

# 在热计算中使用电路模型



Kim Mosley & Jonathan Siegers

热建模是电源系统设计的重要组成部分，超过电源内部器件的最高温度会导致器件故障；而保证电源器件实际工作温度低于最大温度也有很多好处。

比如，虽然电源内部器件能够在指定的最高温度下工作，但让所有电子器件都尽量工作在较低温度下总会好一些。例如，产品内部使用的功率 FET 一般在较低温度下有更低的漏-源电阻；铜的电阻也随温度的降低而下降，铜电阻 100°C 时比 25°C 时大约高 30%。因此，电源一般在较低温度下工作效率更高。

此外，可靠性和使用寿命也会随工作温度的降低而改善，根据一般公认的经验法则，电子产品工作温度每下降 10°C，可靠性和使用寿命就会提升一倍。

## 热电路模型

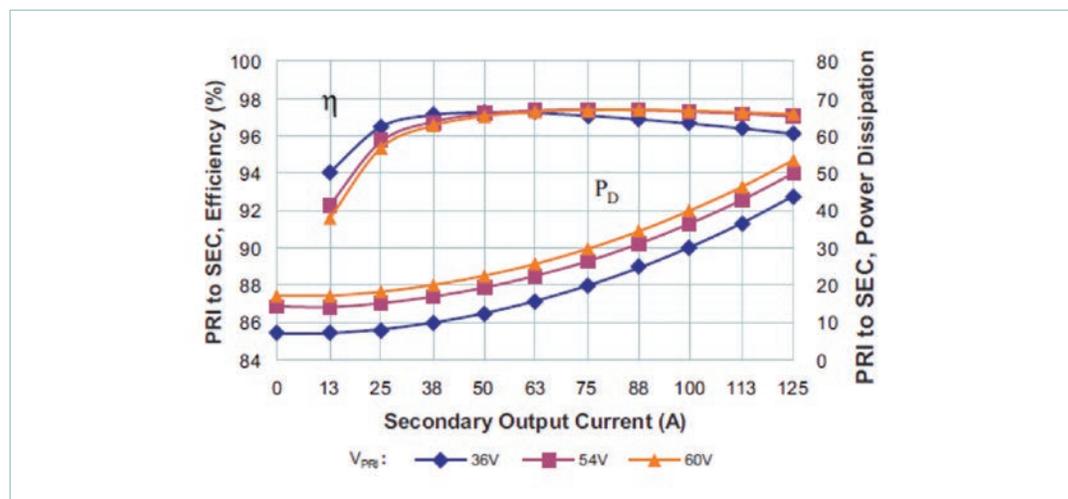
热电路模型类似于电路，包括电阻、电流和电压。在热电路模型中热阻相当于电阻，单位是摄氏度/瓦 (°C/W)；热源相当于电流，单位是瓦 (W)；温度相当于电压，单位是摄氏度 (°C)。

## 热电路模型的使用

根据物理原理，电源器件的温度由其功耗决定，功耗可根据电源输出功率和手册中给出的效率进行计算。电源产品手册一般以图表形式给出和温度相关的效率和功耗曲线。

热管理的主要目标之一，是确定电源内部温度的最大值，因此计算过程中使用的效率/功耗值必须是相应温度条件下给出的值。下图 1 所示为是 80°C 外壳温度下各种输出功率（电流）条件下的效率与功耗曲线图。

图 1  
6123 BCM K1/4 效率与功耗图

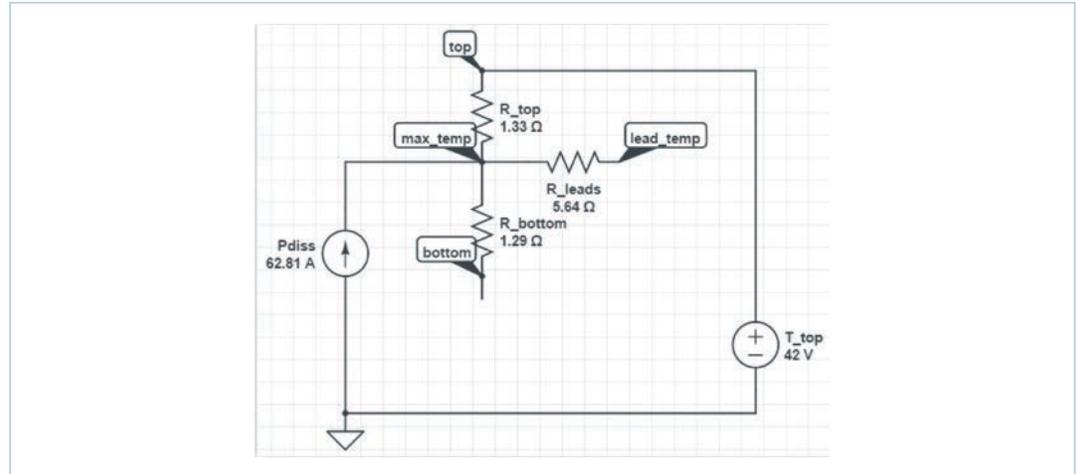


将功耗添加至该热电路模型之后，设计人员还需要添加其散热环境，例如电源是使用冷板进行传导散热，还是使用散热器进行对流散热。

简单的案例是工程师使用冷板对电源进行散热。对于这种应用，可将温度边界条件添加至热电路模型，相当于电子电路中的电压。

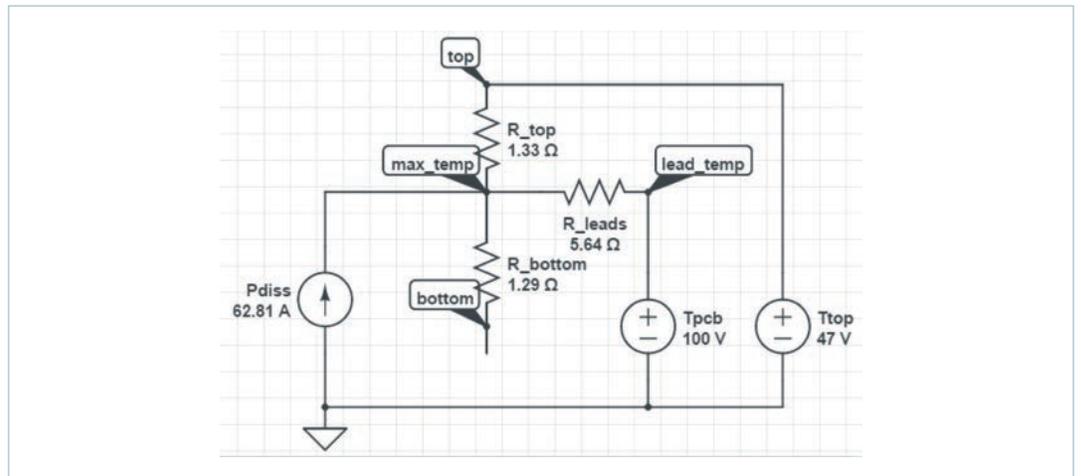
ChiP™ BCM®（采用冷板通过封装顶部散热）的电路模型如图 2 所示。对于效率为 96.5% 的 1750W 输出，冷板的温度必须保持在 42°C 以下，才能让 Chip 的内部温度保持在产品手册定义的 125°C 的最大工作温度范围内。这里假设 ChiP 顶部与冷板之间的所有热界面材料的热阻抗可以忽略不计，否则就应该在 RTOP 阻抗和 TTOP 温度边界之间串联增加散热界面阻抗。

图 2  
仅顶部有冷板散热的  
ChiP BCM



Vicor在通孔电源产品的手册中还提供了从最高内部温度点到器件引脚的热阻抗。如果工程师事先知道 PCB 温度，他们可将这个整合在散热解决方案中，比如他们可能对预期的 PCB 温度有历史数据或实验数据。一般来说，电源系统会在 PCB 中提供大量的铜线来承载电流，这些铜线也能为 ChiP 散热做贡献。对于图 3 所示的实例，设计人员将其预期 PCB 温度设为 100°C。

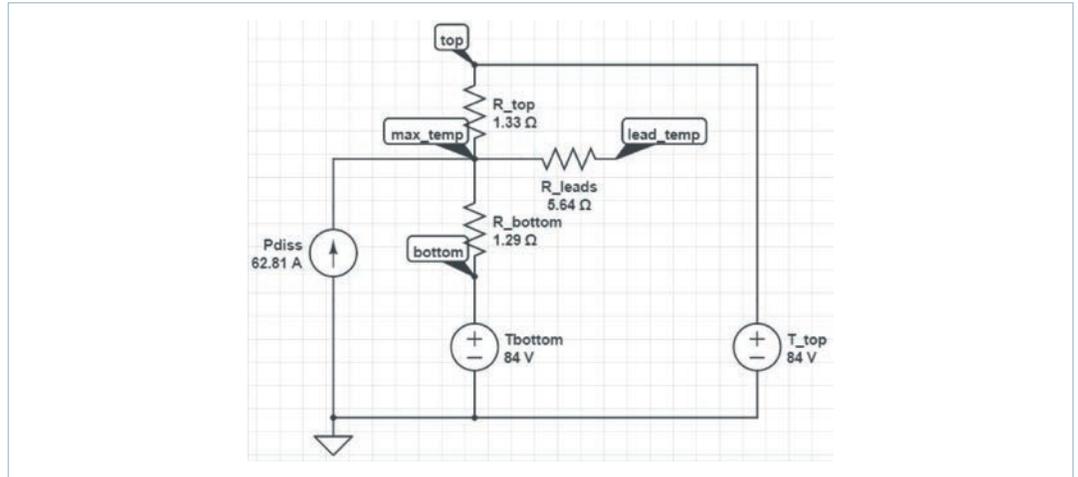
图 3  
顶部有冷板散热加 PCB 散热的  
ChiP BCM



这样，冷板的最大允许温度 (TTOP) 升高到 47°C，即可将电源的最高内部温度保持在 125°C 以下。此外，该模型还可用于确定传导至每个热边界的热量。在上图 3 所示的实例中，ChiP™ 耗散的总热量为 62.81W，其中大约 4.4W 传导至了 PCB 中。了解这一点后，设计人员可为 PCB 配备充足的散热。

如果为 ChiP BCM® 多增加一块冷板，进行上下两面散热，这样两块散热板的允许的最高温度，均明显高于单块冷板散热方案（我们的实例为 84°C，而不是之前的 42°C），同样可将 ChiP 的最高内部温度保持在工作温度范围内。该系统的热电路模型见图 4。在本示例中，未连接引脚热阻，这就意味着引脚处为绝热状态，也就是说，没有热量从内部通过该路径流向 PCB。

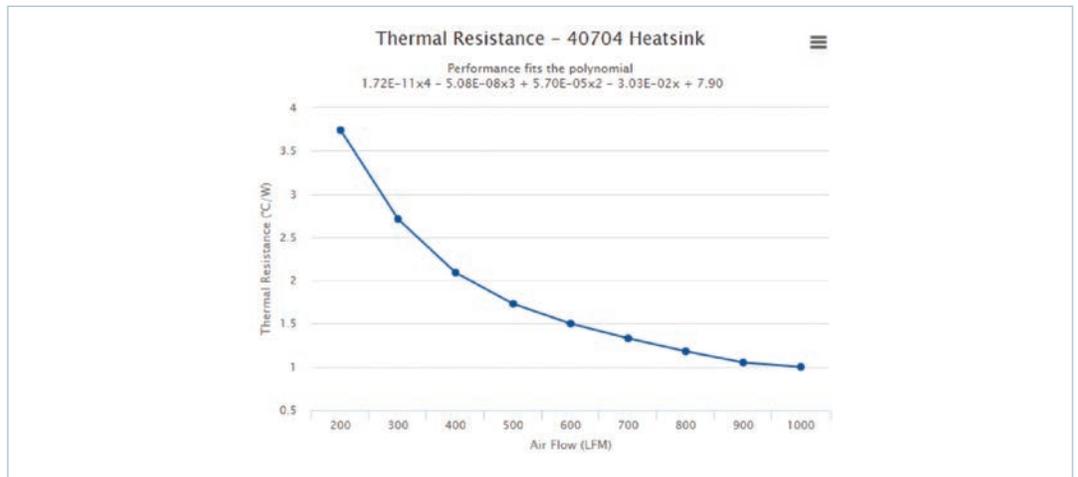
**图 4**  
上下两面都有冷板散热的 ChiP BCM



### 气流影响

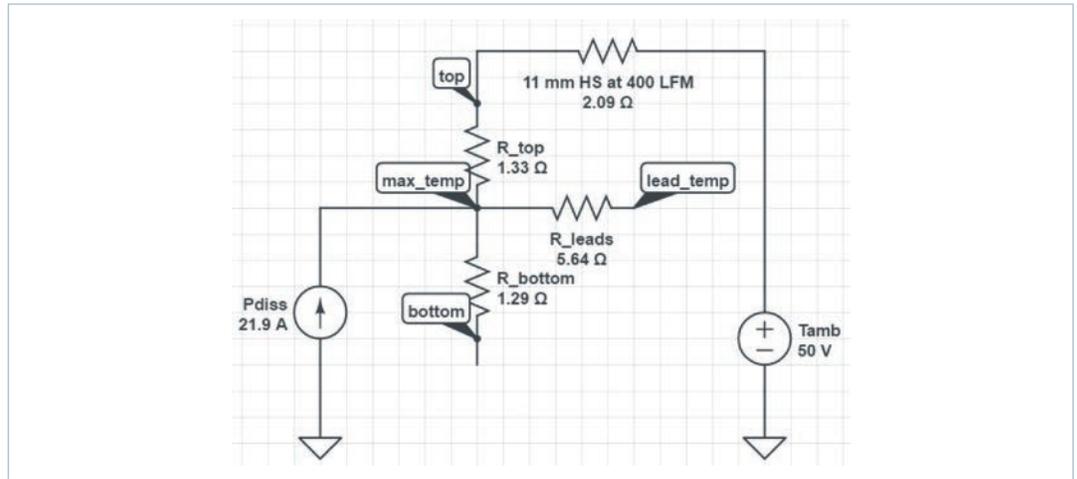
大多数散热器均提供相关数据，工程师可向其热电路模型添加散热器参数。这种散热器热阻一般可以用图表形式表示，也可以用气流为函数的拟合多项式表示。图 5 是 Vicor 11 毫米散热器 (P/N 40704) 的热阻抗图。

**图 5**  
11 毫米 P/N 40704 散热器的热阻抗图及多项式拟合



如果工程师在 50°C 环境空气温度条件下用该散热器给 ChiP 顶部散热，得到的热电路模型如下图 6 所示。从该电路模型可以看出，在该条件下功耗必须限制在 21.9W 以内，才能让 ChiP 内部温度小于 125°C 的最大工作温度。

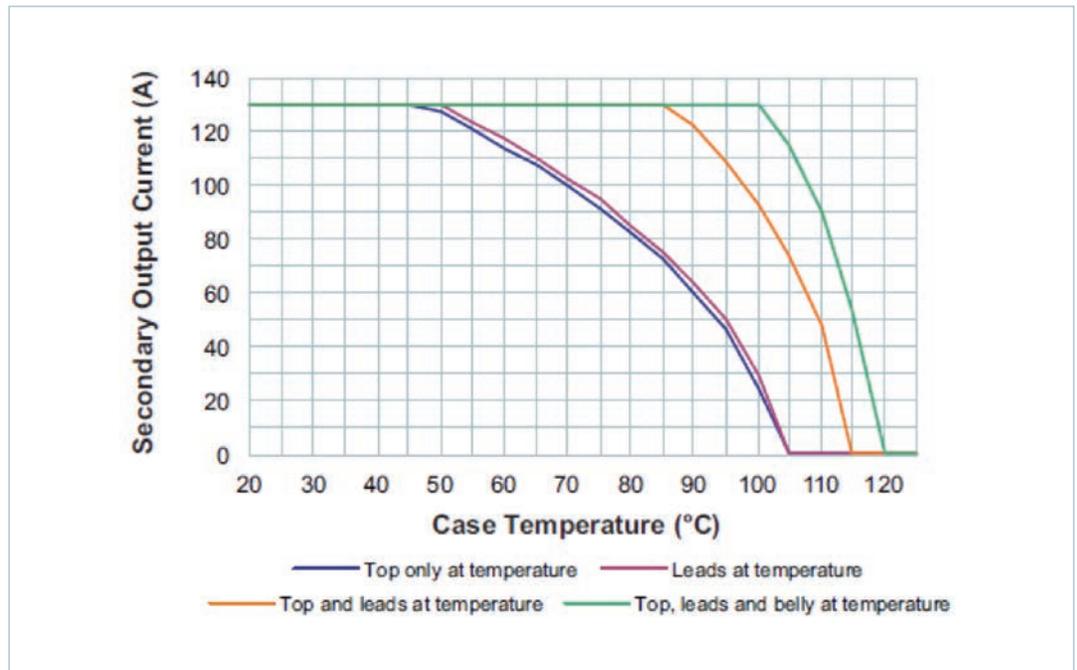
图 6  
带 11 毫米散热器的 ChiP™  
BCM® 的热电路模型



### 热工作区

此外，产品手册还提供了可接受的热工作区图。该图的示例如下图 7 所示。

图 7  
热工作区图举例



满足图中的条件，即可让器件的最高内部温度保持在允许的工作温度范围内。该图的假设条件是 X 轴代表的外壳温度在封装表面非常均匀。这实质上就是用一层薄薄的导热硅脂作为介质材料，将 ChiP 连接在散热器或冷板上的条件。

散热器和冷板一般使用铝或铜，这两种材料的导热率都比电源器件封装表面使用的材料高几个数量级。高导热性意味着这些材料内部的温度梯度极小，因此在散热器基座上或散热板上进行的温度测量相对不受特定位置要求的影响，非常准确、可复验。单个位置的温度测量一般足以代表散热器基座或散热板的温度。

---

## 结论

对于开发和描述用于电源器件的有效热管理系统而言，热电路建模是非常实用的设计辅助。如果能使电源器件的工作温度远低于规定的最大内部温度，可确保更高的可靠性和更长的平均故障间隔时间。Vicor 每一款转换器的产品手册中都提供了热模型、效率及功耗曲线以及安全工作区域图。使用该数据，加之对应用环境的了解，可创建热电路模型，估算电源器件的内部温度并确保其工作在允许的温度范围内。

联系我们: <http://www.vicorpower.cn/zh-cn/contact-us>

**Vicor Corporation**

电话: 400 101 5482

[www.vicorpower.cn](http://www.vicorpower.cn)

**电子邮件**

客服: [vicorchina@vicorpower.com](mailto:vicorchina@vicorpower.com)

技术支持: [chinaapps@vicorpower.com](mailto:chinaapps@vicorpower.com)

©2018 Vicor 公司， 版权所有。Vicor名称是Vicor公司的注册商标。其他商标、产品名称、徽标和品牌均为其各自所有者的财产。

Rev 1.1