

散热应考虑的问题：

确保第二代高密度 DC-DC 转换器模块性能



由于按标准尺寸生产的第二代DC-DC转换器模块具有更大的功率密度，为了给负载提供足够的功率，必需采取适当的热量管理。在热量管理中，效率不仅是应当考虑的项目，而且是重要的参数。当设计或选用电源时，对转换过程中产生的热量即不可估量过低，也不能估量过高。

所有电源产品制造商都注明其产品的最高工作温度。产品的可靠性和工作寿命都与工作温度成反比，一台耐用电源的设计，都要求在任何工作状态下不但不能超过温度极限，并且应留有足够的余量。这就要求认真计算电源中产生的热量，并且通过实验验证。然后根据负载和工作环境的要求，选择更有效的热量管理方法。

散热设计的第一步是决定在最坏情况下的功耗，利用下式可计算出转换器在整个工作范围内输出最大负载电流时的效率。转换效率定义如下：

$$\eta = \frac{P_o \text{ (输出功率)}}{P_{in} \text{ (输入功率)}} \quad (1)$$

电源模块制造厂通常都给出典型效率值。但是给出的数值未必适用于所有工作状态。制造厂通常还会给出效率与其他规定参数的关系曲线。Vicor DC-DC 转换器模块 V300A48C500A (额定输入电压为 300Vdc、直流输出电压为 48Vdc，在室温下输出功率为 500W) 效率与输出电流和输入电压的关系。如图 1 所示。

从图 1 可看出，在大部分工作范围内，效率曲线非常平坦，通常DC-DC转换器制造厂只提供规定电源电压和负载时的效率。但是转换器通常不会仅仅工作于这一点，为了正确进行散热设计，必须认真分析完整的效率曲线。最佳散热设计应当根据最坏工作条件下的预期工作温度范围内的效率计算出最大功耗。

从图 1 可以看出，在大部分输出电流范围内，当输入额定电压时，转换器的效率为 89%。在我们的设计实例中，将该效率作为最坏情况下的效率。如果该转换器模块满载工作($P_o=500W$)，产生热量的功耗为：

$$\begin{aligned} P_d &= \frac{P_o}{\eta} - P_o \\ &= 61.8W \end{aligned} \quad (2)$$

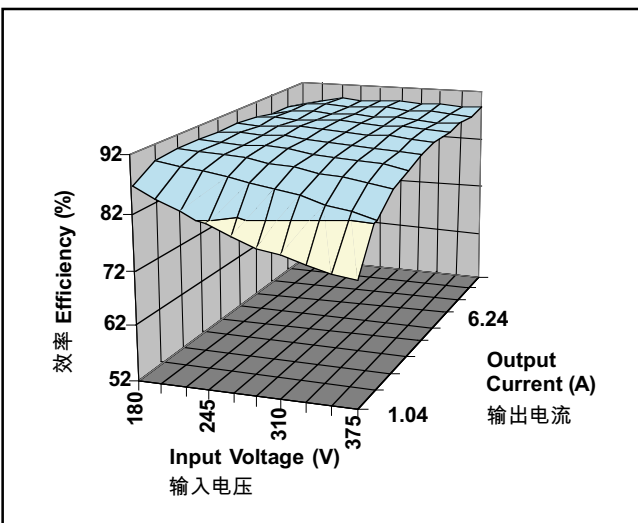


图1 Vicor DC-DC转换器模块V300A48C500A的效率与输入电压和输出电流的关系

现在，我们必须决定该功耗引起的转换器模块底板的温升。

所有厂家均给出转换器模块的热参数，以上述Vicor型号为例，从底板测试的最高承受工作温度是100℃(T_b)。在空气中的热阻(θ)值为4.9℃/W，因此，转换器模块在自然环境中的温升可简化为：

$$\begin{aligned} T_r &= P_d * \theta \\ &= 302.8^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3)$$

在这种情况下，考虑到最高温升，转换器模块不可能在无强制通风的条件下满载工作，即使模块的效率为 92%，模块在自然环境中的温升也为 213℃，远远超过模块底板所能承受的最高温度。高效率仍不能解决该系统的工作问题，为此，应用中，底板必须加装散热器或者采取减小底板热阻的措施。为了选用适当的散热器，得到底板允许的温升，必须决定使底板温升维持在规定范围以内所需的热阻，允许温升即最高底板温度与预期环境温度之差。

如果最高环境温度 55℃，该 Vicor 模块的允许温升即 45℃ (100℃ - 55℃)，所需的热阻允许温升除以最大功耗 Pd，即

$$\theta_{max} = \frac{Tr(\text{允许温升})}{Pd} \quad (4)$$

在该实例中，计算出的热阻 0.73℃/W，该热阻为允许的最大热阻。这样，在最高环境温度下，模块可在规定的最高温度下满载工作。应当说明，该热阻不仅是散热器的热阻，而是系统中所有接触面热阻之和。由此可知，选择热接触面的材料对减小热阻是非常重要的。在任何情况下，接触面的热阻越小，散热性能越好。Vicor 可提供一种独特的称为“ThermMate”的变相“Phase Change”材料，该材料与干式热垫片相比，接触热阻可减少到十分之一。

在可能发生的任何情况下，采用适当的措施，最大热阻应有 0.75 降额系数。根据降额系数，可以得到更小的热阻 0.547℃/W。利用以下任意一种散热方法，都可获得如此小的热阻：

自然对流散热—

将热能传输到自然气流中；

强制对流散热—

将热能传输到移动的气流中；

传导散热—

热量通过固体介质传递。

不管散热器或者安装模块的导热表面的形状如何，只要散热表面积较大，就很容易实现空气自然对流散热。许多电源模块生产厂家都将散热器作为电源模块的组成部分供给用户。在某些实际应用中，为了使电源模块的温度保持在极限值以内，必须采用强制空气对流散热。某些电源模块生产厂家，也把散热器作为电源模块的附件供给用户，此外，散热器生产厂家还可根据用户提供的技术要求定制专用的散热器。采用传导散热器时，电源模块产生的热量都通过固体热传导介质损耗在周围的空气中。

热流通路：在电源模块内，开关元件产生的热量都传导到模块的底板上，然后再通过热接触表面材料传导到外壳内的金属板上，金属板又通过传导方式将热量散发到周围的空气中。对于传导散热来说，电源模块装在密封的 NEMA 外壳中是理想的方法，因为模块内部产生的热量可以先传输到外壳上，然后再散发到周围的空气中。采用传导散热时，用户必须保证电源模块的参数在极限值以内。因为电源模块的安装表面未必能有效地散热。为了改善散热条件，用户还必须采用一系列的折衷方案。某些易变的参数必须留有一定的余量，还应当考虑系统内部电源模块放置方向和气流方向。

无论利用何种散热方法都建议采用保守的设计方法。散热系统工作状态还必须通过直接测试温度来验证。通风障碍、涡流和安装位置不当都会阻碍空气流通，从而导致散热能力明显减小。

下面介绍两个散热实例：

例 1

在给定下列参数的条件下，计算模块输出功率为 400W 时的最高环境温度：

$$\eta = 86\% \text{ (即 } 0.86)$$

$$\theta_{max} = 0.77^\circ\text{C/W}$$

$$T_b = 100^\circ\text{C}$$

解：重新整理公式 3 和 4

最高环境温度 $T_{ambient\ max}$

$$= T_b - (\theta_{max} \times Pd)$$

$$= 49.86^\circ\text{C}$$

例 2

在给定下列参数的条件下，计算模块底板到周围空气间的最大允许热阻。

$$T_{ambient\ max} = 60^\circ\text{C}$$

$$\eta = 91\% \text{ (即 } 0.91)$$

$$T_b = 100^\circ\text{C}$$

解：根据公式 (3) 计算功耗：

$$Pd = 29.67\text{W}$$

根据公式 4 计算最高允许温升：

$$Tr(\text{允许温升})$$

$$= T_b - T_{ambient\ max}$$

$$= 40^\circ\text{C}$$

计算最大热阻

$$\theta_{max} = Tr(\text{允许温升}) / Pd$$

$$\theta_{max} = 1.35^\circ\text{C/W}$$

利用 Vicor 互联网地址中的散热器计算器，用户只要简单输入已知数值并且选择所要计算的参数，就可以很容易地算出这些参数。

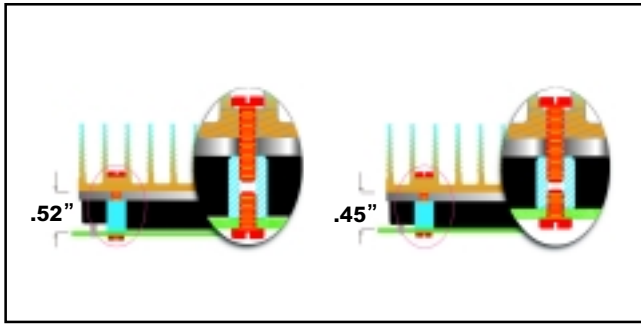


图2 板上安装 (左) 与板内安装 (右)

在某些应用中，对电源的体积无严格要求时，可以加入热阻更低的散热器。对于带有特殊热接触表面材料的模块在可利用的空间内，简单选择散热面积较大的散热器和其他附件，即可保证模块可靠工作，但是更常见的情况，电源模块可利用的空间很小，在许多通信设备中，在较大的框架上，许多印刷电路板紧密地排列在一起。印刷电路板之间的空间通常称作“间距”。为了充分利用有效空间，更多的印刷电路板将装入给定的空间内，这将使印刷电路板上元件的高度受到严格限制，常用的散热器很难满足模块高度的要求，为了减小印刷电路板上电源模块的高度，电源模块可以加装热特性适当且较薄的边缘叶片散热器。Vicor 公司可提供这种产品 (图 3)

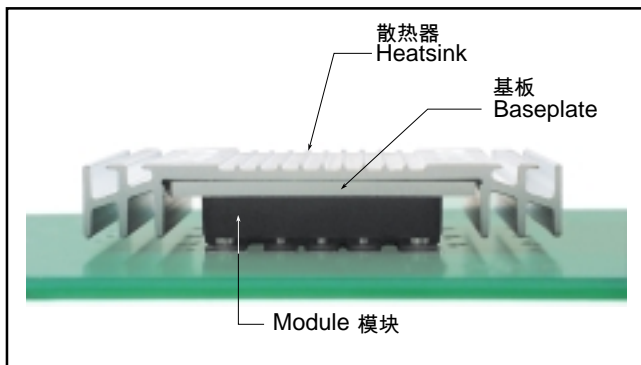


图3 边缘叶片散热器

适用于全型、小型和微型电源模块的边缘叶片散热器的产品编号分别为：20394、20393 和 20392。该散热器将叶片移到模块的两侧，只比模块底板高出0.125英寸。靠近印刷电路板的叶片端头可方便形成通风道，强制气流可流过该通风道。从而提高散热效果。