

AN-9071SC

μMini DIP SPM -智能功率模块 Motion-SPM™

热性能信息

热阻

概述

对于半导体器件而言，最敏感的因素是结温。因为随着结温的增加，设备的工作特性会偏离正常状态，故障率将呈指数增加。在器件开发阶段以及任何应用领域中，封装的热设计都是一个十分重要的因素。

为了深入地理解器件的热性能，通常要引入热阻概念。热阻可定义为两个邻近等温面之间的温差与它们之间传递总热量的比值。对于半导体器件而言，这两种温度一般指结温 T_J 和参考温度 T_x 。热量为器件工作时的耗散功率。参考点可以任意选择，但一般选取散热器上表贴器件背面的最高温度点。该热阻称为结-管壳热阻 $R_{\theta JC}$ 。当参考点为环境温度时，该热阻称为结-环境温度热阻 $R_{\theta JA}$ 。这两种热阻都可用来表征器件的热阻。 $R_{\theta JC}$ 通常用于表贴有器件的散热器，而 $R_{\theta JA}$ 用于其它情况。图1为智能功率模块-散热器的从结-环境的热流网络。鉴于 $R_{\theta CA}$ 的热阻值较大，可忽略相应的虚线部分。

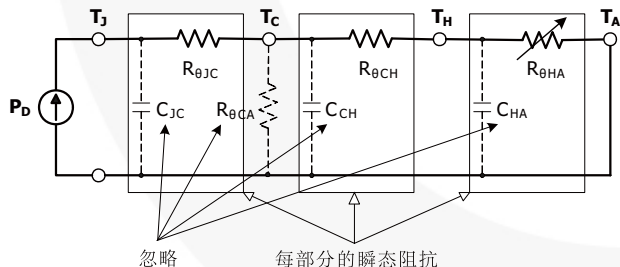


图1 带有散热器的瞬态热等效电路

SPM的热阻可由下式定义：

$$R_{\theta JC} = \frac{T_J - T_C}{P_D} \quad (1)$$

式中， $R_{\theta JC}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)为结-壳热阻， P_D (W)、 T_J ($^{\circ}\text{C}$)和 T_C ($^{\circ}\text{C}$)分别为各器件的耗散功率、结温和管壳参考温度。通过利用 T_A (环境温度)替代 T_C ，可得结-环境热阻 $R_{\theta JA}$ ：

$$R_{\theta JA} = \frac{T_J - T_A}{P_D} \quad (2)$$

式中， $R_{\theta JA}$ 为包括散热器在内的智能功率模块的总热性能。 $R_{\theta JA}$ 为热阻 $R_{\theta JC}$ 、 $R_{\theta CH}$ 和 $R_{\theta HA}$ 的串联总和。

$$R_{\theta JA} = R_{\theta JC} + R_{\theta CH} + R_{\theta HA} \quad (3)$$

式中， $R_{\theta CH}$ 为由封装和散热器之间的热脂引起的接触热阻， $R_{\theta HA}$ 为散热器热阻。由式3可以清楚看出，为最大限度地提高智能功率模块的功率承载能力，其关键性的应用因素是最大限度地减小 $R_{\theta CH}$ 和 $R_{\theta HA}$ ，并且降低 $R_{\theta JC}$ 本身。

如果 $R_{\theta CH}$ 和 $R_{\theta HA}$ 减小为0，以及管壳温度被锁定在固定的环境温度 T_A ，则需要一个无限大的散热器。 $R_{\theta CH}$ 值通常与热脂的厚度成正比，取决于装配现场的安装技术。于此同时， $R_{\theta HA}$ 可通过选择适当的散热器在一定程度上进行调节。

在实际应用中，功耗 P_D 具有周期性，因此应该考虑图1的瞬态RC等效电路。对于脉冲功率损耗，由于热电容效应延迟了结温的上升时间，因而允许μMini DIP SPM承受更重的负荷。图2至图5为FNA40560、FNA40860、FNA41060和FNA41560的热阻抗曲线。在大约1s内，热阻即达到饱和。其他类型的Motion-SPM™也表现出相似的特性。

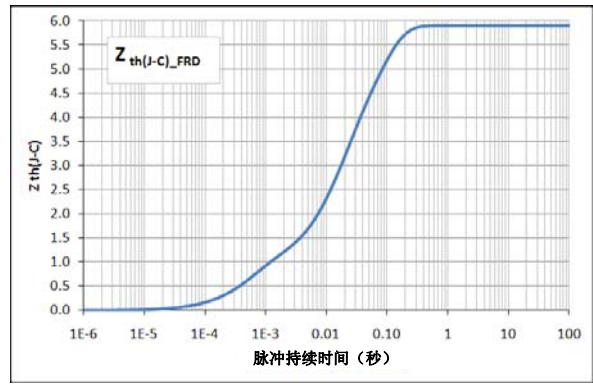
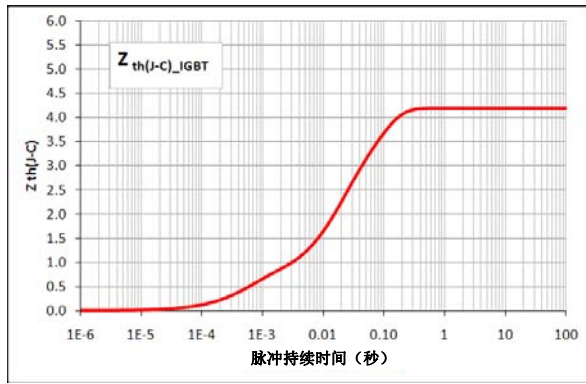


图2 FNA40560的热阻抗曲线

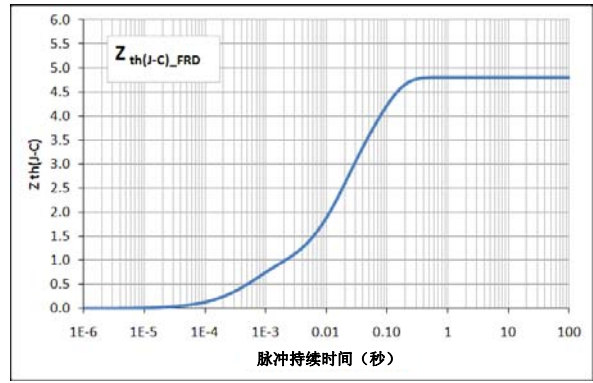
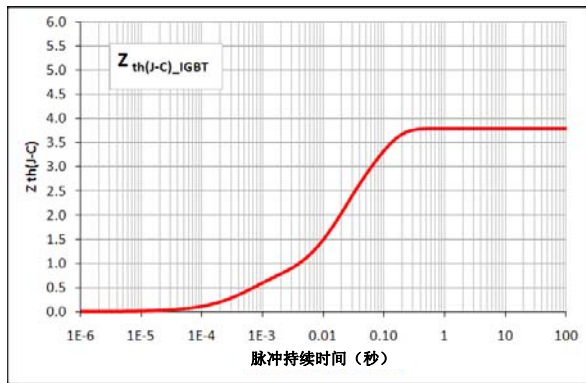


图3 FNA40860的热阻抗曲线

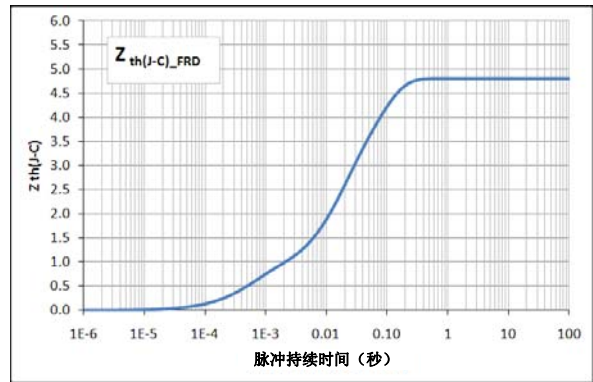
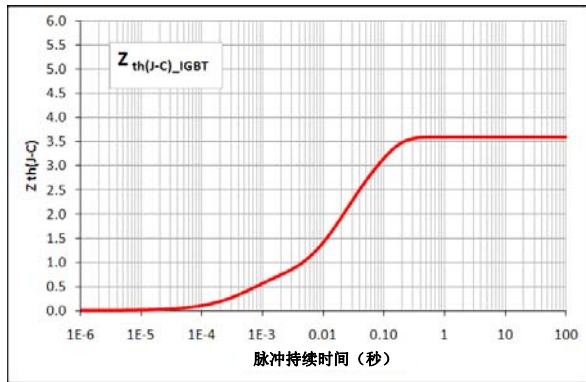


图4 FNA41060的热阻抗曲线

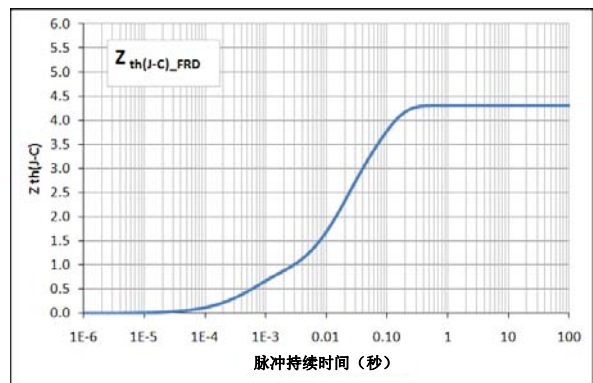
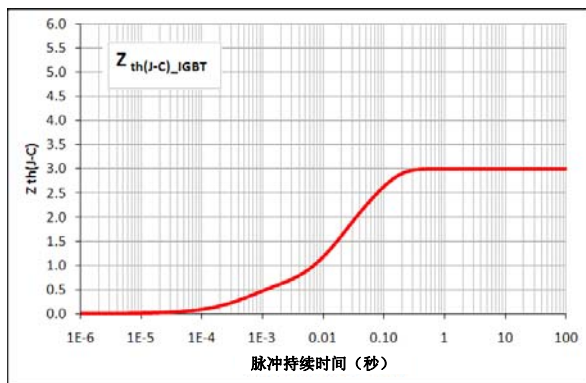


图5 FNA41560 的热阻抗曲线

测量方法

在热阻测试中，需测量 T_J 、 T_C (或 T_A)和 P_D 的值。由于 T_C 、 T_A 和 P_D 能够直接测量，则唯一的未知常量为结温 T_J 。电气测试方法(ETM)被广泛用来测量结温。ETM利用正向压降和结温之间的关系完成测量。这种关系是半导体结的内在电热性能，其特点是：当外加恒定正向偏置电流(检测电流)时，正向压降和结温几乎呈线性关系。结压降被称为温度敏感参数(TSP)。图6给出了二极管结压降的测量值与结温的关系。被测设备(DUT)被嵌入热流体中，加热被测设备直至所需温度。

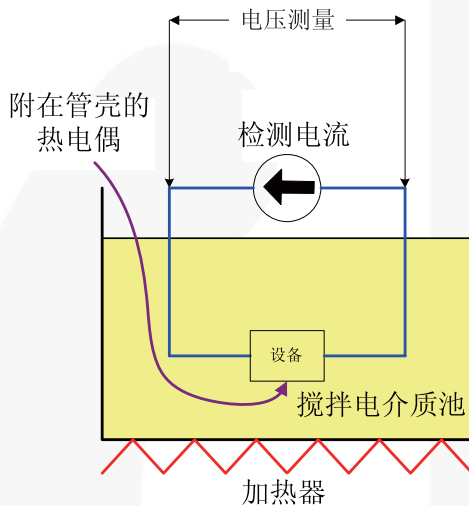


图6 TSP测量的浴法图解

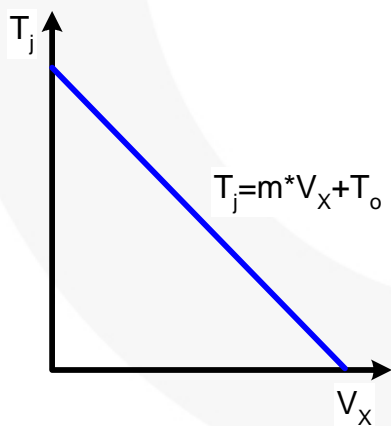


图7 恒定检测电流时TSP图的典型实例

在热流体作用下，被测设备达到热平衡时，给结施加检测电流。然后测量结压降，结压降为结温函数。检测电流应该足够小，以免被测设备出现发热。例如，根据设备不同的类型，检测电流可为1mA或10mA。在特定的温度范围内和指定的温度步长下，进行多次测量。图7中给出了典型的测量结果。

在给定温度下，结温与压降的关系可由下式表示：

$$T_J = m * V_X + T_O \quad (4)$$

斜率 m ($^{\circ}C/V$)和温度纵坐标截距 T_o (V)可用于量化这种直线关系。斜率的倒数通常被称为“K因子 ($V/^{\circ}C$)”。在这种情况下， V_F (V)为温度敏感系数。对于半导体结而言，图7中的校准直线的斜率 m 总为负值。即，正向导通电压会随着结温的增高而减小。这种得到式4的过程被称为给定器件的校准过程。

在热阻测试中，结温的估算可依据测量校准过程中给定检测电流下的电压降和式4进行。不同器件的温度敏感系数(TSP)各不相同，其原因是专用器件不具有二极管电压TSP。但是对于这种情况，可以采用晶体管的饱和电压代替。例如，对于IGBT或MOSFET，可以利用其门极开通电压作为温度敏感系数(TSP)。

测量步骤

热阻测试前，在已知电压与电流情况下，给DUT施加连续功率。连续功率为DUT加热，至温度平衡状态。在该器件受热时，通过连续的采样脉冲监测TSP，即电压降或等价的结温。为了获得式4，温度敏感系数(TSP)必须能够提供等于校准步骤采用的检测电流。监测TSP时，调节施加的功率，确保 T_J 获得足够温升。调节施加的功率，获得的 T_J 温升要大约高于参考温度 $100^{\circ}C$ ，形成足够的温差，以获得良好的测量分辨率。图8给出了典型实例。



图8 SPM-IGBT RJC测量中功率与采样脉冲序列实例

温度敏感系数（TSP）采样时间必须很短，防止重新施加功率前，结出现明显降温。图8所示的功率和检测脉冲序列的占空比为99.9%，实际上，可认为产生的是连续功率。

一旦 T_J 达到热平衡，它的值以及参考温度 T_C 和施加功率 P 一同记录。利用测量值和公式1，进行估算结-壳热阻 $R_{\theta JC}$ 。在这里 $R_{\theta JC}$ 表明在理想环境中设备的散热能力。也就是说，安装有无限大散热器或温控散热器。

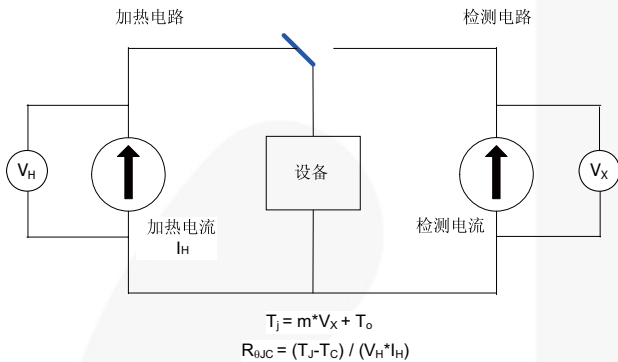


图9 热阻测试方法概念的图解

图10给出了SPM的热阻测量环境。SPM安放在具有高热承载能力的散热器上。热脂涂敷在SPM与散热器之间，防止存在气隙。

热电偶穿通散热器，紧靠SPM的底面，记录SPM的表面温度。虽然没有规定热电偶的安放位置，在该位置上需要测量参考温度（这里指 T_C ），但是还建议选取最热点作为理想位置。在此情况下，应选取SPM中心或散热器中心。

要求热电偶与它的参考位置之间的具有良好热接触。因此需要热脂和适当的夹紧压力，如图10所示。

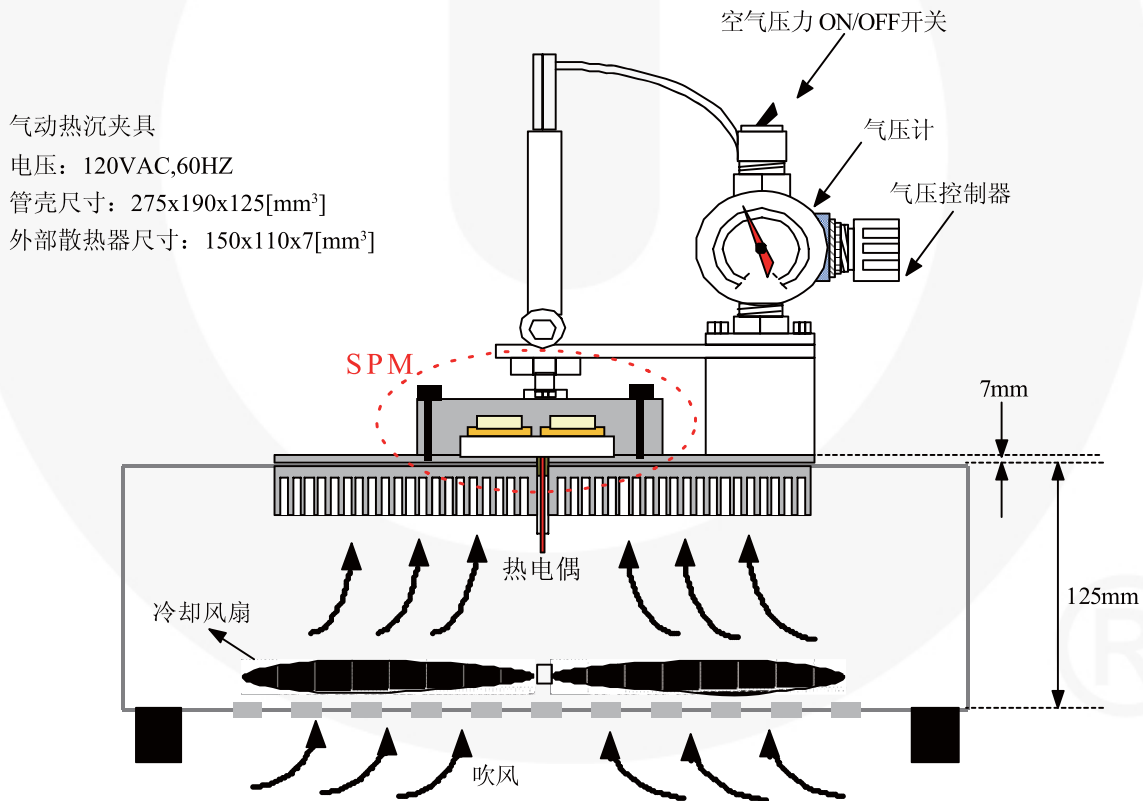


图10 SPM 的热测量环境

有效负载电流

采用典型特性的功耗仿真结果，如图11所示：有效电流与载频特性。仿真条件包括：

仿真条件：

$V_{PN}=300V$, $V_{CC}=V_{BS}=15V$, $V_{CE(SAT)}$, $E_{SW(ON,OFF)}$ =典型值, $T_J=150^{\circ}C$, $T_C=125^{\circ}C$, $R_{\theta(J-C)}$ =最大值, $M.I.=0.9$, $P.F.=0.8$, PWM=三相连续PWM调制, 60Hz正弦波输出

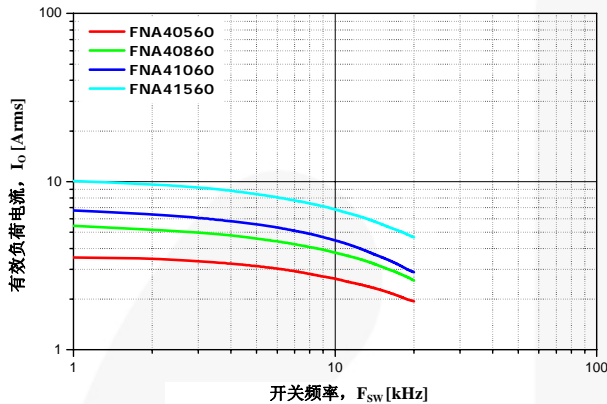


图11 有效电流与载频特性

说明：

1. 控制方案与电动机传动类型不同时，上述特性有所改变。

图11为 $T_C=125^{\circ}C$ 条件下的逆变器运行举例。图中指出了当结温 T_J 上升到平均结温 $150^{\circ}C$ 时还能够输出的有效电流 I_o （在该结温下， μ Mini DIP SPM可以安全运行）。

散热器设计指南

散热器的选择受到多种因素的制约，包括空间设置、实际运行耗散功率、散热器成本、散热器周围的热流条件、装配位置，等等。在本笔记中，仅仅对一部分制约因素进行分析，并从实际应用的角度，给出散热器选择的相关见解。

洗衣机中散热器的选用

在自然对流条件下，洗衣机应用可以采用图12所示的散热器类型。这种应用的驱动特性表现为：SPM的耗散功率呈现高低交替变化，变化周期为数百毫秒。

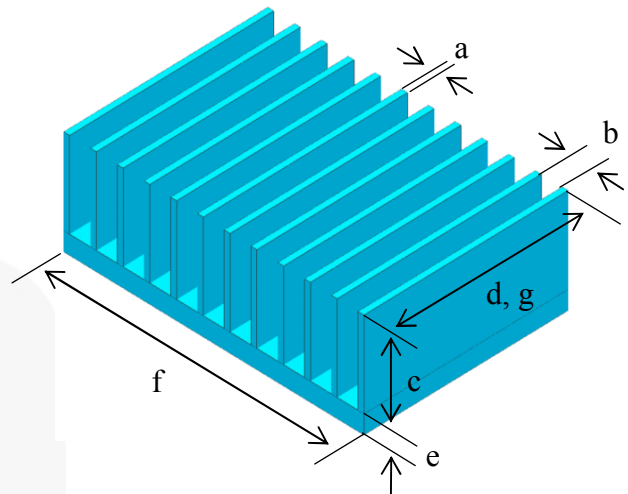


图12 洗衣机中散热器实例

说明：

2. a=翅片厚度，b=翅片间距，c=翅片高度，d=翅长，e=基板厚度，f=基板宽度，g=基板长度

图13-图16给出了散热器设计过程中散热器-环境温度热阻 $R_{\theta HA}$ 的分析结果。该热阻会随着翅片间距、翅片/基板长度和翅片/基板宽度的改变，产生很大的变化。需要指出的是，面积为 $73 \times 53 \text{mm}^2$ 基板上的最佳翅片间距约4或5mm，如图13所示。增加翅片间距，会导致翅片总数，即总对流面积的减少。减小翅片间距将干扰相邻翅片之间的气流场。当翅片间距分别低于4mm和高于5mm时，就会导致热阻增加。增加翅片厚度可减小翅片总数和散热器尺寸，从而造成热阻增加。

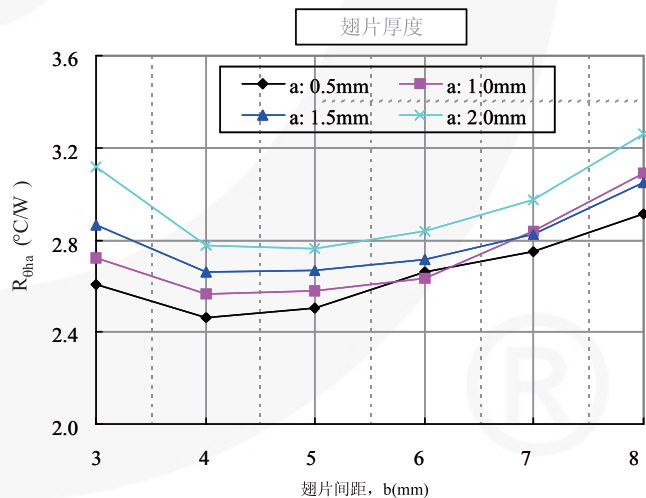


图13 翅片间距改变时的 $R_{\theta HA}$ 变化（保持不变： $c=21\text{mm}$, $d=53\text{mm}$, $e=4\text{mm}$, $f=78\text{mm}$, $g=53\text{mm}$ ）

图14与图15中的结果给出了基板长度与宽度对热阻的影响。由图14可以看出，基板长度增加到150%，即79.5mm (53mm×1.5)，热阻将减小到85% (≈2.3 °C/W)。基板长度增加到200% (53mm×2=106mm)，热阻将减小到78% (≈2.09 °C/W)。图15给出了热阻随基板宽度的变化结果，基板宽度分别增加到150% (78mm×1.5=117mm) 和200% (78mm×2=156mm)，热阻相应减小到79% (≈2.144 °C/W) 和 70% (≈1.88 °C/W)。因此，对于热阻减小而言，增加基板宽度比增加基板长度更为有效。

图15给出了改变翅片高度时热阻的变化。

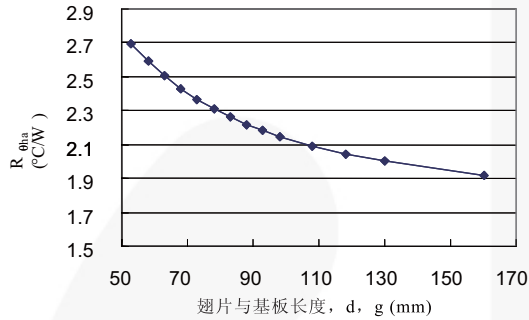


图14 基板长度改变时的 $R_{\theta HA}$ 变化 (保持不变: a=1.5mm, b=5.45mm, c=21mm, e=4mm, f=78mm)

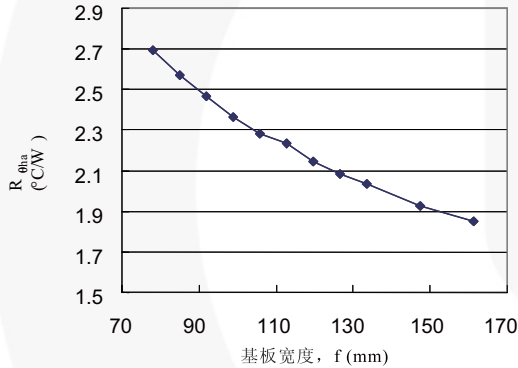


图15. 基板宽度改变时的 $R_{\theta HA}$ 变化 (保持不变: a=1.5mm, b=5.45mm, c=21mm, d=53mm, e=4mm, g=53mm)

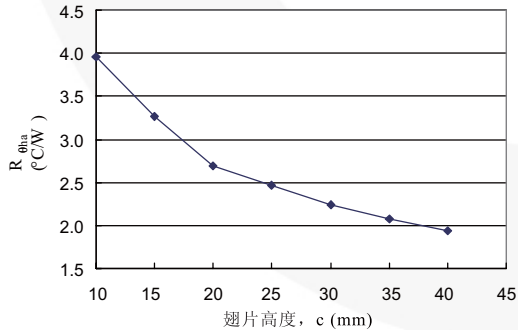


图16 翅片高度改变时的 $R_{\theta HA}$ 变化 (保持不变: a=1.5mm, b=5.45mm, d=53mm, e=4mm, f=78mm, g=53mm)

空调中散热器的应用

与洗衣机应用不同，空调应用中的逆变器要求SPM连续地耗散功率。它们选用的散热器一般需要利用风扇为SPM施加强制对流。图17给出空调系统中常用的散热器外形。在本节中，采用图17所示的散热器，对气流速度影响热阻的进行描述。

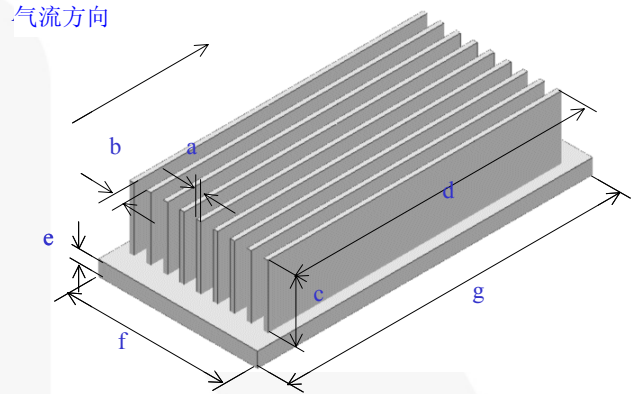


图17 [图.3-6]空调应用中的散热器实例 (保持不变: a=2mm, b=6mm, c=30mm, d=140mm, e=7mm, f=76/100mm, g=160mm)

图18给出了气流速度对热阻 $R_{\theta HA}$ 的影响。选择两种散热器基板，依赖于自然对流的条件下，热阻的参考值分别约为1.4°C/W and 1.6°C/W。强制对流可减小约3倍的热阻。在此情况下，气流速度约为2m/s。这是最理想且成本低廉的散热器尺寸。风扇的速度达到5m/s时，热阻将减少到85% (≈0.25 °C/W)。

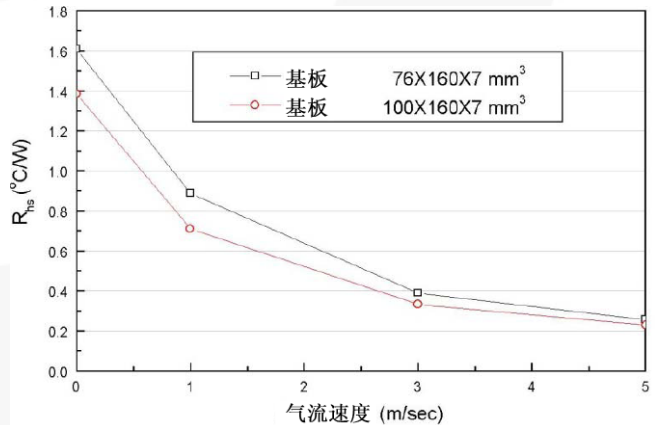


图18 气流速度改变时的 $R_{\theta HA}$ 变化

参考文件

[FNX4XX60X- 智能功率模块 Motion-SPM™](#)

[AN-9070-μMini DIP SPM- 智能功率模块 Motion-SPM™ 用户指南](#)

[AN-9072-μMini DIP SPM- 智能功率模块 Motion-SPM™ 安装指导](#)

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.