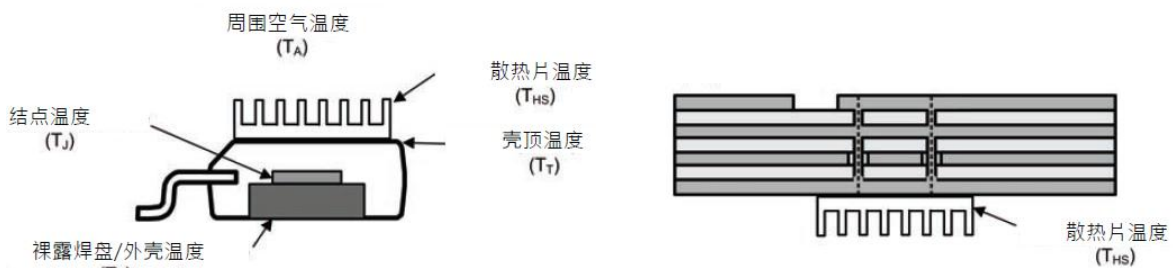


图 2. 散热片的摆放位置

5.风冷

在产品空间范围比较大，且不是密封的环境内，可以通过小功率的风扇产生气流，这样可以显著降低系统整体的热阻。

6.灌胶

对于要求防水、防尘、防震动的产品，可以通过在密封的模具中灌入导热硅脂，使电源系统元器件通过导热硅脂将热量传递到外壳，进而将热量散出去。