



成功实现功率器件热设计的4大步骤

概要

铁路、汽车、基础设施、家电等电力电子一直在与我们息息相关的生活中支持着我们。为节省能源和降低含碳量（实现脱碳），需要高度高效的电力电子技术。IGBT、SiC、GaN 等次时代功率器件的存在是实现这一目标的重要一环，但一旦使用不当则会导致意想不到的不良或降低可靠性，严重时可能会因为市场不良导致召回。其中尤为重要是直接影响可靠性的热设计。一旦发生问题，则可能会需要重新进行器件选型，修改基板布局，重新进行散热设计等，从而导致返工工时以及成本的增加。为此，罗姆准备了一系列的应用笔记，汇总了与热设计相关的信息，将有助于提高设备可靠性，减少设计返工。本白皮书将介绍其中的部分应用笔记。

应用笔记的介绍

图 1 展示了罗姆可针对客户的开发流程提供的工具及支持。

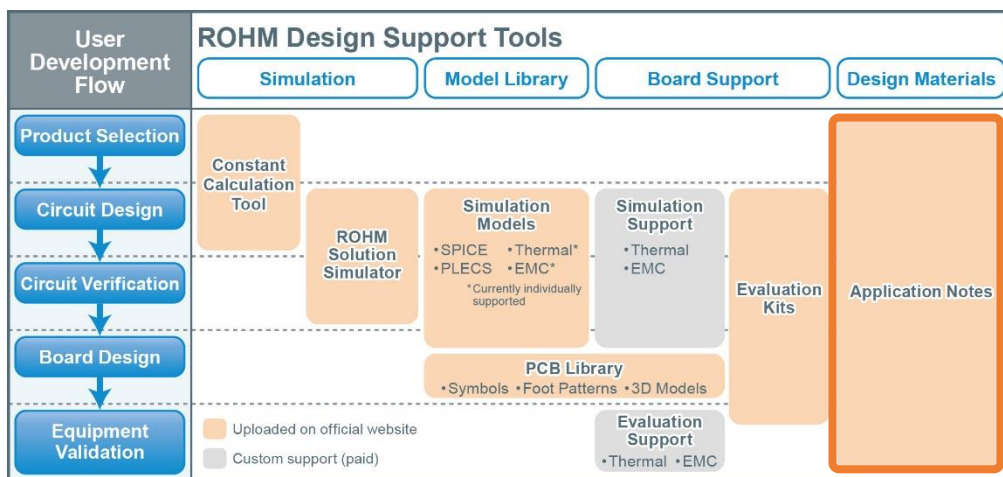


图 1. 罗姆可提供的支持设计和验证的工具

应用笔记是汇总了用户开发流程各阶段所需的技术信息的文档，从基础到实践性内容全方位支持客户。在此，将分 4 大步骤介绍为成功进行热设计所准备的应用笔记。

[步骤 1 学习热设计的基础](#)

[步骤 2 了解所使用元器件的热特性](#)

[步骤 3 活用热仿真](#)

[步骤 4 正确进行热测量](#)

步骤 1 学习热设计的基础

首先我们有必要了解热设计的基础。即使导入了昂贵的系统（测定仪器或仿真软件），如果不了解热设计的基础，就无法有效地进行使用，从而无法成功地进行热设计。那么请首先通过《[何谓热设计](#)》来确认热设计的重要性（图 2）。



图 2. [何谓热设计](#) (摘录)

进行热设计时最重要的参数是各器件的“热阻”。通过利用热阻可以简单地理解复杂的传热现象，是成功实现热设计的捷径（《[热阻和散热的基础](#)》图 3）。

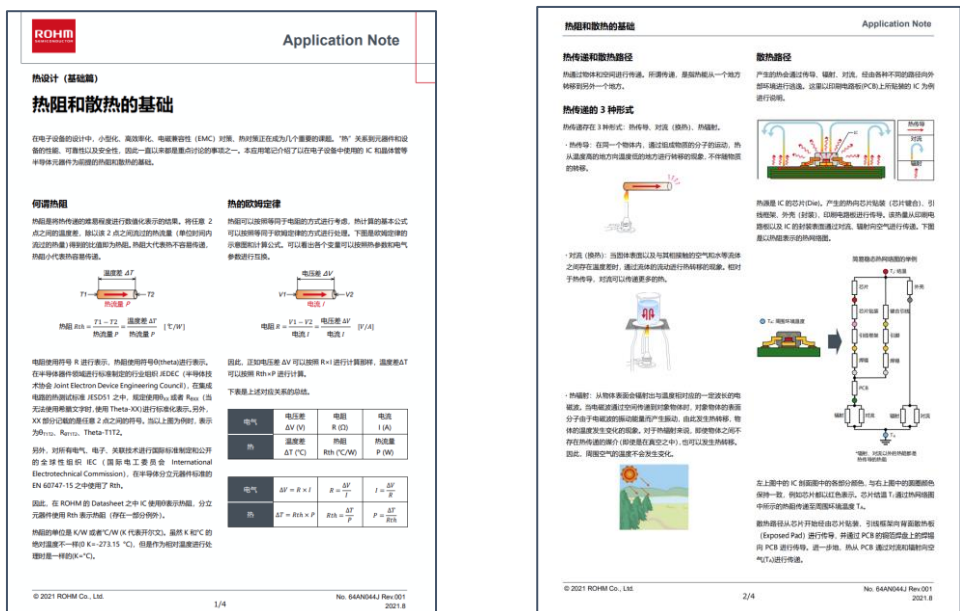


图 3. [热阻和散热的基础](#) (摘录)

步骤 2 了解所使用元器件的热特性

为实现所开发设备的规格，半导体用户有必要了解所使用功率器件的特性。具体来说，即“结温的绝对最大额定值”和“热阻”、“发热量（功耗）”。结温的绝对最大额定值因器件不同而不同，但规格书中一定会记载相关信息。例如，SiC MOSFET 的结温 175°C 是绝对最大额定值（图 4）。

●Absolute maximum ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter		Symbol	Value	Unit
Drain - Source Voltage		V_{DSS}	650	V
Continuous Drain current	$T_c = 25^\circ\text{C}$	I_D^{*1}	70	A
	$T_c = 100^\circ\text{C}$	I_D^{*1}	50	A
Pulsed Drain current		$I_{D,pulse}^{*2}$	175	A
Gate - Source voltage (DC)		V_{GSS}	-4 to +22	V
Gate - Source surge voltage ($t_{surge} < 300\text{ns}$)		$V_{GSS,surge}^{*3}$	-4 to +26	V
Recommended drive voltage		$V_{GS,on}^{*4}$	0 / +18	V
Junction temperature		T_j	175	$^\circ\text{C}$
Range of storage temperature		T_{stg}	-55 to +175	$^\circ\text{C}$

图 4. 绝对最大额定值 规格书摘录 ([SCT3030AW7](#) 示例)

热阻也是规格书中必会记载的信息之一(图 5)。

●Thermal resistance

Parameter	Symbol	Values			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
Thermal resistance, junction - case ^{*6}	R_{thJC}	-	0.44	0.56	$^\circ\text{C}/\text{W}$

图 5.规格书摘录 ([SCT3030AW7](#) 示例)

关于热阻，有各种各样的参数，例如表示结和周围环境之间的 R_{thJA} 等，但功率器件的规格书中记载的则是热阻 R_{thJC} 。 R_{thJC} 是结和壳体之间的热阻值，其测量方法规定在 JEDEC Standard JESD51-14*1 中。

《[热阻 \$R_{thJC}\$ 的测量方法和使用方法](#)》(图 6) 总结了 R_{thJC} 的测量方法和注意事项，是使用功率元器件的用户必须了解的信息。



图 6. 热阻 R_{thJC} 的测量方法和使用方法 (摘录)

与热阻一样重要的是发热量 (功耗)。发热量不仅会根据功率器件的特性而变化，而且会根据电路动作而变化，因此需要根据应用设备来计算。在《[开关电路的功率损失计算](#)》中，汇总了感性负载中开关动作时的发热量 (功耗) 的计算方法 (图 7)。

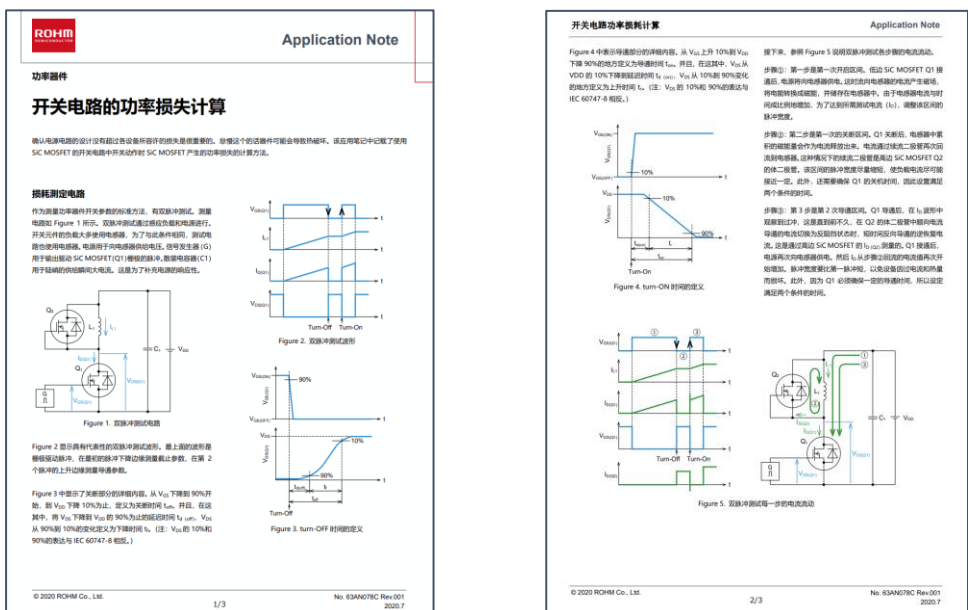


图 7. 开关电路的功率损失计算 (摘录)

当发热量（功耗）随时间而变化时，需要使用规格书中记载的瞬态热阻来求得结温。在《[使用瞬态热阻抗计算结温的方法](#)》（图 8）中，总结了使用瞬态热阻抗计算结温的方法。

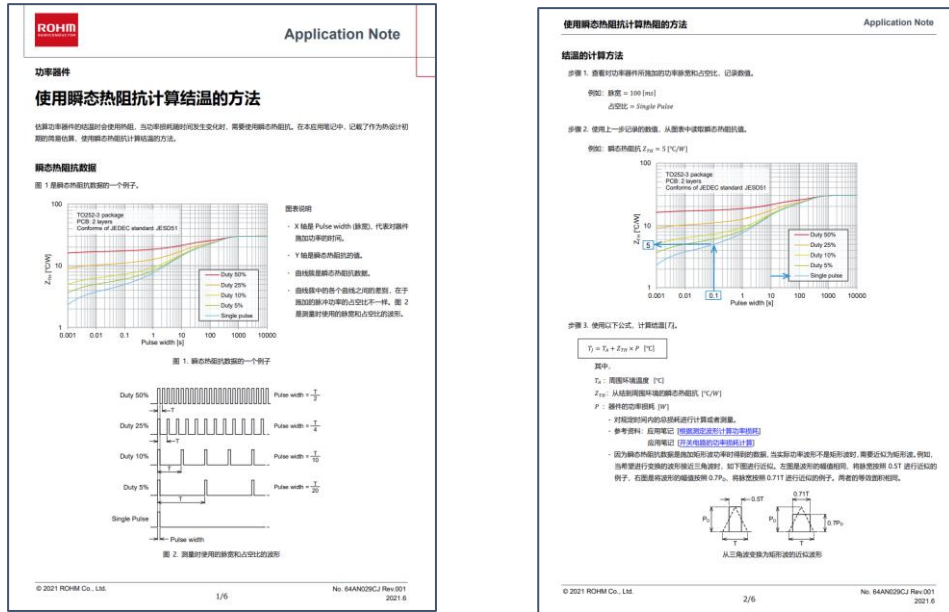


图 8. [使用瞬态热阻抗计算结温的方法](#) (摘录)

步骤 3 活用热仿真

说到热设计的仿真，很多用户都会想到三维的 CFD(Computational Fluid Dynamics)仿真吧。一般使用 CFD 需要专业的知识，因此电路设计者可能不太熟悉。罗姆在网上公开了在大家经常使用的 SPICE 仿真软件中也可以使用的电路仿真热模型。在《热模型是什么》(图 9)中，介绍了热模型。在《热模型使用方法》(图 10)中，介绍了热模型的下载方法以及使用热模型进行热仿真的方法。

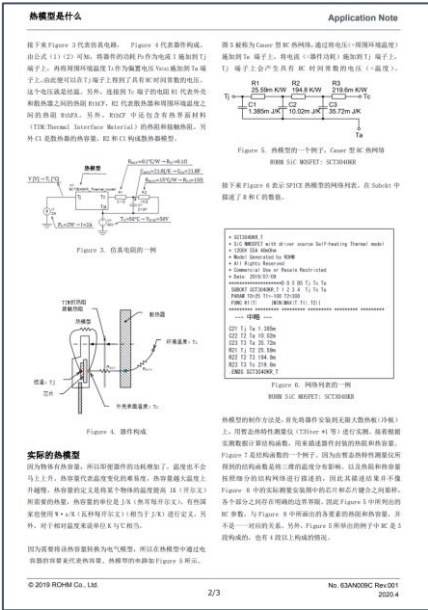
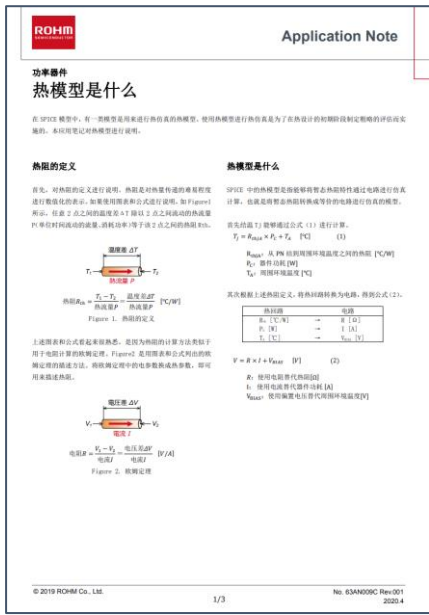


图 9. 热模型是什么 (摘录)



图 10. 热模型使用方法 (摘录)

需要注意的是，使用热模型的 SPICE 仿真适用于在设计初始阶段估算结温，但并不适用于计算包含了绝缘片和散热片的应用设备整体的热阻。如需了解应用设备的散热性能，建议使用三维 CFD 仿真。在《[热仿真用 双热阻模型](#)》(图 11)中总结了用于三维 CFD 仿真的模型。除总结模型中最简单的双热阻模型外，也介绍了其他模型如 DELPHI 模型和详细模型。关于三维 CFD 仿真用模型，如有需求也可以支持。但最终仍需要通过实测进行判断。

Application Note

功率器件 热仿真用 双热阻模型

本文介绍热仿真用热模型之中，最简化的双热阻模型予以说明。这里所述的热仿真用双热阻模型为热传导解析仿真工具作为对象。

热仿真用模型

双热阻模型如图 1 所示，分为简化热模型 (JTB) 和详细热模型两种。

JTB 半导体技术协会热 CTN 分为如下 2 种属类的热模型。其中双热阻模型对应全元件和 JTB。模型构成如图 1 所示。

种类	双热阻模型 (JTB)		详细模型
	简化热模型 (JTB)	详细热模型	
结构			
精度	<ul style="list-style-type: none"> 以 JTB 为对象，分为上下两个部分的热模型。 适用于全元件等单功能元件。 	<ul style="list-style-type: none"> 是一种多热阻网络模型。 	<ul style="list-style-type: none"> 包含详细尺寸、材料等特性的详细模型。
精度	Good	Better	Best
缺点	<ul style="list-style-type: none"> 不能对封装散热。 不能对封装散热。 	<ul style="list-style-type: none"> 不能对封装散热。 	<ul style="list-style-type: none"> 无法模拟。品质不稳定。 仿真时间长。 仿真工具间无法兼容。

Figure 1. 热仿真用模型

© 2020 ROHM Co., Ltd.
1/4
No. 63AN20C Rev.01 2020.4

热仿真用 双热阻模型
Application Note

另一方面，第三种详细模型是一种无规则网络的模型，其建模由厂家的不同而异。由于模型制作过程需要详细的尺寸、材料等特性，要获得这些特性需要量测以及数据协议 (EDA)。这种详细模型精度最高，但仿真速度较慢且仿真量较大。此外，由于没有通用的规则，热仿真工具间无法兼容。

热电阻测试环境的概要

关于热电阻的测定方法，JIS C 0010 标准的 JTB(D) 4、JTB(D) 14 有详细记载。这里说明这两种热电阻的测试环境概要。详细请参考 JTB(D) 标准。

双热阻模型的说明

双热阻模型的物理结构如图 2 所示，是一种 3 节点的结构。封装中包含单一的热电偶，温度由单一的温度节点来测定。热电偶的电极由铜和镍合金制成。热电偶节点 (Junction Node) 表示芯片的热端，外壳节点 (Case Node) 表示封装的上表面。基板节点 (Board Node) 表示元件与焊盘接触的位置。JTB 结构与外壳节点及 JTB 节点与基板之间的两个热阻连接。这两个热阻的数值根据 JTB 和基板的热物性而定。对于 JTB 热阻数值的情况，可通过对测试环境进行热物性的详细模型中抽取相应数值创建双热阻模型。从详细模型中抽取相应数据需要用到 Simcenter Flotherm[®] 等 3 维热流解析工具。

在 JTB 热阻节点处产生热负荷。

外壳节点被看作与封装液流的对流 (通常是空气或水) 与散热器 (一体化的热传导材料) 直接热接触。

基板节点被看作与封装液流下方的环境 (通常是 PCB 基板) 直接热接触。

$$R_{th} = \frac{T_c - T_a}{P} \quad [^\circ\text{C}/\text{W}] \quad (1)$$

T_c: 封装液流中 JTB 节点处于稳定状态时的封装液温度 [°C]
T_a: 稳定状态下的环境温度 [°C]
P: 为了以该环境温度变化所消耗的功率 [W]

热电阻测试环境

热电阻测定用 JTB 和 PCB 热阻所以进行的热物性，用产品与水冷散热器片接触，用热电偶测定 JTB 接触面与空气表面的温度来判断。由于热电阻测定环境温度存在误差，这样的测定结果并不准确再现。这是因为封装外壳中可能有厚度的误差分布，热电偶中心位置与热电偶中心不完全重合。此外，由于热电偶热端位置不完全重合，测得的高度有可能与实际不符。

Figure 2. 双热阻模型的物理结构

© 2020 ROHM Co., Ltd.
2/4
No. 63AN20C Rev.01 2020.4

图 11. [热仿真用 双热阻模型](#) (摘录)

步骤 4 正确进行热测量

试制机完成后，有必要通过实测确认是否是按照设计完成的。热设计方面，首先应该确认的是“发热量（功耗）”。关于发热量的测量，请参考《根据测定波形计算功率损耗》（图 12）。

图 12. 根据测定波形计算功率损耗 (摘录)

关于抓取波形时经常会出现的倾斜误差问题，请参考总结了探针倾斜的重要性的《功率测量中探针校正的重要性 倾斜校正篇》（图 13）。

图 13. 功率测量中探针校正的重要性 倾斜校正篇 (摘录)

最后一项重要的是温度测量。在《使用热电偶进行温度测量时的注意点》(图 14) 中, 针对使用热电偶进行温度测量时存在的问题点, 结合实际的测量结果进行了汇总。在《使用热电偶测量封装背面温度时的注意点》(图 15) 中, 总结了用户偶尔会实施的在封装背面开槽测量温度时的注意点。该方法并不是作为半导体供应商推荐的方法, 在实施时需要十分小心谨慎地进行测量。

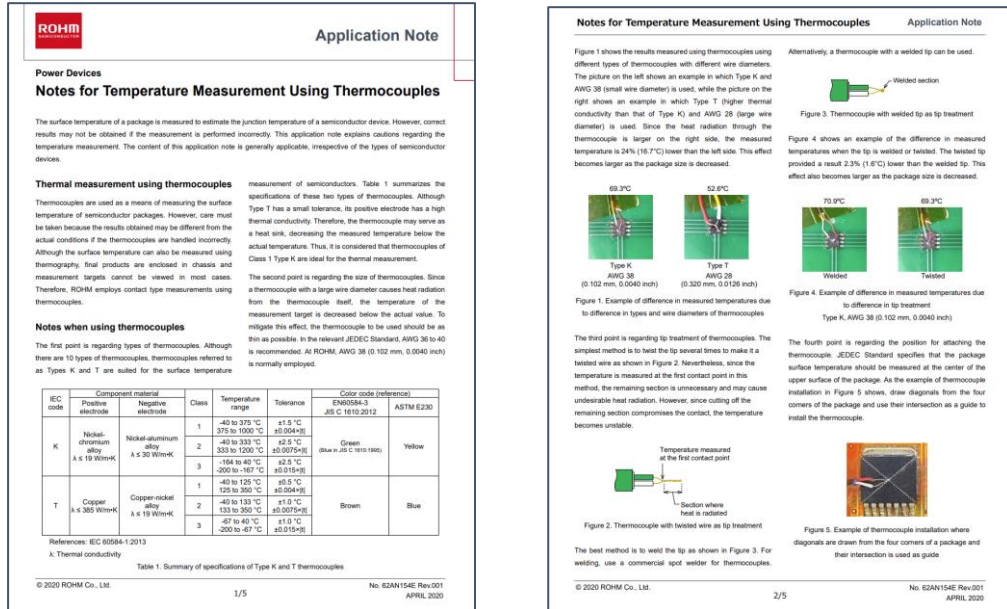


图 14. 使用热电偶进行温度测量时的注意点 (摘录)

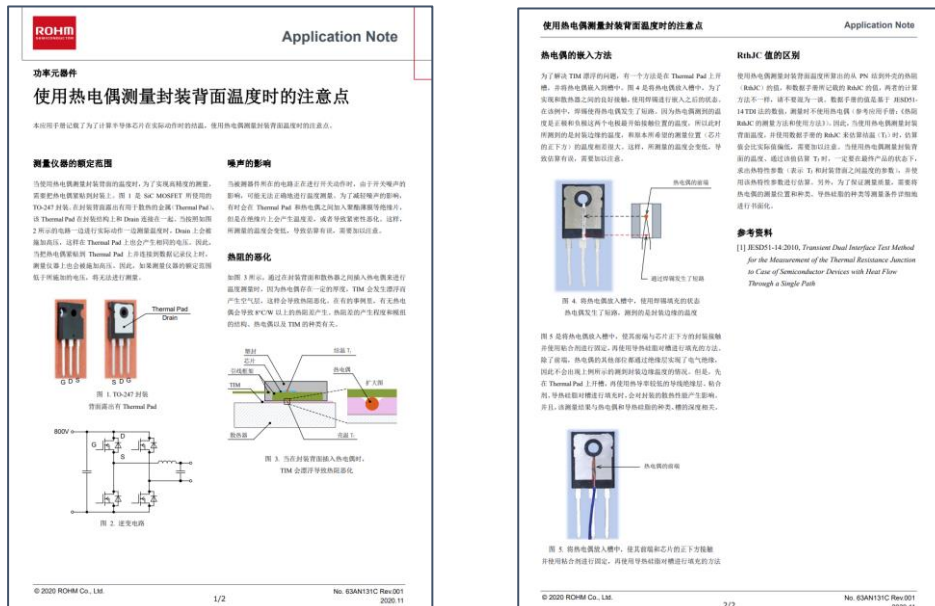


图 15. 使用热电偶测量封装背面温度时的注意点 (摘录)

结束语

本文按照步骤介绍了系列应用笔记，该系列应用笔记汇总了提高应用设备可靠性、削减设计返工工时所需的相关热设计信息。除此之外，针对从元器件选型到仿真、评价、基板制作等各个流程，罗姆还备有解决用户课题的最佳解决方案。通过这些内容，可以提高用户应用开发的速度，并为防止故障、不良的发生做出贡献。

本文介绍的应用笔记

《何谓热设计》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/common/what_is_thermal_design_an-c.pdf

《热阻和散热的基础》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/common/basics_of_thermal_resistance_and_heat_dissipation_an-c.pdf

《热阻 RthJC 的测量方法和使用方法》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/common/rthjc_measurement_and_usage_an-c.pdf

《开关电路的功率损失计算》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/common/pd_calc_power_dissipation_switching_cir_an-c.pdf

《使用瞬态热阻抗计算结温的方法》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/common/tj_from_transient_rth_data_an-c.pdf

《热模型是什么》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/sic/common/what_is_a_thermal_model_sic_an-c.pdf

《热模型使用方法》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/sic/common/how_to_use_thermal_models_an-c.pdf

《热仿真用 双热阻模型》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/common/two_resistor_model_for_thermal_simulation-c.pdf

《根据测定波形计算功率损耗》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/discrete/sic/common/pd_calc_power_loss_measured_waveform_an-c.pdf

《功率测量中探针校正的重要性 倾斜校正篇》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/common/Importance_probe_calibration_descue_an-c.pdf

《使用热电偶进行温度测量时的注意点》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/en/products/databook/applinode/common/notes_on_temperature_measurement_using_thermocouples_an-e.pdf

《使用热电偶测量封装背面温度时的注意点》

https://rohmfs-rohm-com-cn.oss-cn-shanghai.aliyuncs.com/cn/products/databook/applinode/common/precautions_when_measuring_the_rear_of_the_package_with_a_thermocouple_an-c.pdf

参考资料

*1. JESD51-14:2010, Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction to Case of Semiconductor Devices with Heat Flow Through a Single Path

This document is intended to introduce ROHM' s products (hereinafter "Products"). Any ROHM Products should be used in conjunction with the latest specifications and data sheet thereof. Please contact the sales office of ROHM or visit ROHM' s web site. The information contained in this document is provided on an "as is" basis. ROHM shall not be in any way responsible or liable for any damages, expenses or losses incurred by you or third parties resulting from inaccuracy, error or use of such information. All information specified herein including but not limited to the typical functions of and examples of application circuits for the Products is for reference only. ROHM does not warrant that foregoing information will not infringe any intellectual property rights or any other rights of any third party regarding such information. ROHM shall bear no responsibility whatsoever for any dispute arising from the use of such technical information. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM and other parties. If you intend to export or ship overseas any Products or technology specified herein that may be controlled under the Foreign Exchange and Foreign Trade Act and other applicable export regulations, you will be required to obtain a license or permit under the acts and regulations. The content specified in this document is current as of MAR, 2022 and subject to change without any prior notice.

ROHM Co.,Ltd.

22F, Central Towers, 567 Langao
Road, Shanghai, 200333 China
TEL : +86-21-6072-8612

www.rohm.com.cn

