

开关电源的热设计方法详解





- 定义从1991年的25w/in³、1994年36w/in³、1999年52w/in³、2001年96w/in³，目前已高达数百瓦每立方英寸。由于开关电源中使用了大量的大功率半导体器件，如整流桥堆、大电流整流管、大功率三极管或场效应管等器件。它们工作时会产生大量的热量，如果不能把这些热量及时地排出并使之处于一个合理的水平将会影响开关电源的正常工作，严重时损坏开关电源。为提高开关电源工作的可靠性，热设计在开关电源设计中是必不可少的重要一个环节。
1.热设计中常用的几种方法为了将发热器件的热量尽快地散发出去，一般从以下几个方面进行考虑：使用散热器、冷却风扇、金属pcb、散热膏等。在实际设计中要针对客户的要求及最佳费/效比合理地将上述几种方法综合运用到电源的设计中。
2.半导体器件的散热器设计由于半导体器件所产生的热量在开关电源中占主导地位，其热量主要来源于半导体器件的开通、关断及导通损耗。从电路拓扑方式上来讲，采用零开关变换拓扑方式产生谐振使电路中的电压或电流在过零时开通或关断可最大限度地减少开关损耗但也无法彻底消除开关管的损耗故利用散热器是常用及主要的方法。
2.1散热器的热阻模型由于散热器是开关电源的重要部件，它的散热效率高与低关系到开关电源的工作性能。散热器通常采用铜或铝，虽然铜的热导率比铝高2倍但其价格比铝高得多，故目前采用铝材料的情况较为普遍。通常来讲，散热器的表面积越大散热效果越好。散热器的热阻模型及等效电路如上图所示
半导体结温公式如下式如示：
$$p_{cmax}(t_a) = (t_{jmax} - t_a) / \theta_{j-a} \quad (w)$$
$$(1) \quad p_{cmax}(t_c) = (t_{jmax} - t_c) / \theta_{j-c} \quad (w) \quad (2) \quad p_c$$

功率管工作时损耗 $p_c(max)$ ：功率管的额定最大损耗 t_j ：功率管结温 t_{jmax} ：功率管最大容许结温 t_a ：环境温度 t_c ：预定的工作环境温度 θ_s ：绝缘垫热阻抗 θ_c ：接触热阻抗（半导体和散热器的接触部分） θ_f ：散热器的热阻抗（散热器与空气） θ_i ：内部热阻抗（pn结接合部与外壳封装） θ_b ：外部热阻抗（外壳封装与空气）根据图2热阻等效回路，全热阻可写为： $\theta_{j-a} = \theta_i + [\theta_b * (\theta_s +$



- $\theta_c + \theta_f)] / (\theta_b + \theta_s + \theta_c + \theta_f) \text{-----} (3)$ 又因为 θ_b 比 $\theta_s + \theta_c + \theta_f$ 大很多，故可近似为 $\theta_j - a = \theta_i + \theta_s + \theta_c + \theta_f \text{-----} (4)$
 - ①pn结与外部封装间的热阻抗（又叫内部热阻抗） θ_i 是由半导体pn结构造、所用材料、外部封装内的填充物直接相关。每种半导体都有自身固有的热阻抗。
 - ②接触热阻抗 θ_c 是由半导体、封装形式和散热器的接触面状态所决定。接触面的平坦度、粗糙度、接触面积、安装方式都会对它产生影响。当接触面不平整、不光滑或接触面紧固力不足时就会增大接触热阻抗 θ_c 。在半导体和散热器之间涂上硅油可以增大接触面积，排除接触面之间的空气而硅油本身又有良好的导热性，可以大大降低接触热阻抗 θ_c 。当前有一种新型的相变材料，专门设计用取代硅油作为传热介面，在 65°C （相变温度）时从固体变为流体，从而确保界面的完全润湿，该材料的触变特性避免其流到介面外。其传热效果与硅油相当，但没有硅油带来的污垢，环境污染和难于操作等缺点。用于不需要电气绝缘的场合。典型应用包括cpu散热片，功率转换模块或者其它任何簧片固定的硅油应用场合，它可涂布在铝质基材的两面，可单面附胶，双面附胶或不附胶。
 - ③绝缘垫热阻抗 θ_s 绝缘垫是用于半导体器件和散热器之间的绝缘。绝缘垫的热阻抗 θ_s 取决于绝缘材料的材质、厚度、面积。下表中列出几种常用半导体封装形式的 $\theta_s + \theta_c$
 - ④散热器热阻抗散热器热阻抗 θ_f 与散热器的表面积、表面处理方式、散热器表面空气的风速、散热器与周围的温度差有关。因此一般都会设法增强散热器的散热效果，主要的方法有增加散热器的表面积、设计合理的散热风道、增强散热器表面的风速。散热器的散热面积设计值如下图所示：但如果过于追求散热器的表面积而使散热器的叉指过于密集则会影响到空气的对流，热空气不易于流动也会降低散热效果。自然风冷时散热器的叉指间距应适当增大，选择强制风冷则可适当减小叉指间距。如上图所示：
 - ⑤散热器表面积计算 $s = 0.86w / (\delta t * a) \text{ (m}^2\text{)}$ δt ：散热器温度与周围环境温度 (t_a) 的差 ($^\circ\text{C}$) a ：热传导系数，是由空气的物理性质及空气流速决定。 a 由下式决定。 $a = nu * \lambda / l$ (λ ：热导率 ($\text{kcal/m}^2\text{h}$) 空气物理性质 l ：散热器高度 (m) nu ：空气流速系数。由下式决定。 $nu = 0.664 * \sqrt{[(v_l) / v'] * 3} * \sqrt{pr}$ pr ：动粘性系数 (m^2/sec)，空气物理性质。 v' ：散热器表面的空气流速 (m/sec) pr ：系数，见下表2.2散热设计举例 [例]

2scs5197在电路中消耗的功率为 $p_{dc} = 15\text{w}$ ，工作环境温度 $t_a = 60^\circ\text{C}$ ，求在正常工作时散热器的面积应是多少？解：查2scs5197的产品目录得知： $p_{cmax} = 80\text{w}$ ($t_c = 25^\circ\text{C}$)， $t_{jmax} = 150^\circ\text{C}$ 且该功率管使用了绝缘垫和硅油。 $\theta_s + \theta_c = 0.8^\circ\text{C}/\text{w}$ 从(2)式可得 $\theta_i = \theta_j - c = (t_{jmax} -$



- $t_c) / p_{cmax} = (150 - 25) / 80 = 1.6^\circ\text{C}/\text{w}$ 从 (1) 式可得 $\theta_{j-a} = (t_{jmax} - t_a) / p_{dc} = (150 - 60) / 15 = 6^\circ\text{C}/\text{w}$ 从 (4) 式可得 $\theta_f = \theta_{j-a} - (\theta_i + \theta_c + \theta_s) = 6 - (1.6 + 0.8) = 3.6^\circ\text{C}/\text{w}$ 根据上述计算散热器的热阻抗须选用 $3.6^\circ\text{C}/\text{w}$ 以下的散热器。从散热器散热面积设计图中可以查到：使用 2mm 厚的铝材至少需要 200cm^2 ，因此需选用 $140 \times 140 \times 2\text{mm}$ 以上的铝散热器。注：在实际运用中， t_{jmax} 必须降额使用，以 80% 额定节温来代替 t_{jmax} 确保功率管的可靠工作。
- 3、自然风冷与强制风冷在开关电源的实际设计过程中，通常采用自然风冷与风扇强制风冷二种形式。自然风冷的散热片安装时应使散热片的叶片竖直向上放置，若有可能则可在pcb上散热片安装位置的周围钻几个通气孔便于空气的对流。强制风冷是利用风扇强制空气对流，所以在风道的设计上同样应使散热片的叶片轴向与风扇的抽气方向一致，为了有良好的通风效果越是散热量大的器件越应靠近排气风扇，在有排气风扇的情况下，散热片的热阻如下表所示：
- 4、金属pcb随着开关电源的小型化，表面贴片元件广泛地运用到实际产品中，这时散热片难于安装到功率器件上。当前克服该问题主要采取金属pcb作为功率器件的载体，主要有铝基覆铜板、铁基覆铜板，金属pcb的散热性远好于传统的pcb且可以贴装smd元件。另有一种铜芯pcb，基板的中间层是铜板绝缘层采用高导热的环氧玻纤布粘结片或高导热的环氧树脂，它是可以双面贴装smd元件，大功率smd元件可以将smd自身的散热片直接焊接在金属pcb上，利用金属pcb中的金属板来散热。
- 5、发热元件的布局开关电源中主要发热元件有大功率半导体及其散热器，功率变换变压器，大功率电阻。发热元件的布局的基本要求是按发热程度的大小，由小到大排列，发热量越小的器件越要排在开关电源风道风向的上风处，发热量越大的器件要越靠近排气风扇。为了提高生产效率，经常将多个功率器件固定在同一个大散热器上，这时应尽量使散热片靠近pcb的边缘放置。但与开关电源的外壳或其它部件至少应留有 1cm 以上的距离。