



Is Now Part of



**ON Semiconductor®**

To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at  
[www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at [www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf). ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

# AN-9071

## 智能功率模块 Motion SPM® 45 系列 热性能信息

### 热阻测试

#### 概述

结温是半导体器件比较敏感的因素 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。这个点被称为结壳热阻， $R_{\theta JC}$ 。当参考点为周围环境温度时，就被称为结环热阻， $R_{\theta JA}$ 。这两个热阻都是用来表征器件热性能。 $R_{\theta JC}$ 通常用于表贴有器件的散热器，而 $R_{\theta JA}$ 图 1用于其它情况。为智能功率模块（包括散热器）从结至环境的热流网络。鉴于热阻过大，

虚线表示的器件  $R_{\theta CA}$  的分布可以忽略

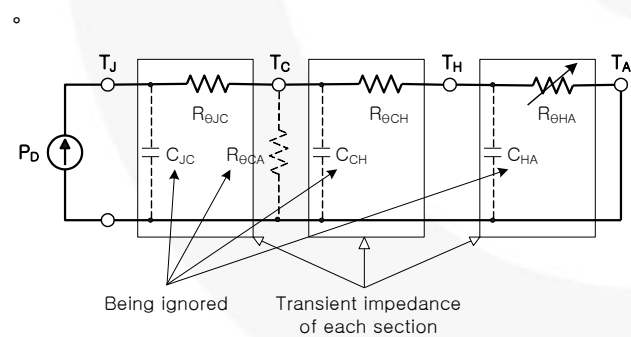


图 1. 带有散热器的瞬态热等效电路

SPM的热阻可由下式定义：

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

式中， $R_{\theta JC}$  ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) 为结至壳体热阻， $P_D$  (W)、 $T_J$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 和  $T_C$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 分别为各器件的耗散功率、结温和壳体参考温度。通过将  $T_C$  替代为  $T_A$  (环境温度)，可得结至环境热阻  $R_{\theta JA}$ ：

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

式中， $R_{\theta JA}$  表示包括散热器在内的智能功率模块的整体热性能。 $R_{\theta JA}$  为一系列串联热阻  $R_{\theta JC}$ 、 $R_{\theta CH}$  和  $R_{\theta HA}$  的总和：

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

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程度地减小  $R_{\theta CH}$  和  $R_{\theta HA}$ ，并且降低  $R_{\theta JC}$  本身。若  $R_{\theta CH}$  和  $R_{\theta HA}$  减小到零，且壳体温度  $T_C$  锁定在恒定的环境温度  $T_A$ ，则可以获得一个无限大的散热器。通常， $R_{\theta CH}$  的值与硅胶的厚度成比例，并受到装配工艺的限制，而通过选取适当的散热器，可将  $R_{\theta HA}$  控制在某个范围内。

在实际应用中，功耗  $P_D$  图 1 具有周期性，因此应该考虑的瞬态 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 SPM45 系列 承受更重的负荷。图 2 至图 6 为 FNA40560、FNA40860、FNA41060、FNA41560 和 FNB43060Tx 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。

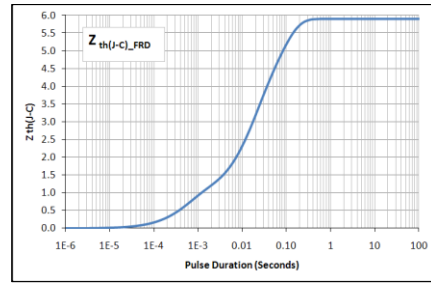
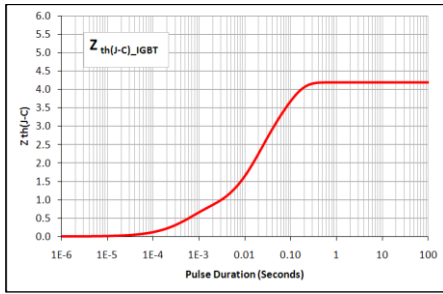


图 2. FNA40560的热阻抗曲线

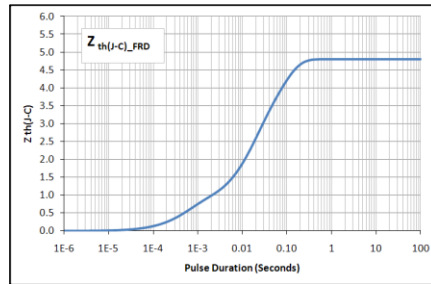
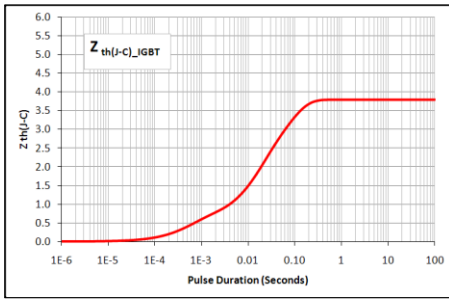


图 3. FNA40860的热阻抗曲线

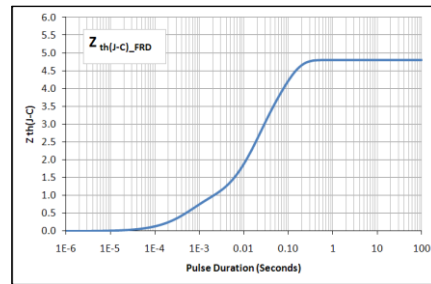
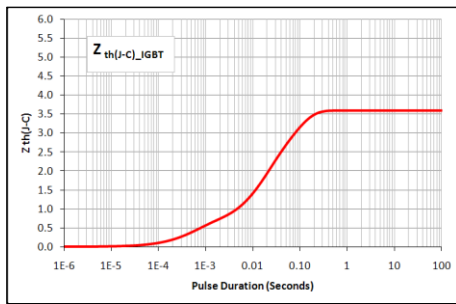


图 4. FNA41060的热阻抗曲线

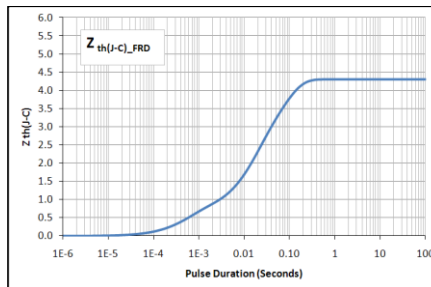
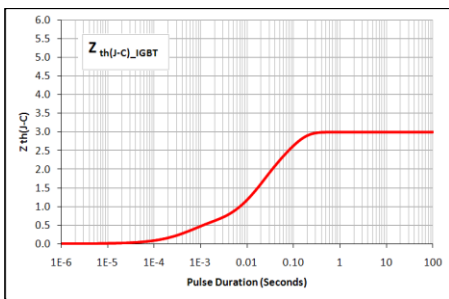


图 5. FNA41560 的热阻抗曲线

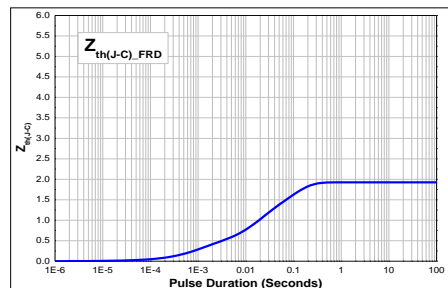
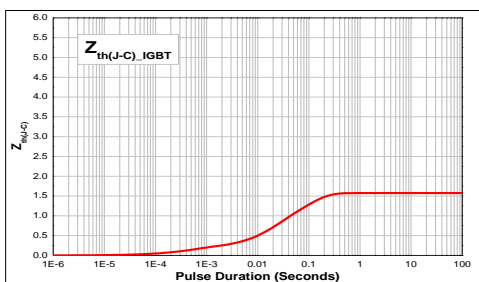


图 6. FNB43060Tx 的热阻抗曲线

## 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。因为可以直接测量  $T_C$ 、 $T_A$  和  $P_D$ ，唯一未知的数值为结温  $T_J$ 。电测试方法（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 7 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。

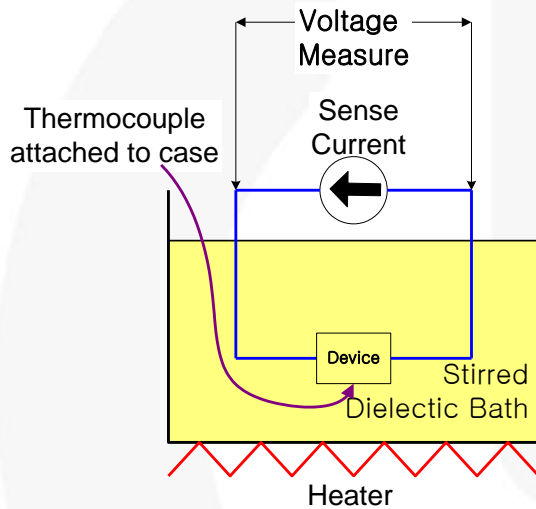


图 7. TSP测量的浴法图解

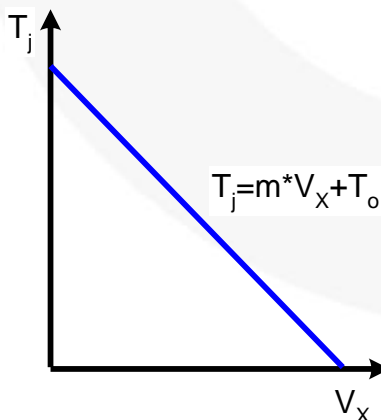


图 8. 恒定检测电流时TSP图的典型实例

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，反复测量。图 8 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，校准直线的斜率  $m$  图 8（如所示）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，其原因是特定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，栅极导通电压就可以作为 IGBT 或者 MOSFET 的 TSP。

## 测量步骤

热阻测试的第一步是给 DUT 施加连续的已知电流和电压。连续的功率将 DUT 加热至热平衡状态。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。典型实例如图 9 所示。

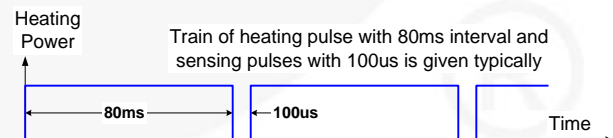


图 9. SPM-IGBT  $R_{jc}$  测量中功率与采样脉冲序列实例

TSP 采样时间必须很短，这样在重新加载功率前，结温不会降低。图 9 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。图 10 给出了施加到 DUT 的大部分功率。

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。通过测量值和式 1，就可以得到结至壳体热阻  $R_{\theta JC}$ 。在此， $R_{\theta JC}$  是指器件在一个理想环境下的散热能力，也就是器件被放置在无限大或者可控温的散热器上。

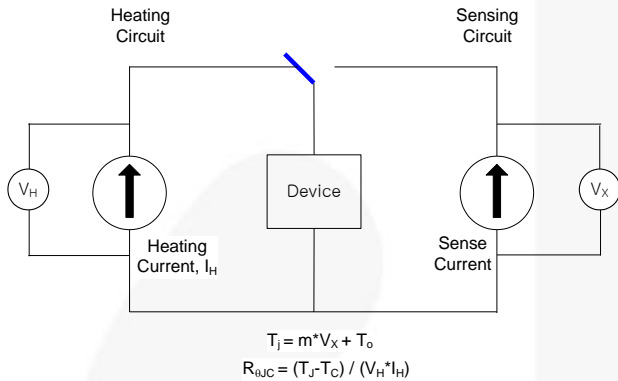


图 10. 热阻测试方法概念的图解

#### Pneumatic Heat Sink Fixture

Voltage : 120VAC, 60HZ

Case Size : 275 x 190 x 125 [mm<sup>3</sup>]

External Heat Sink Size: 150 x 110 x 7[mm<sup>2</sup>]

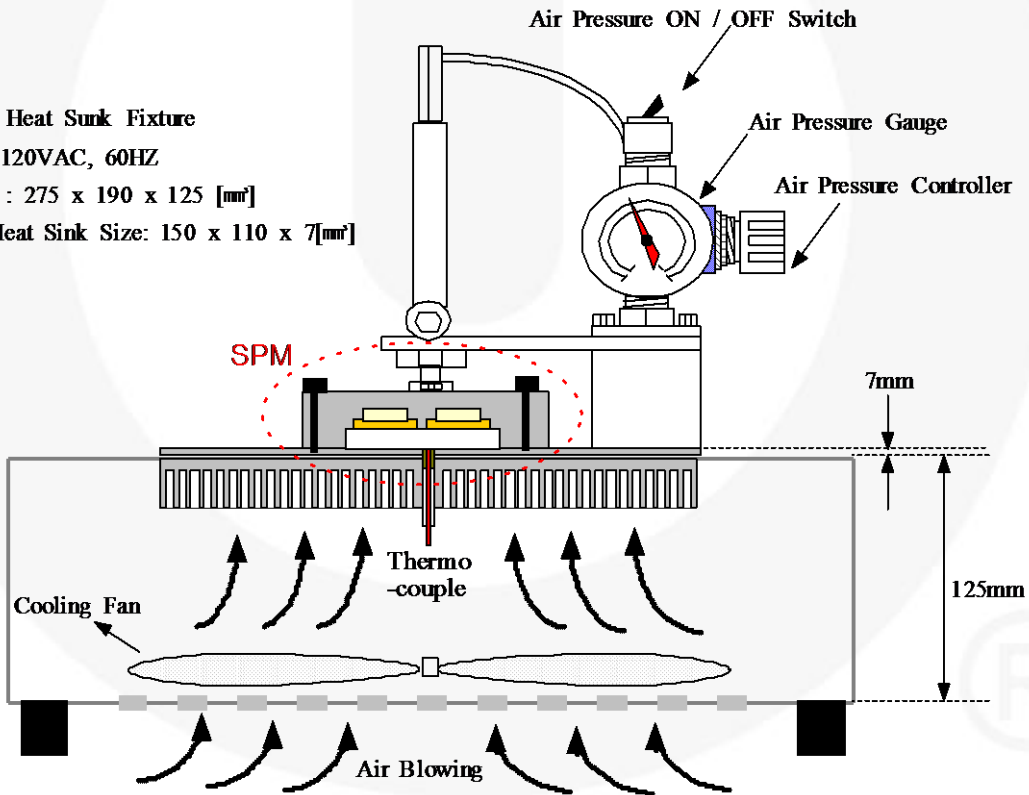


图 11. SPM 的热测量环境

给出了SPM的热阻测量环境。图 11 SPM安放在具有高热承载能力的散热器上。为了防止 SPM 与散热器之间出现空气间隙，SPM 与散热器之间必须涂抹一层硅胶。

一支热电偶穿过散热器，直至触及 SPM 底部，用来记录 SPM 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。

热电偶与参考位置之间需要良好的热接触。因此需要热脂和适当的夹紧压力，如图 11 所示。

## 有效负载电流

采用典型特性的功耗仿真结果，如图 12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。

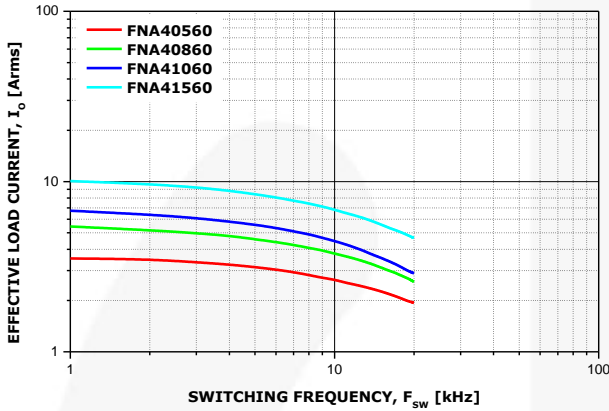


图 12. 有效电流与载频特性

### 注意：

- 在不同的控制方案和电动机传动系统类型下，上面的特性可能会不同。
- 图 12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，SPM45H 可以安全运行）。

## 散热器设计指南

选择散热器需要考虑很多因素，包括放置空间，实际工作功耗，散热器成本，周围的流体环境，装配位置等。在本指南中，从实践的角度出发，仅仅分析一部分约束因素为选择散热器提供一些思路。

### 用于洗衣机的散热器

在自然对流条件下，洗衣机应用可以采用图图 13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。

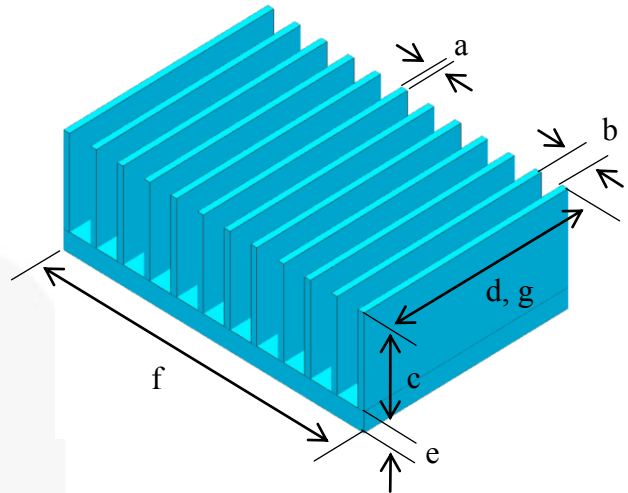


图 13. 洗衣机中散热器实例

### 注意：

- $a$ =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 10至图 17给出了散热器设计过程中散热器-环境温度热阻  $R_{\theta JA}$ 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，最理想的翅片间距大约是4 或 5mm，基板面积为  $73 \times 53mm^2$ 图 14，如所示。翅片间距的增大将导致翅片总数目的减少，即减少热对流的总面积。减小翅片间距将影响相邻翅片间的空气流动。当翅片间距大于或者小于 4mm 和 5mm 时，都会导致热阻增大。增加翅片厚度可以减少翅片总数目和散热器的尺寸，导致热阻的增大。

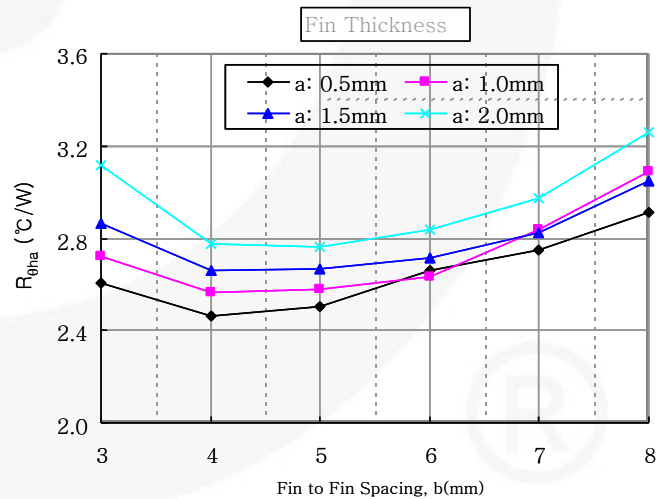


图 14. 翅片间距改变时的  $R_{\theta JA}$ 变化（保持不变：  
 $c=21mm$ ,  $d=53mm$ ,  $e=4mm$ ,  $f=78mm$ ,  $g=53mm$ ）

图 15与图 16中的结果给出了基板长度与宽度对热阻的影响。注意图 15中, 基板长度增加到 150%, 即 79.5mm (53mm×1.5), 热阻将减小到 85% ( $\cong 2.3 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )。基本长度增加到 200% (53mm×2=106mm), 热阻将减小到 78% ( $\cong 2.09 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )。图 16给出了热阻随基板宽度的变化结果, 显示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% ( $\cong 2.144 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ ) 和 70% ( $\cong 1.88 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )。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 16图15给出了改变翅片高度时热阻的变化。

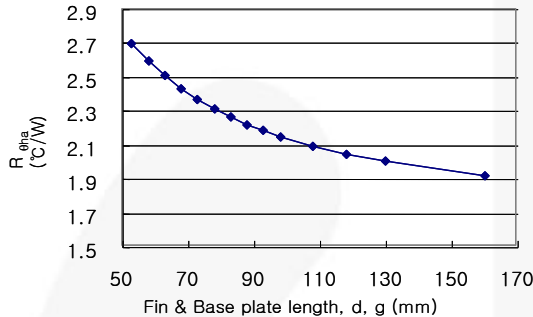


图 15. 基板长度变化时的  $R_{\theta JA}$  的变化 (保持不变:  $a=1.5\text{mm}$ ,  $b=5.45\text{mm}$ ,  $c=21\text{mm}$ ,  $e=4\text{mm}$ ,  $f=78\text{mm}$ )

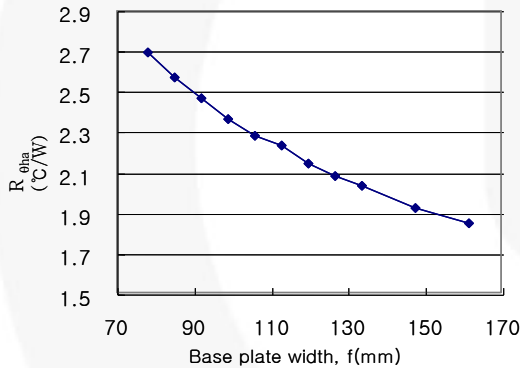


图 16. 基板宽度改变时的  $R_{\theta JA}$  的变化 (保持不变:  $a=1.5\text{mm}$ ,  $b=5.45\text{mm}$ ,  $c=21\text{mm}$ ,  $d=53\text{mm}$ ,  $e=4\text{mm}$ ,  $g=53\text{mm}$ )

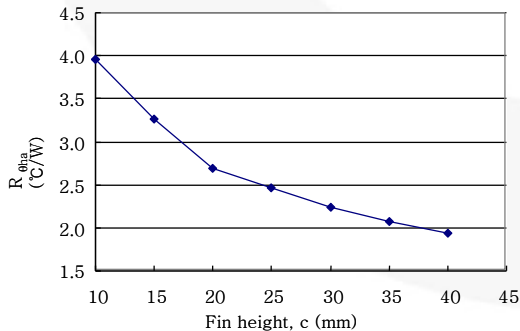


图 17. 翅片高度改变时  $R_{\theta JA}$  的变化 (保持不变:  $a=1.5\text{mm}$ ,  $b=5.45\text{mm}$ ,  $d=53\text{mm}$ ,  $e=4\text{mm}$ ,  $f=78\text{mm}$ ,  $g=53\text{mm}$ )

## 用于空调的散热器

与洗衣机用 SPM 的逆变器不同, 空调用 SPM 的逆变器需要连续功耗。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 18给出空调系统中常用的散热器外形。在本节中, 采用图 18所示的散热器, 对气流速度对热阻的影响进行描述。

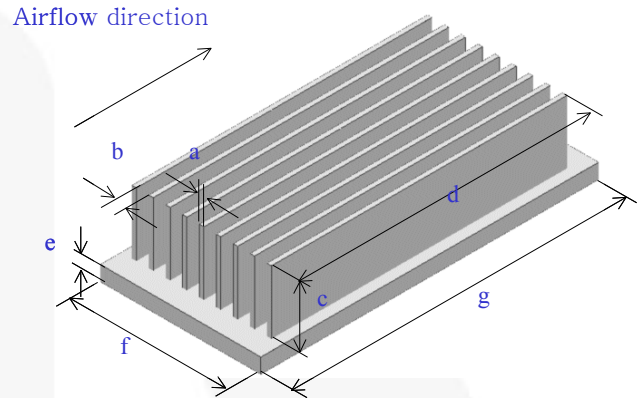


图 18. [图 3-6] 空调应用中的散热器实例 (保持不变:  $a=2\text{mm}$ ,  $b=6\text{mm}$ ,  $c=30\text{mm}$ ,  $d=140\text{mm}$ ,  $e=7\text{mm}$ ,  $f=76/100\text{mm}$ ,  $g=160\text{mm}$ )

图 19给出了气流速度对热阻  $R_{\theta JA}$  的影响。在自然对流条件下, 基于两种不同基板测得的热阻参考值分别为  $1.4^\circ\text{C/W}$  和  $1.6^\circ\text{C/W}$ 。强制对流可减小约3倍的热阻。这时, 空气流速大约为  $2\text{m/s}$ , 这是性价比最理想的散热器尺寸。转速为  $5\text{m/s}$  的风扇将使热阻降低至  $85\%$  ( $\cong 0.25 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )。

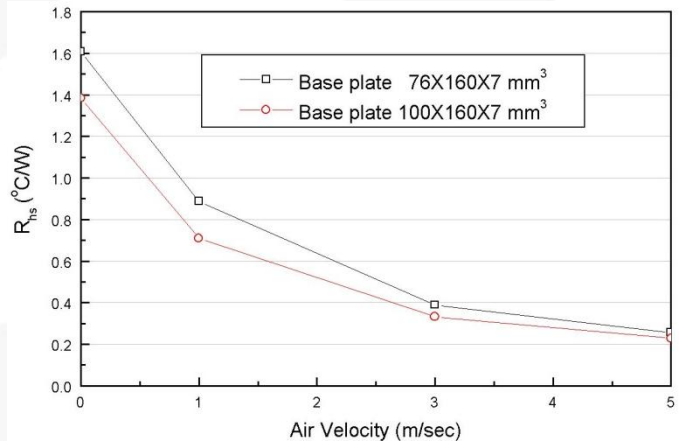


图 19. 气流速度改变时  $R_{\theta JA}$  的变化

## 相关资源

[FNA40560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNA40860 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNA41060 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNA41560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNB40560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNB41060 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNB41560 — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[FNB43060Tx — 智能功率模块 Motion SPM®](#)

[AN-9070 — SPM45H 智能功率模块 Motion SPM® 用户指南](#)

[AN-9072 — SPM45H 智能功率模块 Motion SPM® 安装指南](#)

若要获取运动控制设计工具，请访问

[http://www.fairchildsemi.com/design\\_tools/motion\\_control\\_design\\_tool/](http://www.fairchildsemi.com/design_tools/motion_control_design_tool/)

### 注意：

在本指南及其他飞兆文档和产品手册中，下列术语可以互换：

DIP = Motion SPM® 2, Mini-DIP = Motion SPM® 3, Tiny-DIP = Motion SPM® 5,

and  $\mu$ Mini-DIP = Motion SPM® 45H

### 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.



ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at [www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf](http://www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf). ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

## PUBLICATION ORDERING INFORMATION

### LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor  
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA  
**Phone:** 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada  
**Fax:** 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada  
**Email:** [orderlit@onsemi.com](mailto:orderlit@onsemi.com)

**N. American Technical Support:** 800-282-9855 Toll Free  
USA/Canada  
**Europe, Middle East and Africa Technical Support:**  
Phone: 421 33 790 2910  
**Japan Customer Focus Center**  
Phone: 81-3-5817-1050

**ON Semiconductor Website:** [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com)  
**Order Literature:** <http://www.onsemi.com/orderlit>  
For additional information, please contact your local  
Sales Representative