



Is Now Part of



ON Semiconductor®

**To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at
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. 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-4161

沟道 MOSFET 在线性工作模式下实现稳定性的实际考虑因素

引言

半导体技术经过多年的发展，已取得了卓越的成绩。如今器件的性能已得到显著提高，在降低漏源极导通电阻，减小栅极电荷，加快开关速度方面尤其如此。在当今竞争激烈的环境下，最为重要的是整个系统实现低功耗和更佳性能。大多数功率 MOSFET 器件在开关速度至关重要的高频应用中被用作开关。^[1] 由于开关间隔时间极短，使能产生的导通和动态开关损耗更低，因此它们具有更佳效率。由于导通电阻 ($R_{DS(ON)}$) 和击穿电压 (BV_{DSS}) 的正温度系数，它们还具备更佳电热稳定特性。这些属性对于限制热逃逸情况出现的可能性是比较理想的。然而，这些理想的特性并非完全适合其器件工作在线性模式下的应用。较高的跨导 (g_{FS}) 特性使得器件容易出现电热不稳定性，线性工作模式下尤其如此。由于受到了功率 MOSFET 裸片尺寸逐渐减小的影响，热不稳定性情况在低漏极电流 (I_D) 下更加明显。^{[2][3]} 其次，阈值电压 (V_{TH}) 具有负温度系数，使其在无负反馈的情况下无法维持恒定的漏极电流 (I_D)。^[1] $R_{DS(ON)}$ 的正温度系数并不能代表稳定运行所需的所有因素。这些权衡因素可导致功率 MOSFET 中出现对器件造成破坏的“热斑”现象。即使器件具有精心设计的散热器，但热斑仍难以控制，这是因为散热器只在降低总平均结温方面效果良好，而在功率 MOSFET 单元结构中，热斑更多地集中在某一特定区域。

本应用指南重点介绍线性模式下影响沟道 MOSFET 器件出现热不稳定性情况的因素。尤其着重研究出现漏极电流 (I_D) 集中过程中，导致器件产生局部热斑的现象。

对若干器件进行故障试验前测试以确定裸片内的损坏程度，并对不同测试条件下的故障特征进行区分。本文还对器件正向偏置安全工作区 (FBSOA) 在线性模式下展示的性能进行了实践分析。依据基于其 I_D 与 V_{GS} 性能特性曲线得出的器件零温度系数 (ZTC) 值对其进行评测。

回顾功率 MOSFET 的安全工作区功能

安全工作区 (SOA) 曲线描绘了功率 MOSFET 器件在功率处理能力方面的局限性。在开关模式应用中，设计工程师通常关注器件的动态损耗和关断状态下的击穿能力。^[1] 电源区 FBSOA 边界在开关模式应用中并不重要。工作在线性模式下的器件着重于不同的应用场景。其工作在非饱和模式下，远离 $R_{DS(ON)}$ 和恒流线路，但在 SOA 边界内，恰好位于击穿电压限制区前。如果器件工作在线性模式下，由于是在可能导致结温迅速上升的高压降和高电流条件下工作，因此其功耗相当高。热逃逸、热不稳定性和电热不稳定性意思相同，是指器件发生故障前由于结温升高不受控制而出现的不稳定状况。图 1 显示大多数功率 MOSFET 数据表中包含的典型 SOA 曲线。SOA 边界内恒流线路右侧所示的恒定功率曲线，是从假设整个功率 MOSFET 裸片中结温基本一致的条件得出的热数据中提取的。耗散功率不会导致器件发生灾难性故障，但当施加的功率脉冲均匀分布在裸片表面时，会使结温达到最大保障温度。

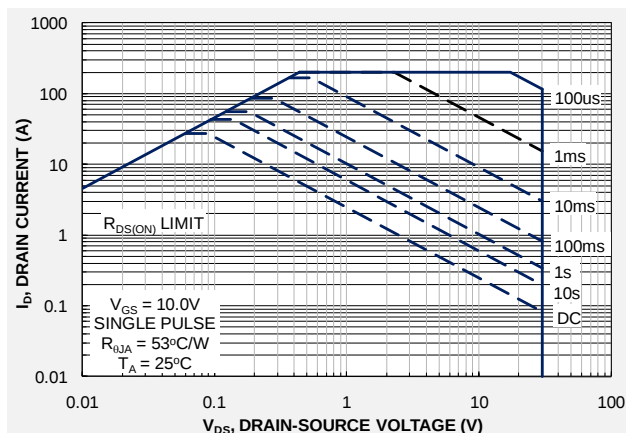


图 1. 典型 FBSOA 曲线

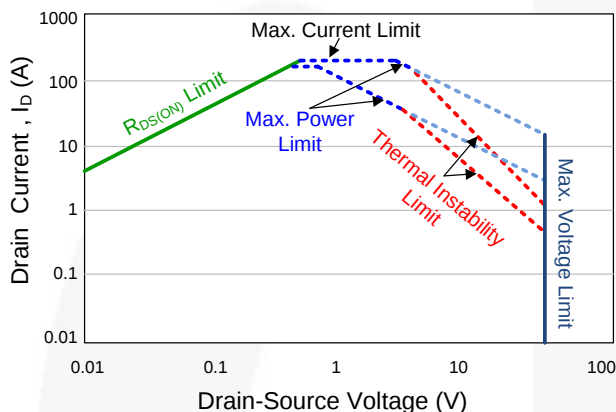
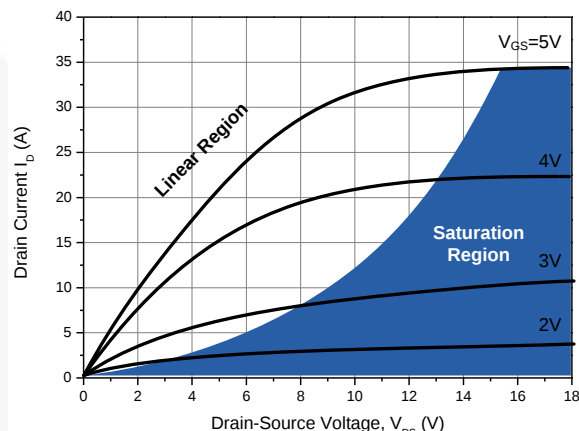


图 2. 功率 MOSFET 的 FBSOA 曲线

遗憾的是，上述假设并非总是有效。需要考虑的是，焊接到固定焊盘的裸片边缘温度通常低于裸片中心温度。与裸片安装工艺有关的一些缺陷，如孔隙、热油腔等，可能会影响热导率，使受影响区域的局部温度急剧上升。而涉及到制造工艺缺陷的其他方面可能会导致阈值电压 (V_{TH}) 和跨导 (g_{FS}) 波动，对器件的热性能造成不利影响。各类已发表的技术论文表明新一代低压功率 MOSFET 能力有限。器件的 SOA 能力显示电源电压接近其额定击穿电压 (BV_{DSS}) 时，预期 SOA 边界有较大偏离。我们进行了验证测试，测试结果似乎显示出电流集中现象，且限制在功率 MOSFET 单元结构的某一特定区域。从 SOA 边界出现的偏差在较短脉冲持续时间的测试下更为明显。这种反常行为被假定是由于阈值电压效应或作为温度函数的器件增益所引起。^[2-3] 图 2 中修改后的 SOA 曲线着重于低压功率 MOSFET 热不稳定性限制的影响，正如 Spirito 等以及参考文献中所介绍的一样。^[1-4]

功率 MOSFET 中的线性模式

在导通状态下，功率 MOSFET 基本采用两种工作模式（不包括在关断状态下的截止模式）。图 3 显示线性区和饱和区之间的分界线。分界线右侧（阴影区域）为饱和区，左侧为线性区。

图 3. V_{DS} 与 I_D 的特性曲线，显示了功率 MOSFET 的运行情况

- 线性区（也称为“三极管模式”或“欧姆模式”）
 - 在线性区，漏极电流 (I_D) 是漏极电压 (V_{DS}) 的线性函数。
 - 该器件工作时如同电阻，由相对于漏极电压 (V_{GS}) 的栅极电压 (V_{DS}) 控制。
 - $V_{DS} < (V_{GS} - V_{TH})$ 且 $V_{GS} > V_{TH}$ 。
 - 在线性模式下，栅极电压的较小变化会导致漏极电流呈线性变化。
- 饱和区
 - 漏极电压 (V_{DS}) 大于栅极电压 (V_{GS})，导致电子扩散。
 - $V_{DS} > (V_{GS} - V_{TH})$ 且 $V_{GS} > V_{TH}$ 。

在线性模式下，当功率 MOSFET 处于有效区时，漏极电流 (I_D) 可由栅极电压 (V_{GS}) 控制，这被定义线性工作模式。器件的 $R_{DS(ON)}$ 是由栅极电压和其漏极电流决定的。在此模式下，器件受制于因高漏极电压、电流同时作用而导致的高电热应力，进而引起高功耗。

漏极电流的温度系数 ($\Delta I_D / \Delta T$)

图 4 显示某一功率 MOSFET 器件的 I_D 与 V_{GS} 性能曲线。器件数据表通常包括这种转移特性曲线，用以表示漏极电流 (I_D) 可作为栅极电压 (V_{GS}) 在固定结温下的函数。零温度系数 (ZTC) 是曲线上与温度线的交点。它对应于一个栅极电压，在此电压下，该器件的 DC 电性能对温度保持恒定，即 $\Delta I_D / \Delta T = 0$ 。在 ZTC 下，任何单元温度的增加都会导致 I_D 升高，使单元可以从相邻单元中吸入电流。当一个单元或一组单元变得比周围单元更热时，他们往往传导更多电流。更多 I_D 导入该单元，

使其温度升高，由于通态损耗（高功耗），会使更多的电流流过（正反馈带来的再生效果），进而产生更多热量。这会导致 $\Delta I_D/\Delta T > 0$ （正温度系数）。将栅源极（ V_{GS} ）控制电压设置在 ZTC 之下可能会导致热逃逸。

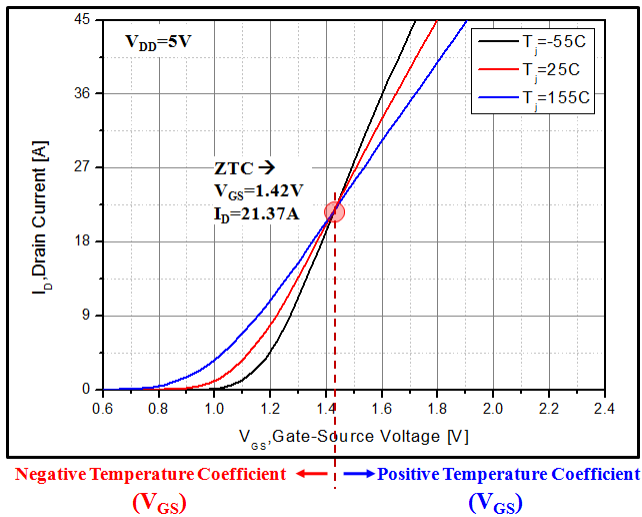


图 4. I_D 与 V_{GS} DUT 响应曲线显示了 ZTC 值的汇合点

当 V_{GS} 在 ZTC 之上时， g_{FS} 在温度较高的单元中其值较低（流动性随温度而降低），这些单元为相对较热的热斑区域。相比周围温度较低的单元，其传导的电流更少，这使得较热单元的 I_D 电流降低（负反馈）。这会导致 $\Delta I_D/\Delta T < 0$ （负温度系数）。更为热斑的单元携带更少电流，这会形成热稳定。在此 V_{GS} 电平下工作的器件不容易出现热逃逸情况。一般而言，高电流密度的功率 MOSFET 具有更高的跨导（ g_{FS} ）性。 g_{FS} 越高，传输曲线（ I_D 与 V_{GS} ）上的 I_D 电流交点也会越高。而 g_{FS} 越高也会导致 ZTC 越高。在线性模式下选用器件时要考虑的一个实际问题是选择一个具有较低 ZTC 值的器件。要了解 ZTC 点的效应，可参考图 5 和图 6。图 5 显示在 I_D 保持恒定时， V_{GS} 作为温度函数的行为。三个 I_D 值的选择基于三种工作条件，即，其一是 ZTC 点之下的值，其二是正好位于 ZTC 点的值，最后是 ZTC 点之上的值。需要注意 I_D 温度高于和低于 ZTC 点时 V_{GS} 的变化。在 ZTC 点下时， V_{GS} 值与温度成反比。而对于在 ZTC 点上选择的 I_D 值， V_{GS} 在温度范围内会保持相对恒定。在 ZTC 点之上时， V_{GS} 值与温度成正比。图 6 显示 V_{GS} 值在高于、低于或位于 ZTC 点时对漏极电流（ I_D ）的影响。正如之前所强调的， I_D 在 ZTC 点时保持相对稳定。在 ZTC 点上方和下方的 I_D 变化与 V_{GS} 成反方向变化。

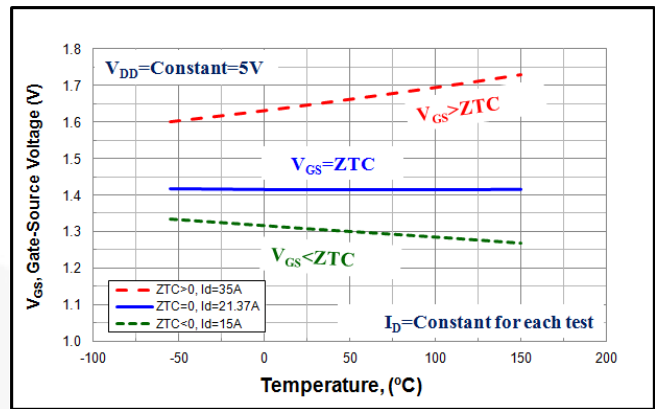


图 5. 不同温度下的 V_{GS} 响应曲线

图 5 和图 6 表明图 4 的特性曲线；在 ZTC 点下时， V_{GS} 随温度而降低，而 I_D 随温度而上升。显而易见，如果没有电路元件或控制反馈从外部对电流进行调节，对于低于 ZTC 的固定 V_{GS} 偏置，漏极电流（ I_D ）会随着结温上升而增加。在 ZTC 点时，器件性能相对平坦、恒定。在 ZTC 点上时， V_{GS} 重新获得控制且 I_D 随着温度升高而减小。图 4 和图 5 表明，在 ZTC 点时的 I_D 大约为 21 A。如果将 1.42 V 的 V_{GS} 施加在栅极和源极两端并保持不变，则不管结温如何，该器件传导的电流均为 21 A。然而，如果传导的 I_D 低于 ZTC 线（即 15 A），则随着结温升高，它将需要越来越少的栅极驱动电压来保持电流恒定。不断降低的 V_{GS} 会导致局部电流密度增加，从而导致局部功耗（ P_D ）增加。 P_D 的增加随后会导致结温上升，如果不进行外部控制，可能引发灾难性故障。

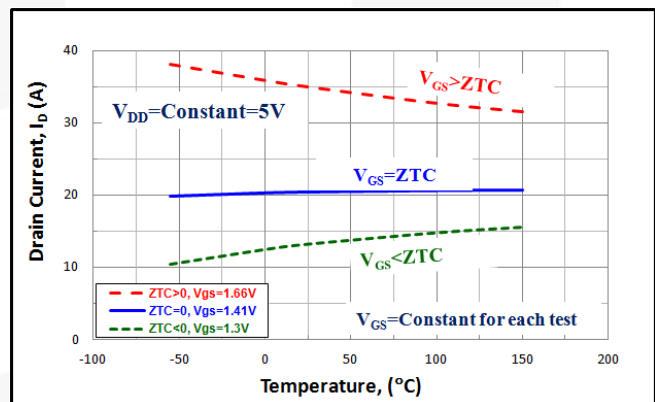


图 6. 不同温度下的 I_D 响应曲线

漏极电流的温度系数以图表方式呈现出来,如图 7 所示,其中对采用不同技术的若干器件进行了测试,以确定 $\Delta I_D/\Delta T$ 曲线。所有功率 MOSFET 均有一个低值漏极电流范围,此时为正温度系数。漏极电流的增加表现为温度系数增加到峰值,然后下降到零值,最后下降到负值。这可从典型的 I_D 与 V_{GS} 性能曲线中提取,说明其在低电流时存在峰值,然后逐渐下降。环境温度和高温值之间的增量越大,温度系数峰值就越高。根据方程式 (1),这一特性会导致发生热不稳定性情况,尤其是在较高漏极电压下:^[2]

$$\frac{\Delta I_D}{\Delta T} > \frac{1}{V_{DS} \cdot Z_{\theta(t)}} \quad (1)$$

不论是漏极电压 (V_{DS}) 还是热阻增大,功率 MOSFET 都会在较低漏极电流下开始出现热不稳定性。如图 7 所示,与器件 #8 相比,器件 #7 具有更高的电流温度系数,并且对热不稳定性现象具有更高灵敏度。同样如图 7 所示,器件 #7 在正温度系数下的漏极电流范围要较器件 #8 大。这是比较器件 FBSOA 稳健性的另一种方式。它通常被限制在一个较低的漏极电流值范围内。考虑漏极电流的温度系数 $\Delta I_D/\Delta T$ 。^[4] g_{FS} 越高,交叉电流就越高,导致漏极电流 ($\Delta I_D/\Delta T$) 的温度系数也越高。

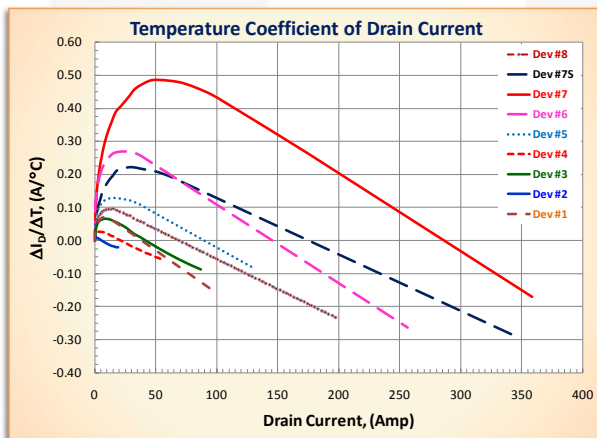


图 7. 采用不同沟道技术时 I_D 与 $\Delta I_D/\Delta T$ 的响应曲线

然而,即使温度系数在某一特定漏极电流值下为正,器件仍可能工作,而不会发生热逃逸情况。沟道技术通常具有较高的 g_{FS} ,但这并不意味着所有采用沟道技术的器件都不适合线性模式应用。

电流集中现象

热电流集中是指漏极电流试图将其限制于某一局部区域时发生的异常故障。^[3] 这包括在裸片内不均匀发热且高度集中在受影响的特定单元内。这一现象导致裸片特定区域产生热斑。通常,当器件在 ZTC 点下工作且整个裸片的温度不均匀时,才会发生这种情况。

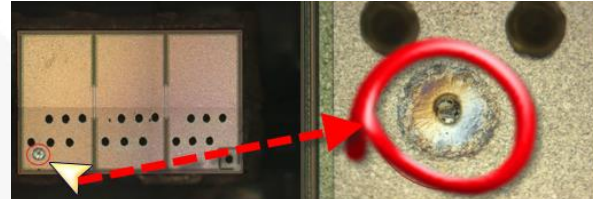


图 8. 展示电流集中现象的故障特征样本

与裸片平均上升温度相比,受影响区域产生的温度相当高。故障特征在某种程度上是受限制的,且被定位于邻近焊盘的特定区域内。图 8 显示当 $V_{DS}=20\text{ V}$ 、 $V_{GS}=2.356\text{ V}$ 且 $I_D=12.5\text{ A}$ 时,(线性模式下)对功率 MOSFET 器件进入故障前测试的样品图。通常,由于电流集中而引起的热不稳定性相关故障,会导致焊盘邻近区域产生热斑。^[5] 当该器件在不稳定区域(ZTC 点以下)工作时,则会发生该故障。在阈值电压和 g_{FS} 值的分布,再加上许多单元间热耦合不协调,会使特定区域电流密度较高,导致电流聚集。这随后会导致热斑的形成。焊线可作为散热器,这意味着相较于在热不稳定条件下工作的相邻单元,焊盘下方的单元温度更低。^[5] 然而,在电流短路条件下,该器件工作在负 $\Delta I_D/\Delta T$ 下。此时,温度在硅芯片上均匀分布。该器件实际工作在热稳定模式下。故障通常发生在焊盘正下方。^[5] 对相同器件的若干样品进行了故障前测试,以确定其 SOA 能力。图 9 显示故障发生前不同持续时间和 (V_{DS}) 偏压下的功耗。

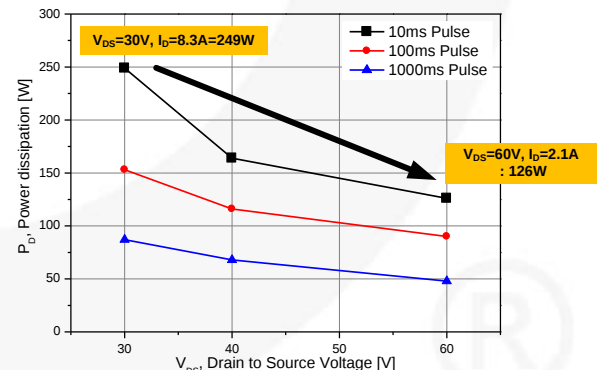


图 9. 故障发生前不同持续时间和 (V_{DS}) 偏压下的功耗

如图 9 所示, 在 $V_{DS}=60\text{ V}$ 且 $I_D=2.1\text{ A}$ 的偏置条件下, MOSFET 在发生故障前的 10 ms 内功耗高达 126 W。在发生故障前相同的脉冲持续时间 (10 毫秒) 内, 使用 30 V 的 V_{DS} 偏压将器件的功率处理能力提升至 249 W。在 $V_{DS}=60\text{ V}$ 、 $I_D=2.1$ 偏置条件下故障过早发生的原因是, 由于涉及的裸片较小区域处于不稳定启动状态而形成热斑。显而易见的是, 相比低电压/高电流偏置条件, 较高的电压/低电流条件下的线性工作模式更容易发生故障。

总结

只要在设计阶段将涉及电流集中情况的条件考虑在内, 采用更新沟道技术的功率 MOSFET 也非常适合工作模式。这些条件包括跨导 (g_{FS})、漏极电压 (V_{DS}) 和器件处于高功耗下的持续时间。 $\Delta I_D/\Delta T$ 为相关参数, 其中正值指示器件的故障敏感性。视乎 V_{DS} 、 $Z_{\theta(t)}$ 和器件单元结构的热耦合而定, 这种效应可导致出现热不稳定性情况。在高漏极电流 (I_D) 和高栅极电压 (V_{GS}) 驱动下, g_{FS} 的负温度系数可以补偿 V_{TH} 效应并产生负的 $\Delta I_D/\Delta T$, 此时影响无关紧要。当器件在开关模式应用中的开关切换期间硬切换为“打开”时, 热电流集中不会导致出现问题。然而, 在以下情况下可能会出现问題: 器件工作在

漏极电压较高的线性模式下; 漏极电流降到 ZTC 之下; 以及栅极电压正好高于 V_{TH} , 却在 ZTC 点之下。当栅极电压控制功率 MOSFET 且 V_{GS} 在 ZTC 点之下, 可能会发生热逃逸情况。如果一个单元或一组单元比周围单元更热时, 往往会传导更多电流, 从而产生更多热量。由于阈值电压 (V_{TH}) 的负温度系数特性, 这会允许传导更多的电流。该过程再次启动, 导致了结温进一步增加。随后, 如果漏极电流不受限制, 就可能导致器件发生故障。这种不稳定状态可以理解为, 由于功率 MOSFET 器件工作在线性模式下, 其正反馈机制所产生的结果。局部功耗增大会导致阈值电压 (V_{TH}) 减小 (V_{TH})。这将导致局部电流密度进一步加大, 从而引起局部功耗 (P_D) 和结温 (T_J) 进一步增加。如果漏极电流 (I_D) 的增加不受外部限制, 则会导致器件发生故障。当器件工作在线性模式下, 特别是当施加的高栅极电压控制漏极电流时 (即在热插拔、故障条件下, 或在系统通电情况下对电容充电时, 对高电流涌浪的需求), 即使在开关模式应用中, 器件也存在发生故障的可能性。SOA 图显示了漏源极 (V_{DS}) 电压、漏极电流 (I_D) 和功率 MOSFET 可耐受功耗时间之间的关系。由于曲线上存在的热不稳定性限制边界^[2], 必要时, 能够符合严格的性能和可靠性要求。设计工程师应深刻理解及洞悉目标应用中功率 MOSFET 安全运行时的实际限制因素。

作者

Allan Cabiluna、YaFei Lv、ZhiPing Hu 和 Wonsuk Choi

参考文献

- [1] Frey, Richard; Graham, Dennis; Mackewich, Tom; "New 500V Linear MOSFETs for a 120kW Active Load," Application Note, Advanced Power Technology (APT), 2000.
- [2] Spirito, P.; Breglio, G.; d'Alessandro, V.; Rinaldi, N.; "Analytical Model for Thermal Instability of Low Voltage Power MOS and S.O.A. in Pulse Operation," Power Semiconductor Devices and ICs Proceedings, 2002.
- [3] Consoli, A.; Gennaro, F.; Testa, A.; Consentino, G.; Frisina, F.; Letor, R.; Magri, A.; "Thermal Instability of Low-Voltage Power-MOSFETs," IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 15, Issue 3; May 2000.
- [4] Wilson, Peter H. "Automotive MOSFETs in Linear Applications: Thermal Instability," Application Note V1.0, May 2005.
- [5] Castellazzi, A.; Ciappa, M.; "Electrothermal Characterization for Reliability of Modern Low-Voltage PowerMOSFETs," IEEE Transactions on Device and Materials Reliability," Volume 7, No. 4; December 2007.

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. 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

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

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative