集成平面 MOS 和沟槽 MOS 优势于一身的线性 MOSFET

关于本文档

范围和目的

OptiMOS™线性 FET 既有平面 MOSFET 的宽 SOA 优势，又有现代沟槽 MOSFET 的行业最低 $R_{DS(on)}$ 优势。它是热插拔应用电熔丝和电池保护应用的理想解决方案，此类应用要求低导通损耗，并且必须在不降低器件性能或不损坏器件的前提下处理高启动电流能力。
本应用说明详细阐释了 OptiMOS™线性 FET 的技术原理，并讨论了其与标准沟槽 MOSFET 的主要区别。

目标受众

电源设计人员

内容

关于本文档 1
内容 1
1 简介 2
2 关于“线性模式”和“线性区域”的澄清 3
3 平面和沟槽 MOSFET 的安全工作区(SOA)比较 4
4 应用描述 5
5 OptiMOS™线性 FET 与标准 OptiMOS™功率 MOSFET 6
5.1 安全工作区(SOA) 6
5.2 典型转移特性 7
5.3 典型栅极电荷 8
5.4 典型输出特性 9
5.5 典型漏源导通电阻 10
6 摘要 11
修订记录 12
Trademarks 13

1 简介

长久以来，人们致力于优化功率 MOSFET 以降低导通和开关损耗。因而，传统平面 MOSFET 发展成为现代沟槽 MOSFET。沟槽技术使得相同芯片面积的 $R_{DS(on)}$ 比以前要小得多，可显著降低总导通损耗。沟槽 MOSFET 的跨导特性也更陡，使得开关速度更快——栅源电压的细小变化可引起高得多的漏源电流。

然而，现代沟槽 MOSFET 有一些局限性，这对某些应用是不利的。一个重要特性是安全工作区(SOA)的变窄，其在毫秒范围内表现出明显的局限性。例如，热插拔应用尤其要求 MOSFET 在 1 ~ 10 毫秒范围内缓慢导通，MOSFET 能承受较大的电流，即要求宽 SOA。针对常导通工作条件，它还要求低 $R_{DS(on)}$ 。英飞凌新型 OptiMOS™线性 FET 是市场上首次将现代沟槽 MOSFET 的低 $R_{DS(on)}$ 与平面 MOSFET 的宽安全工作区(SOA)相结合的技术。

2 关于“线性模式”和“线性区域”的澄清

下图显示了功率 MOSFET 的输出特性。

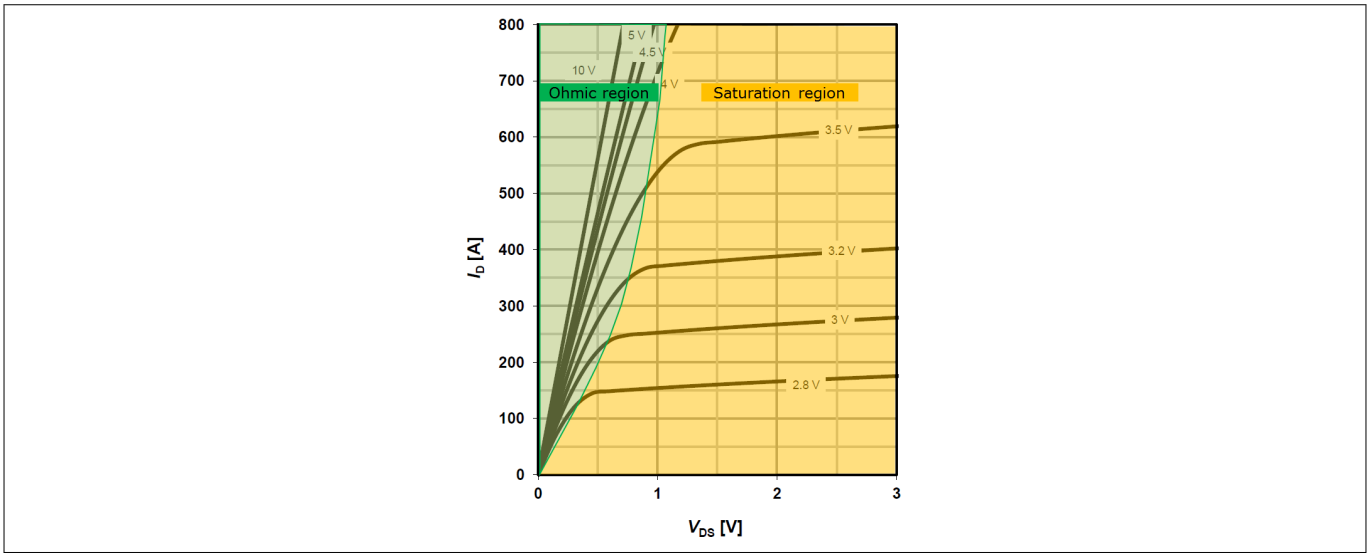


图 1 欧姆和饱和区域，“典型输出特性”图，BSC010N04LSI

欧姆区域（左侧绿色部分）常常也被称为线性区域，因为在此区域中，I_D 与 V_{DS} 之间的特性曲线大致呈线性，与电阻相似。这两个术语在文献中同义。在此区域中，MOSFET 的行为类似于电阻。当漏源电压提高时，电流也会以线性方式提高。

当 V_{DS} 继续提高时，电流开始饱和，器件进入所谓“饱和区域”（右侧黄色部分）。在此区域中，电流受所施加的栅源电压控制，同漏源电压几乎没有关系。数据表中的转移特性 ***图2*** 显示了线性关系 V_{GS} 与 I_D.

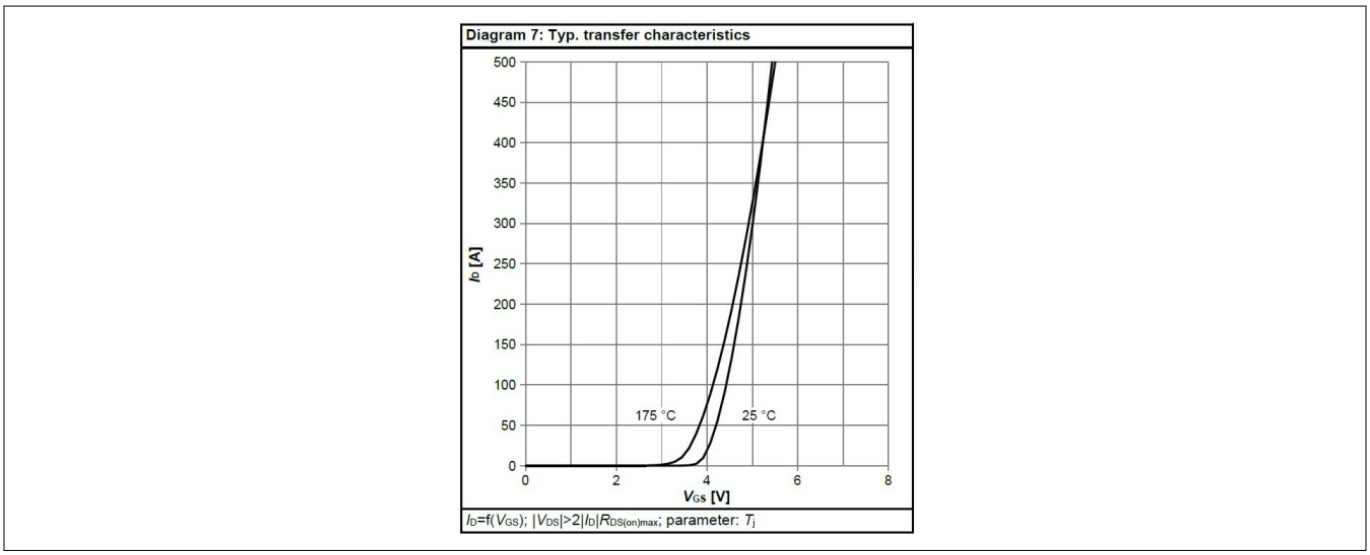


图 2 沟槽 MOSFET 的“典型转移特性”，IPB017N10N5

此外也可以这样类比，MOSFET 像一个线性稳压器一样工作。提高漏源电压只会引起微不足道的电流增加。

在大多数应用中，MOSFET 会在每次开关事件的导通和关断期间非常快速地穿过饱和区域（十分之几到数百纳秒），然后大部分时间处于欧姆区域。

3 平面和沟槽 MOSFET 的安全工作区(SOA)比较

图3 显示了较早的平面 MOSFET 和现代沟槽 MOSFET 的安全工作区(SOA)图形。

沟槽 MOSFET 具有优化的快速切换能力和低得多的 $R_{DS(on)}$，对于较长功率脉冲——热插拔和电池管理应用的典型情况——其表现要弱很多。

在 *图3* 两幅图上均标出了典型工作点（54 V, 10 ms），显示了器件的电流及在此功率脉冲期间的处理。平面 MOSFET（左图）为 4.2 A，沟槽 MOSFET 只能承受 0.5 A。

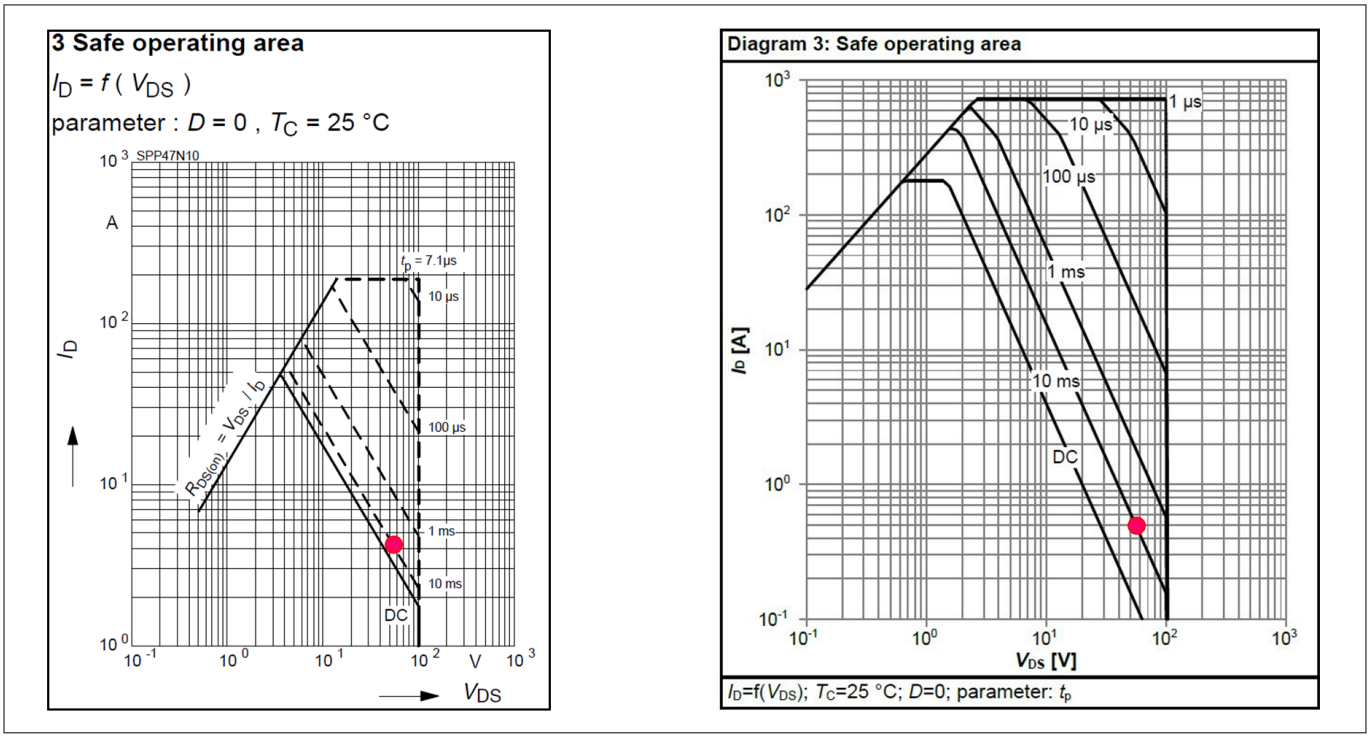


图 3　　平面 MOSFET（左）和现代沟槽 MOSFET（右）的 SOA 图

4 应用描述

在大多数应用中，最理想的是 MOSFET 处于关断状态或导通状态运行在在欧姆区域的。虽然不希望在导通和关断期间穿过饱和区域，但这是无法避免的。然而，在若干特殊情形中，人们希望对饱和区域中的限流特性加以特别利用。一个经典使用案例是在电信系统中。 *图4* 所示为系统框图。

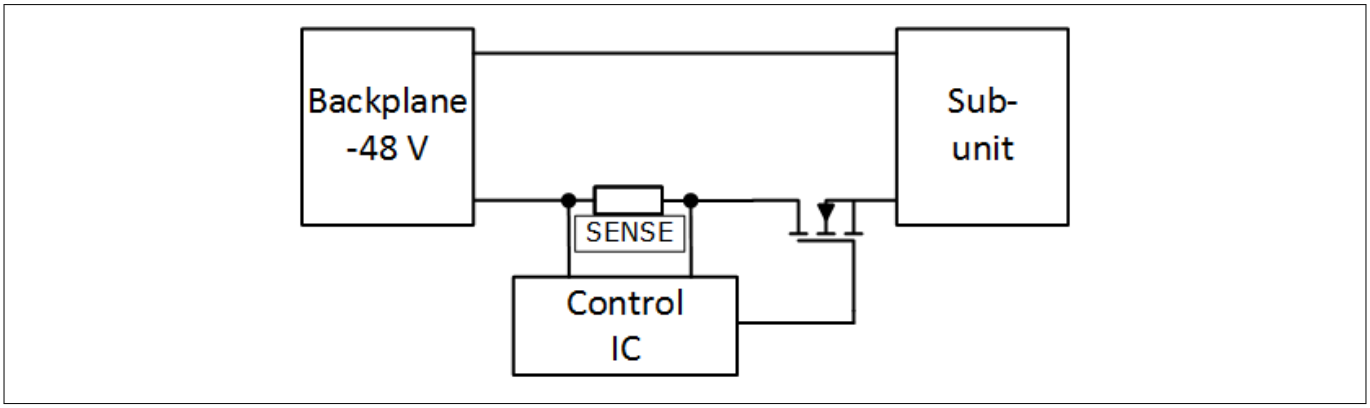


图 4 框图"热插拔"

更换子单元时，主电源（如 48 V）不会切断。

新子单元的输入级含有数个初始未充电的（电解）电容。在不加控制的情况下发生第一次接触时，这些电容会经受与短路事件类似的高浪涌电流。电流仅受 PCB 寄生元件（如电阻和电感等）的限制，很容易达到数百安培。虽然能量主要是从电容组中提取，但在此冲击阶段，主电源可能会崩溃，降到允许的电平以下。为防止这种情况发生，必须将流入子单元的冲击电流限制在合理水平。通过插入一个功率 MOSFET，让其此数毫秒期间工作在饱和区域，可以为瞬时热插拔功能实现有效的限流。该 MOSFET 通过缓慢提高栅源电压来控制（通常借助于特定热插拔控制器 IC），使得漏源电流（电容充电电流）不超过所配置的恒定电流限值。

由于电流分布不均匀（这在大面积的功率 MOSFET 中很常见），芯片的某些部分可能会过载，产生热点。这会缩短元器件的使用寿命，甚至可能导致系统损毁。

应对此问题的一个办法是并联使用两个器件，其中一个器件根据冲击阶段要求的 SOA 行为加以选择，另一个器件选择最新一代低电阻 MOSFET，例如 OptiMOS™ 5 系列，以支持连续导通阶段。这种方法兼有两方面的优势，但由于使用两类器件而非一类，物料成本会增加，而且需要额外控制电路来切换二者。

针对这种应用，理想器件应具有如下特性：既像平面 MOSFET 那样具有很宽的安全工作区，支持冲击阶段中的高电流，又像现代沟槽 MOSFET 那样在持续正常工作期间具有低 $R_{DS(on)}$，如此便无需施加额外的控制。英飞凌 OptiMOS™线性 FET 正是针对此类应用而优化，其既有类似平面 MOSFET 的宽 SOA，又有类似先进沟槽 MOSFET 的低 $R_{DS(on)}$。

5 OptiMOS™线性 FET 与标准 OptiMOS™功率 MOSFET

本节并排比较 OptiMOS™线性 FET 和标准 OptiMOS™功率 MOSFET 的数据表中的一些关键特性。

OptiMOS™线性 FET IPB017N10N5LF（显示在右边）和 OptiMOS™ 5 IPB017N10N5（显示在左边）用作实例。这两款 D²PAK 7 管脚器件均有 100 V 阻塞能力和行业最低的 1.7 mΩ 导通电阻 $R_{DS(on)}$.

5.1 安全工作区(SOA)

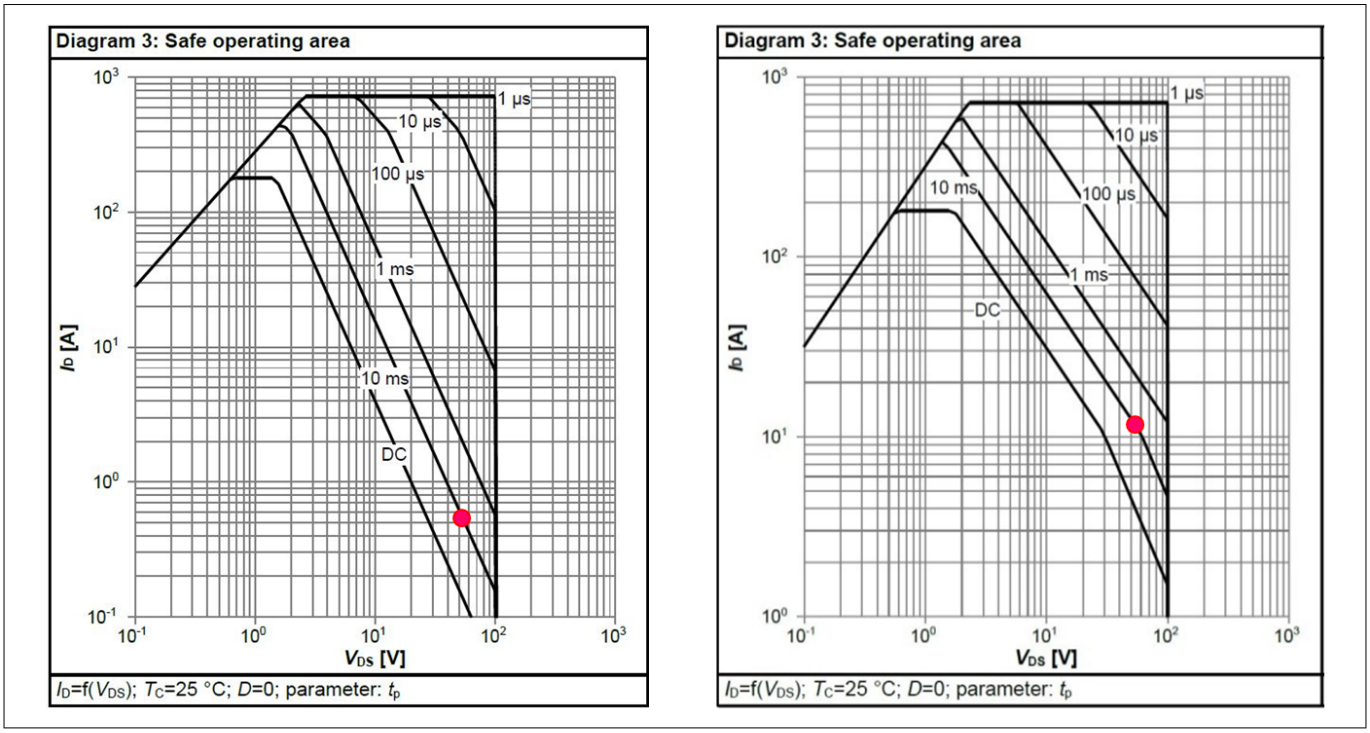


图 5 安全工作区 - IPB017N10N5（左）和 IPB017N10N5LF（右）

尽管 $R_{DS(on)}$相同，但 SOA 图显示二者之间存在重大差异。以电信热插拔应用的典型工作条件为例，输入电压为 54 V，冲击周期为 10 ms。根据数据表 SOA，标准 OptiMOS™ IPB017N10N5 只能支持 0.5 A 的 10 ms 电流，而 OptiMOS™线性 FET IPB017N10N5LF 可承受高达 11.5 A 的电流，比标准 MOSFET 高 20 倍。

因此，采用线性 FET 时，在相同时间内可以给大得多的电容组充电，而不会损害或毁坏 MOSFET。或者，相同电容组可以在更短时间内以更高电流充电。

5.2 典型转移特性

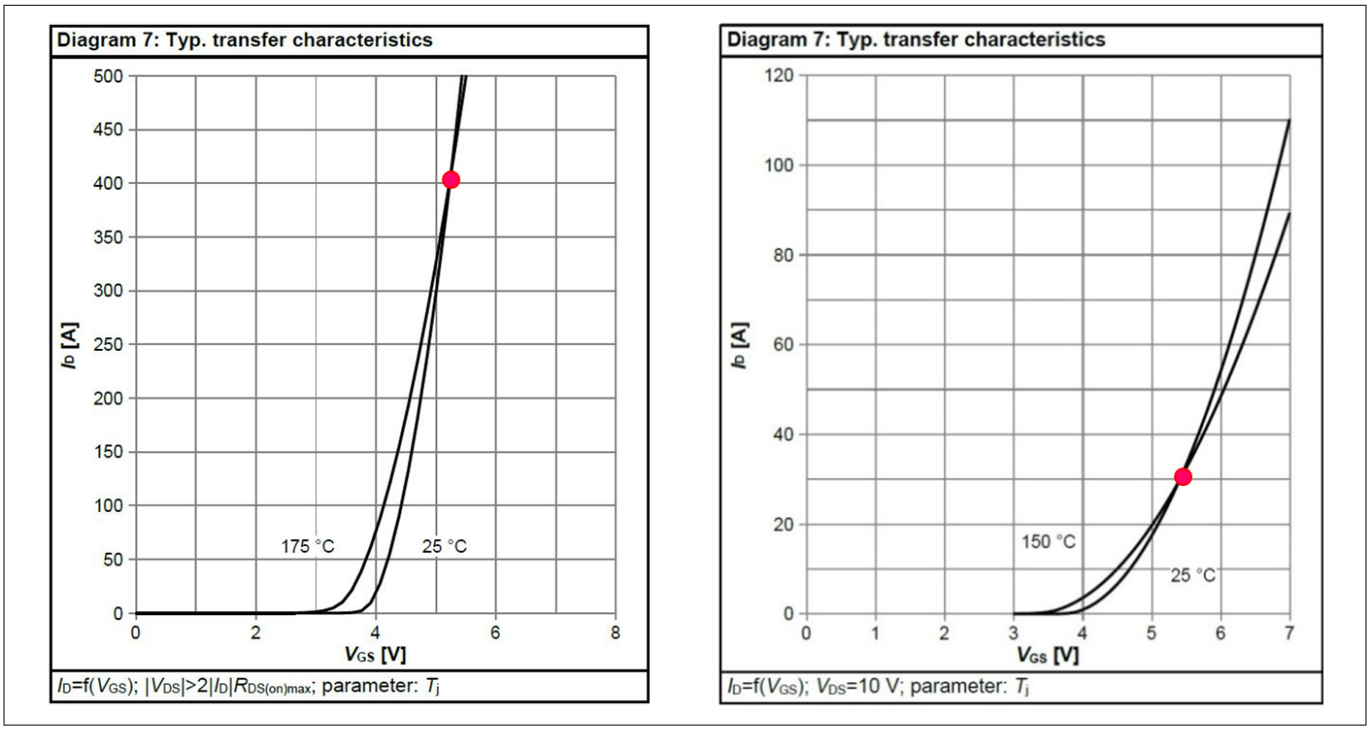


图 6 “典型转移特性” - IPB017N10N5（左）和 IPB017N10N5LF（右）

相比于标准 OptiMOS™ MOSFET（*图6* 左侧），OptiMOS™线性 FET IPB017N10N5 的特征转移曲线（*图6* 右侧）不那么陡。因此，与标准 MOSFET 相比，必须大幅提高栅源电压才能获得相同的电流。此行为与平面 MOSFET 相似。

必须明白不同温度（分别为 25°C 和 150°/175°C）时两条转移曲线相交的意义。此交点标志着一个重要阈值，称为“零温度系数”(ZTC)点。因为正反馈与正温度系数(PTC)相关，故不希望在此点以下工作。它意味着，当工作栅源电压和漏源电压相同时，芯片上较热的区域比较冷的区域传导的电流更多。由于功耗(P_{loss}=i(t)*v(t))较高，故较热区域会愈来愈热，可能导致器件因为热失控而毁坏。在 ZTC 点以上，MOSFET 会稳定下来，因为温度系数为负值(NTC)，较热区域的电流自然会降低。

当 ZTC 点位于尽可能低的电流时，优势非常明显。对于 OptiMOS™线性 FET，交点位于大约 30 A 处，比标准 OptiMOS™的大约 400 A 要低得多。OptiMOS™线性 FET 比较不可能会在引起热失控的条件下工作。这正是 OptiMOS™线性 FET 的允许 SOA 比标准 OptiMOS™要大得多和宽得多的原因。

5.3 典型栅极电荷

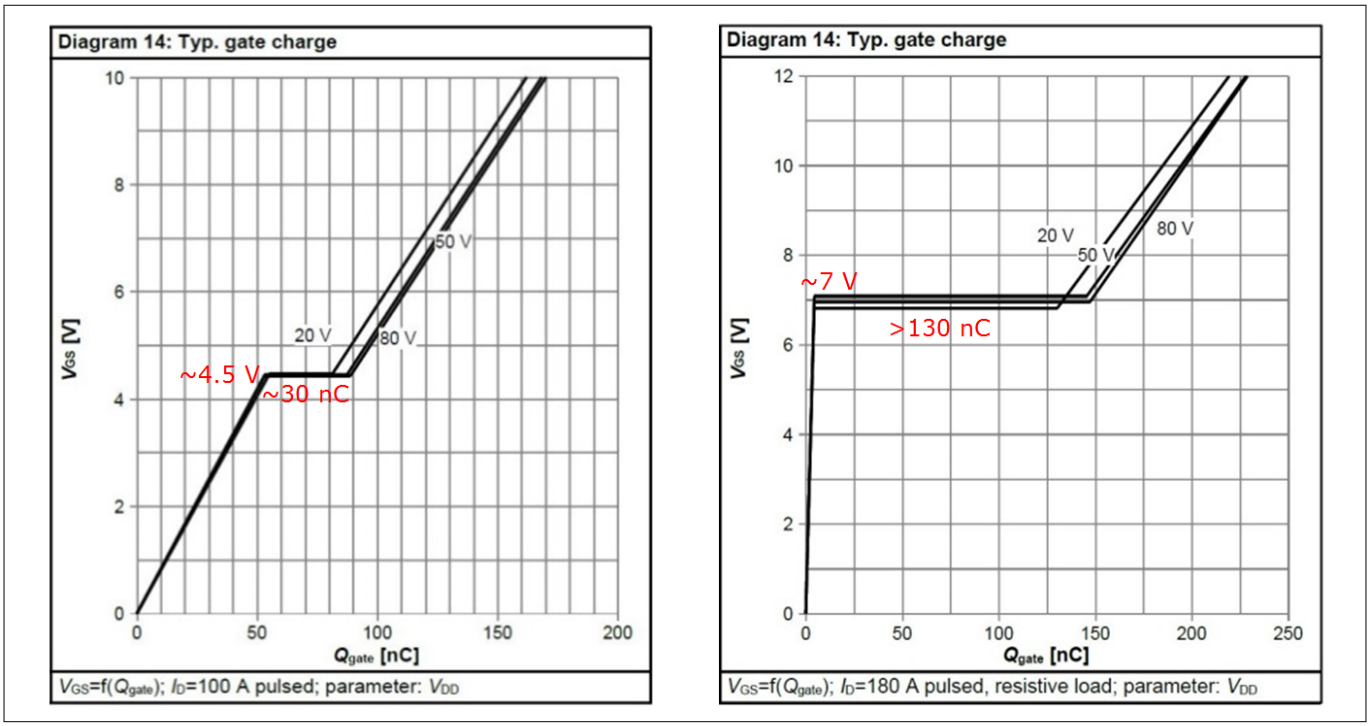


图 7 “典型栅极电荷” - IPB017N10N5（左）和 IPB017N10N5LF（右）

解释 OptiMOS™线性 FET 与标准 OptiMOS™之间差异的另一重要特性是栅极电荷行为（*图 7*）。

标准 MOSFET 针对最低总 Q_g 与 Q_{gd} 进行优化，而线性 FET 则有大得多的导通栅极电荷。用低得多的电荷便能达到米勒平台（大约是 10 nC 对 55 nC），并且毫不费力地进入线性模式。然后，它留在平台上的时间会更长，因为完成 MOSFET 充电需要更多电荷（130 nC 以上对大约 30 nC）。这是热插拔应用需要的行为，如此才能充分限制冲击电流。

另一个重要区别是米勒平台的位置。

线性 FET 的米勒平台通常位于 VGS~7 V (180 A)处，而标准 FET 位于~4.5 V (100 A)处。

5.4 典型输出特性

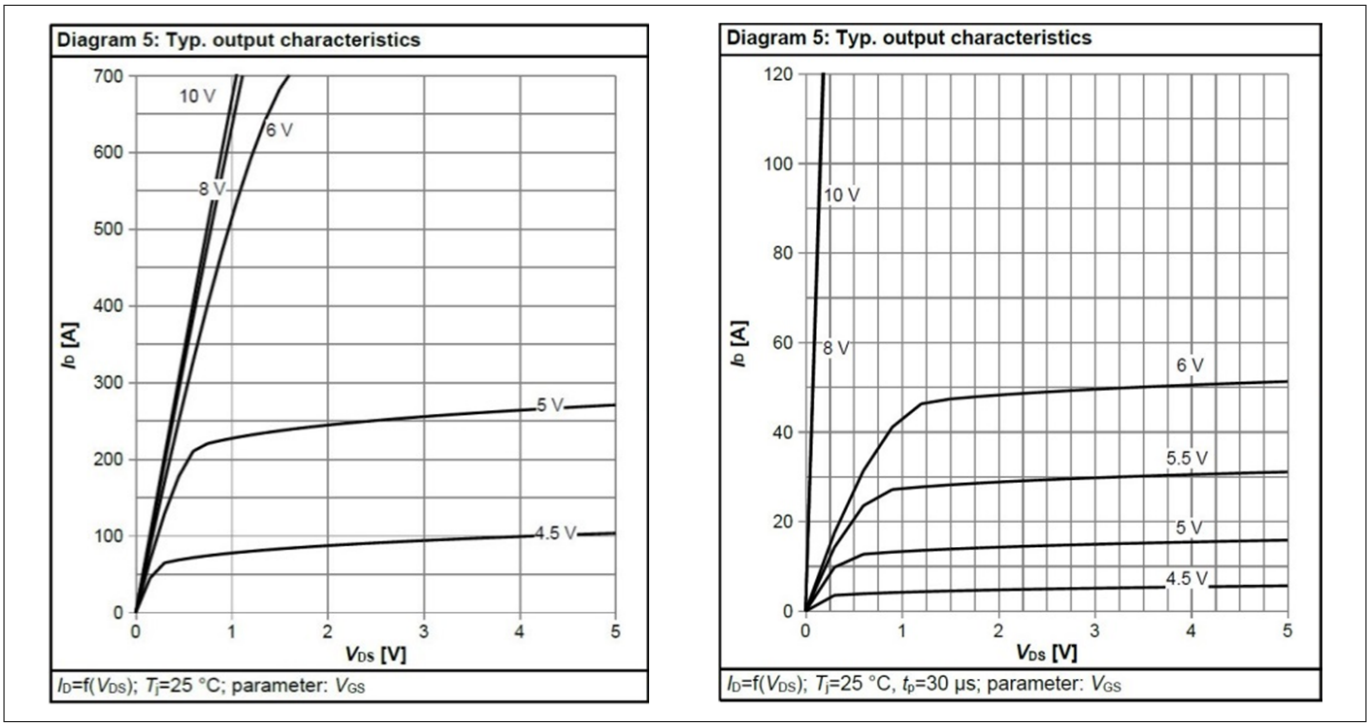


图 8 “典型输出特性” - IPB017N10N5（左）和 IPB017N10N5LF（右）

OptiMOS™线性 FET 和标准器件的输出特性比较如所示。 *图 8*.对于线性 FET，当电流高于大约 50 A 时，栅源电压必须显著高于 6 V 以使 MOSFET 完全导通。对于上述~7 V 平台电压，至少需要 8 V 栅极驱动电压，强烈建议提供 10 V 栅极驱动电压。

5.5 典型漏源导通电阻

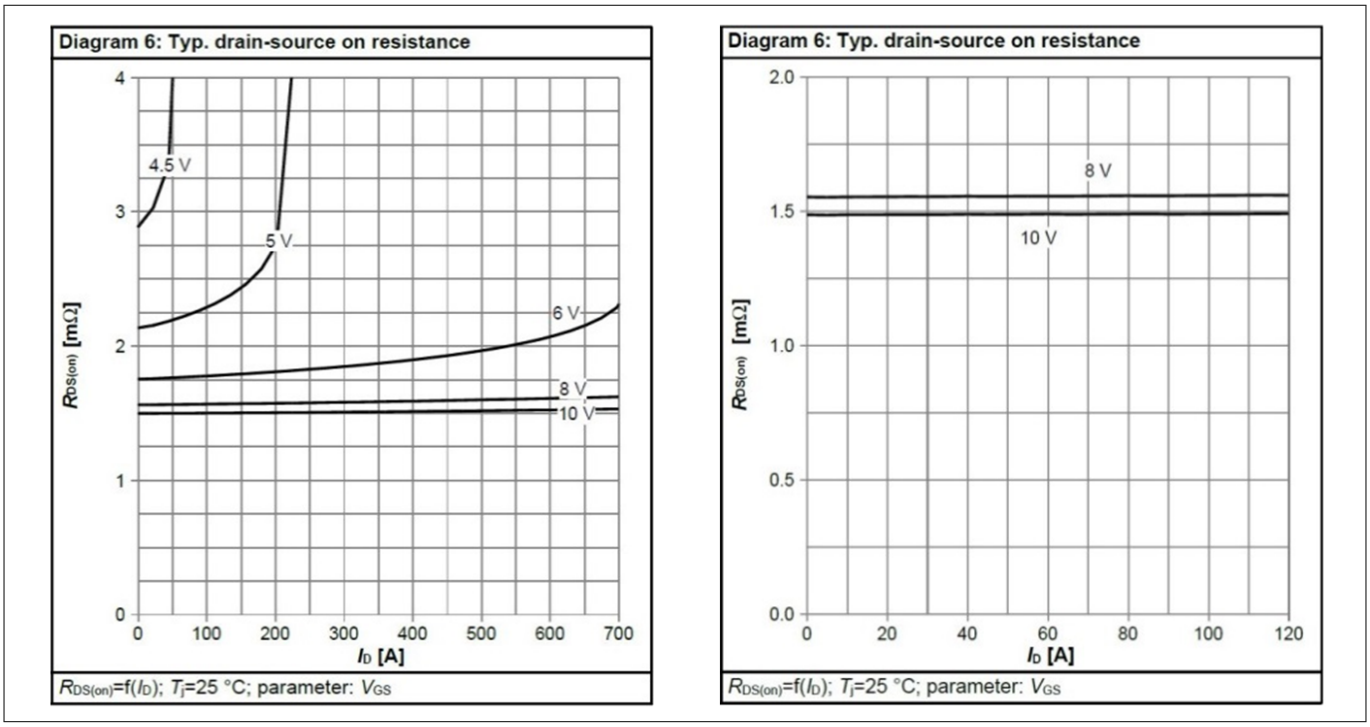


图 9 “典型漏源导通电阻” - IPB017N10N5（左）和 IPB017N10N5LF（右）

相比于 IPB017N10N5，OptiMOS™线性 FET 仅在电压显著高于 6 V 时才离开饱和区域，这就是它仅规定 8 V 及以上电压的 $R_{DS(on)}$ 的原因。 *图9* 还显示，当栅源电压从 8 V 提高到 10 V 时，同样引起 $R_{DS(on)}$显著降低，导致导通损耗更低（使用较高驱动电压的另一个原因）。

6 摘要

OptiMOS™线性 FET 是热插拔、电熔丝和电池保护应用的理想解决方案。它既有平面 MOSFFET 的宽安全工作区(SOA)优势，又有现代沟槽 MOSFET 的低 $R_{DS(on)}$ 优势。它不仅能增强系统稳健性，而且有助于实现最高效率。

修订记录

文件版本	发行日期	变更说明

Trademarks

All referenced product or service names and trademarks are the property of their respective owners.

Edition 2017-07-11

Published by

Infineon Technologies AG

81726 Munich, Germany

© 2017 Infineon Technologies AG

All Rights Reserved.

Do you have a question about any aspect of this document?

Email: erratum@infineon.com

Document reference
IFX-olo1498120271553

IMPORTANT NOTICE

The information contained in this application note is given as a hint for the implementation of the product only and shall in no event be regarded as a description or warranty of a certain functionality, condition or quality of the product. Before implementation of the product, the recipient of this application note must verify any function and other technical information given herein in the real application. Infineon Technologies hereby disclaims any and all warranties and liabilities of any kind (including without limitation warranties of non-infringement of intellectual property rights of any third party) with respect to any and all information given in this application note.

The data contained in this document is exclusively intended for technically trained staff. It is the responsibility of customer's technical departments to evaluate the suitability of the product for the intended application and the completeness of the product information given in this document with respect to such application.

WARNINGS

Due to technical requirements products may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies office.

Except as otherwise explicitly approved by Infineon Technologies in a written document signed by authorized representatives of Infineon Technologies, Infineon Technologies' products may not be used in any applications where a failure of the product or any consequences of the use thereof can reasonably be expected to result in personal injury