

## Application Note

## 在设计中使用 MOSFET 瞬态热阻抗曲线



John Wallace

## 摘要

功率 MOSFET 数据表包括归一化瞬态热阻抗图：结至外壳  $Z_{\theta JC}$  或结至环境  $Z_{\theta JA}$ 。为简单起见，本文使用“ $Z_{\theta JC}$  图”来表示其中任何一个，但请理解，同样的原理也可应用于  $Z_{\theta JA}$  图。这些图用于估算由于单个或重复功率脉冲而导致的结温升。或者， $Z_{\theta JC}$  图还可用于估算 MOSFET 在单个或周期脉冲电流下的峰值电流能力，如[了解 MOSFET 数据表，第 4 部分 - 脉冲电流额定值](#) 技术文章中所示。

## 内容

1 引言.....	2
2 查看 $Z_{\theta JC}$ 图.....	2
3 使用 $Z_{\theta JC}$ 图估算结温升.....	2
4 应用示例.....	2
5 使用 $Z_{\theta JC}$ 图估算 MOSFET 峰值电流能力.....	3
6 应用示例.....	4
7 总结.....	5
8 参考资料.....	6

## 插图清单

图 2-1. CSD17579Q5A $Z_{\theta JC}$ 图.....	2
图 4-1. TPS53819A 断续模式短路保护.....	3
图 6-1. CSD19532Q5B $Z_{\theta JC}$ 图.....	4

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

$Z_{\theta JC}$  图包括一系列不同占空比与脉冲宽度值的归一化热阻抗曲线。与 [了解 MOSFET 数据表, 第 6 部分 - 热阻抗](#) 中所示的方法类似, 热阻是在标准的 1.5 英寸 x 1.5 英寸 FR4 PCB 上测量的, 器件安装在 1 英寸<sup>2</sup>、2oz 的铜垫上。不过, 不是用静态功率耗散来测量热阻, 而是改变功率脉冲宽度和占空比。然后将每个脉冲宽度和占空比下的热阻值归一化为数据表中指定的静态热阻  $R_{\theta JC}$ , 从而生成曲线。

## 2 查看 $Z_{\theta JC}$ 图

图 2-1 展示了 TI [CSD17579Q5A 数据表](#) 中的  $Z_{\theta JC}$  图, CSD17579Q5A 是一款采用 5mm x 6mm SON 封装的 30V 功率 MOSFET。y 轴是对数标度的归一化热阻抗  $Z_{\theta JC}$ , x 轴是对数标度的脉冲宽度  $t_p$  (单位: 秒)。每条曲线代表一个占空比值, 从底部的 0% (例如单脉冲) 开始, 到最上面的曲线的 50% 占空比结束。

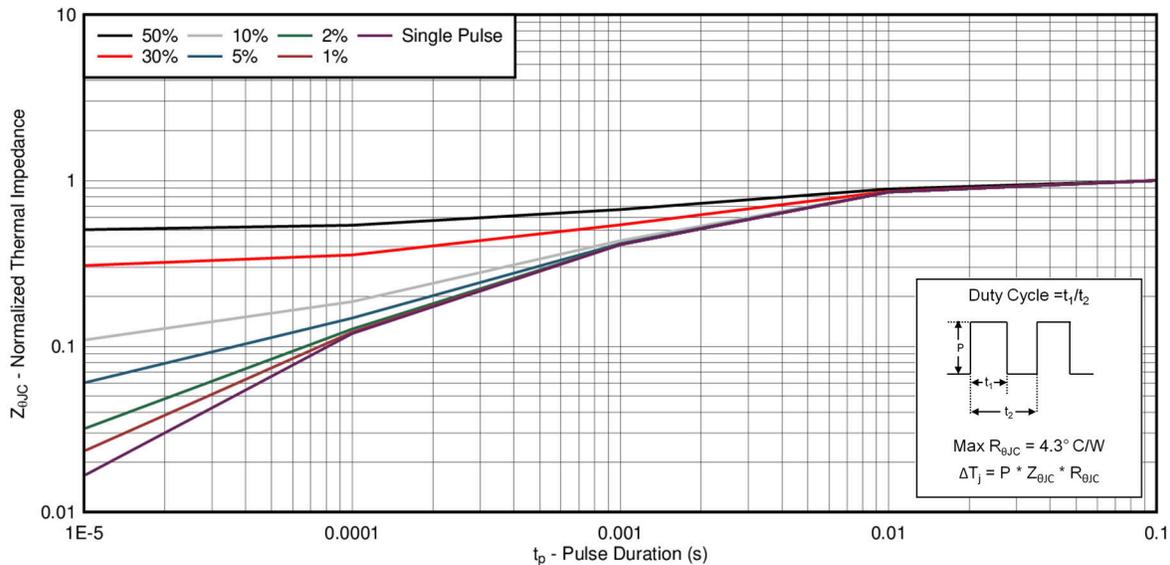


图 2-1. CSD17579Q5A  $Z_{\theta JC}$  图

## 3 使用 $Z_{\theta JC}$ 图估算结温升

利用  $Z_{\theta JC}$  图是一个相对简单的过程。必须知道运行条件, 包括栅极驱动电压  $V_{GS}$ 、漏极电流 (直流或均方根)  $I_D$ 、脉冲宽度  $t_1$  以及占空比  $D$ 。使用  $V_{GS}$  根据 MOSFET 数据表确定  $R_{DS(on)}$ , 并计算功率耗散。

$$P = I_D^2 \times R_{DS(on)} \quad (1)$$

在  $Z_{\theta JC}$  图上, 在 x 轴上找到脉冲宽度  $t_1$ , 并在与功率脉冲占空比  $D$  匹配的曲线上画一条垂直线。这就是这些运行条件下的归一化热阻抗。可以使用如下所示的公式计算估计的结温升。

$$\Delta T_J = P \times Z_{\theta JC} \times R_{\theta JC} \quad (2)$$

## 4 应用示例

功率 MOSFET 应用广泛, 但通常分为两类: 开关模式和线性模式。开关模式应用的一些示例包括直流/直流转换器、D 级音频放大器和电机驱动器。用于热插拔、负载开关以及作为线性稳压器旁路元件的浪涌控制是常见的线性模式应用。

在大多数开关模式应用中, MOSFET 是根据稳态运行条件下的连续输出功率水平 (热设计功率 (TDP)) 来选择和评估的。在这种情况下, FET 中的功率损耗是恒定的, 并且可以使用数据表中指定的热阻  $R_{\theta JC}$  来估算结温。然而, 在输出短路等故障情况下, 直流/直流转换器可能会进入断续模式电流限制。在这种运行模式下, 控制器在尝试重启之前, 会将 FET 开关停止一段预定义的时间。如果故障情况依然存在, 控制器将再次停止开关并尝试重启。这会定期持续, 直到故障情况消除。图 4-1 中显示了同步降压转换器中 TPS53819A 的示例。

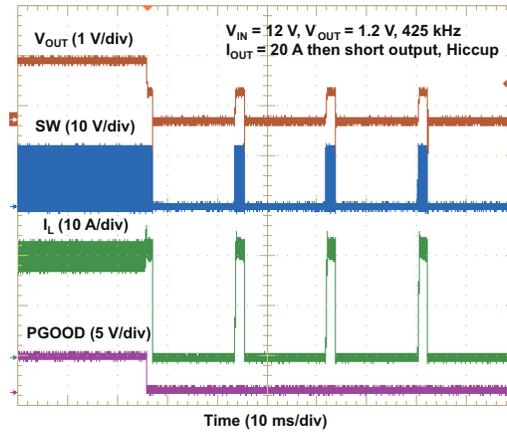


图 4-1. TPS53819A 断续模式短路保护

在此示例中，脉冲宽度  $t_1$  约为 2ms，周期  $t_2$  约为 18ms，占空比为 11%。回到 CSD17579Q5A  $Z_{\theta JC}$  图，在 2ms 处从 x 轴到（最接近的）10% 占空比曲线绘制一条垂直线。从该交点向 y 轴绘制一条水平线，得到的  $Z_{\theta JC}$  值约为 0.52。

在热插拔等线性模式应用中，FET 可能会遭受单脉冲事件（例如浪涌和过流）和周期事件（例如重试模式，与上一示例中所示的断续模式运行类似）。

## 5 使用 $Z_{\theta JC}$ 图估算 MOSFET 峰值电流能力

当峰值电流要求已知时， $Z_{\theta JC}$  图在 FET 选择过程中也很有用。如本应用简报所示， $T_C = 25^\circ\text{C}$  时的 FET 最大连续漏极电流计算如下：

$$\text{Max } I_D \left( T_C = 25^\circ\text{C} \right) = \sqrt{\frac{\left( \frac{\text{Max } T_J - 25^\circ\text{C}}{R_{\theta JC}} \right)}{R_{DS(on)} @ \text{Max } T_J}} \quad (3)$$

对于单脉冲或重复脉冲，热阻乘以  $Z_{\theta JC}$  图中的归一化瞬态热阻抗值。现在，峰值漏极电流的计算变为：

$$\text{Peak } I_D \left( T_C = 25^\circ\text{C} \right) = \sqrt{\frac{\left( \frac{\text{Max } T_J - 25^\circ\text{C}}{Z_{\theta JC} \times R_{\theta JC}} \right)}{R_{DS(on)} @ \text{Max } T_J}} \quad (4)$$

## 6 应用示例

使用 CSD19532Q5B，在  $T_C = 25^\circ\text{C}$  时，1ms 单脉冲的峰值电流是多少？CSD19532Q5B 的  $Z_{\theta\text{JC}}$  图如下面的图 6-1 所示。

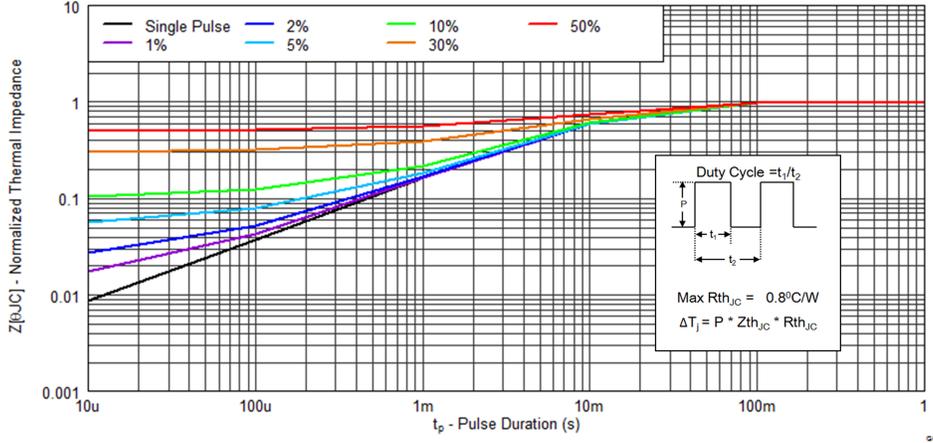


图 6-1. CSD19532Q5B  $Z_{\theta\text{JC}}$  图

CSD19532Q5B 最大持续漏极电流计算如下：

$$\text{Max } P_{\text{DISS}}(T_C = 25^\circ\text{C}) = \frac{\text{Max } T_J - 25^\circ\text{C}}{R_{\theta\text{JC}}} = \frac{150^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{0.8^\circ\text{C}/\text{W}} = 156\text{W} \quad (5)$$

$$\text{Max } I_D(T_C = 25^\circ\text{C}) = \sqrt{\frac{\text{Max } P_{\text{DISS}}}{R_{\text{DS(on)}}@_{\text{Max } T_J}}} \quad (6)$$

$T_J = 150^\circ\text{C}$  时的最大  $R_{\text{DS(on)}}$  可按以下方式计算得出：使用  $V_{\text{GS}} = 10\text{V}$  时的最大额定  $R_{\text{DS(on)}} = 4.9\text{m}\Omega$ ，并将  $R_{\text{DS(on)}}$  乘以数据表图 8 中所示的归一化因数。

$$\text{Max } R_{\text{DS(on)}}@_{\text{Max } T_J} = 4.9\text{m}\Omega \times 2.1 = 10.3\text{m}\Omega \quad (7)$$

$$\text{Max } I_D(T_A = 25^\circ\text{C}) = \sqrt{\frac{156\text{W}}{10.3\text{m}\Omega}} = 123\text{A} \quad (8)$$

从 x 轴上的 1ms 到单脉冲曲线画一条垂直线，并从那里到 y 轴画一条水平线以获得  $Z_{\theta\text{JC}} = 0.17$ 。峰值漏极电流的计算公式如下：

$$\text{Peak } I_D(T_C = 25^\circ\text{C}, t_p = 1\text{ms}) = \sqrt{\frac{\left(\frac{150^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}{0.17 \times 0.8^\circ\text{C}/\text{W}}\right)}{10.3\text{m}\Omega}} = 299\text{A} \quad (9)$$

这些计算假设外壳温度可以无限期地保持在  $T_C = 25^\circ\text{C}$ 。事实上，如果不使用零热阻抗的无限大散热器，这是不可能的。更现实的方法是假设最大外壳温度等于最大允许 PCB 温度。对于 FR4，典型最高温度为  $110^\circ\text{C}$ ，并且峰值漏极电流会降低：

$$\text{Peak } I_D(T_C = 110^\circ\text{C}, t_p = 1\text{ms}) = \sqrt{\frac{\left(\frac{150^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}}{0.17 \times 0.8^\circ\text{C}/\text{W}}\right)}{10.3\text{m}\Omega}} = 169\text{A} \quad (10)$$

如果脉冲宽度保持 1ms，但以 50% 的占空比重复，会怎样？从  $Z_{\theta\text{JC}}$  图中可以看出，1ms、占空比 50% 的重复脉冲的  $Z_{\theta\text{JC}}$  值为 0.56。这些条件下的峰值重复漏极电流为：

$$\text{Peak repetitive } I_D \left( T_C = 110^\circ\text{C}, t_p = 1\text{ms} : D = 50\% \right) = \sqrt{\frac{\left( \frac{150^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}}{0.56 \times 0.8^\circ\text{C}/\text{W}} \right)}{10.3\text{m}\Omega}} = 93\text{A} \quad (11)$$

最后需要注意的是，为了确保可靠性，大多数工程师通常将 FET 最大工作结温降低  $10^\circ\text{C}$  至  $25^\circ\text{C}$ ，特别是对于 FET 可以长时间运行的重复脉冲。例如，假设降额最大运行  $T_J = 130^\circ\text{C}$ 。现在，峰值重复漏极电流为：

$$\text{Peak repetitive } I_D \left( T_C = 110^\circ\text{C}, t_p = 1\text{ms} : D = 50\% \right) = \sqrt{\frac{\left( \frac{130^\circ\text{C} - 110^\circ\text{C}}{0.56 \times 0.8^\circ\text{C}/\text{W}} \right)}{10.3\text{m}\Omega}} = 66\text{A} \quad (12)$$

## 7 总结

本文介绍了如何在设计中使用 MOSFET 数据表中的  $Z_{\theta\text{JC}}$  图，并提供了一些应用示例。这在设计的 FET 选择和验证阶段非常有用。

## 8 参考资料

- 德州仪器 (TI), [了解 MOSFET 数据表, 第 4 部分 - 脉冲电流额定值](#) 技术文章。
- 德州仪器 (TI), [了解 MOSFET 数据表, 第 6 部分 - 热阻抗](#) 技术文章。
- 德州仪器 (TI), [CSD17579Q5A 30V N 沟道 NexFET™ 功率 MOSFET 数据表](#)
- 德州仪器 (TI), [功率 MOSFET 体二极管连续载流能力](#) 应用简报。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司