应用说明 AN 2012-03
V1.1 2012 年 3 月

英飞凌 OptiMOS™ 功率 MOSFET 数据表说明

英飞凌科技奥地利AG
电源管理及多元化市场部门
应用工程师

Alan Huang

版本：2012-03-16
发布者：
英飞凌科技奥地利 AG
9500 维拉赫，奥地利
©英飞凌科技奥地利 AG 2011。
保留所有权利。

注意！

本应用说明中给出的信息仅作为关于使用英飞凌科技器件的建议，不得被视为就英飞凌科技器件的任何特定功能、条件或质量作出的任何说明或保证。本应用说明的使用者必须在实际应用中验证本文档描述的任何功能。英飞凌科技在此声明，未就本应用说明中给出的任何及所有信息作出任何性质的保证，也不承担任何性质的责任，包括但不限于没有侵犯任何第三方的知识产权的保证。

信息查询

若需获得关于技术、交付条款和价格的更多信息，敬请就近联系英飞凌办事处(www.infineon.com)。

警告

由于技术要求，器件可能包含有害物质。如对器件的成分有疑问，请就近联系英飞凌办事处。如果可以合理地预计英飞凌的某个组件失效可能会导致生命支持设备或系统失效，或者影响该等设备或系统的安全性或有效性，那么在将这些组件用于生命支持设备或系统之前，必须获得英飞凌的明确书面同意。生命支持设备或系统意指用于植入人体内部，或者支持和/或维持、维系和/或保护人类生命的设备或系统。如果这些设备或系统失效，可以合理推定其用户或其他人的健康将受到威胁。

AN 2012-03
修订记录：日期(12-03-16)，V1.1
先前版本：V1.0

作者： Alan Huang，电源管理和多元化市场部门

欢迎提出意见和建议

您是否认为本文档中的任何信息存在错误、含糊不清或遗漏？您的反馈将有助于我们不断改进文档质量。请把您的意见和建议（注明本文档的索引号）发送至：[Alan.Huang@infineon.com]

目录

1. 引言 4

2. 数据表参数 4

2.1 功率耗散 5

2.2 漏极电流 7

2.3 安全工作区 9

2.4 **最大瞬态热阻抗 Z_{thJC}** 11

2.5 典型输出特性 13

2.6 作为漏极电流函数的漏源导通电阻 14

2.7 转移特性 16

2.8 正向跨导 17

2.9 漏源导通电阻 18

2.10 栅极阈值电压 19

2.11 电容 20

2.12 反向二极管特性 22

2.13 雪崩特性 25

2.14 漏源击穿电压 26

2.15 典型栅极电荷 27

2.16 漏电流 30

2.17 其他重要参数 30

2.17.1 开关时间 30

2.17.2 栅极电阻 31

2.17.3 更多最大额定值 31

1. 引言

数据表是电子工程师用来了解功率 MOSFET 器件和充分理解其预期功能的最重要的工具。但由于数据表包含大量信息，因此该文档有时被认为过于复杂和难以理解，一些重要的参数也往往被忽视。这可能导致很多问题，例如器件失效、重新设计 PCB、项目延期等等。本文档将提供关于如何阅读和理解数据表及其所有参数和图表的一般指导原则。

该应用说明将详细介绍英飞凌的 OptiMOS™ 功率 MOSFET 数据表。OptiMOS™ 是英飞凌低压（不超过 300V）功率 MOSFET 产品系列的注册商标。本文档将提供关于每个规格参数的背景信息，以及关于每个规格图表的说明信息，目的是帮助设计人员更好地理解数据表。

数据表中提到的参数和图表提供了 MOSFET 的完整概况。利用这些信息，设计人员应该能够了解器件的预期性能，以便确定器件的工作条件，以及与其他器件进行量化比较。

本文档将针对标准工作条件以及各种变化条件提供来自数据表的数字。它解释了参数之间的相互作用，以及温度或栅极电压对这些参数产生的影响。

本文档的目的仅限于提供明确的数据表数字说明。如需设计建议，请访问www.infineon.com或联系英飞凌团队。

2. 数据表参数

由于数据表采用比较紧凑的格式提供大量信息，因此可能被视为难以分析。建议读者单独查看各个主题，而不是逐行阅读数据表。因此，本节将数据表明确地划分为几个较小的部分，以免给读者造成混淆。每个子节仅提供一幅数据表图表及其相关参数。

注释：本文档使用取自IPP029N06N数据表rev2.0 的图表和参数作为示例。如需最新版本的英飞凌OptiMOS™ 数据表，请参考我们的OptiMOS™ (20V – 300V)网页。

2.1 功率耗散

数据表中包含的第一张图表显示了最大允许功率损耗随壳温的变化情况（图 1）。如图所示，特定管壳温度下允许的最大功率耗散受到限制。

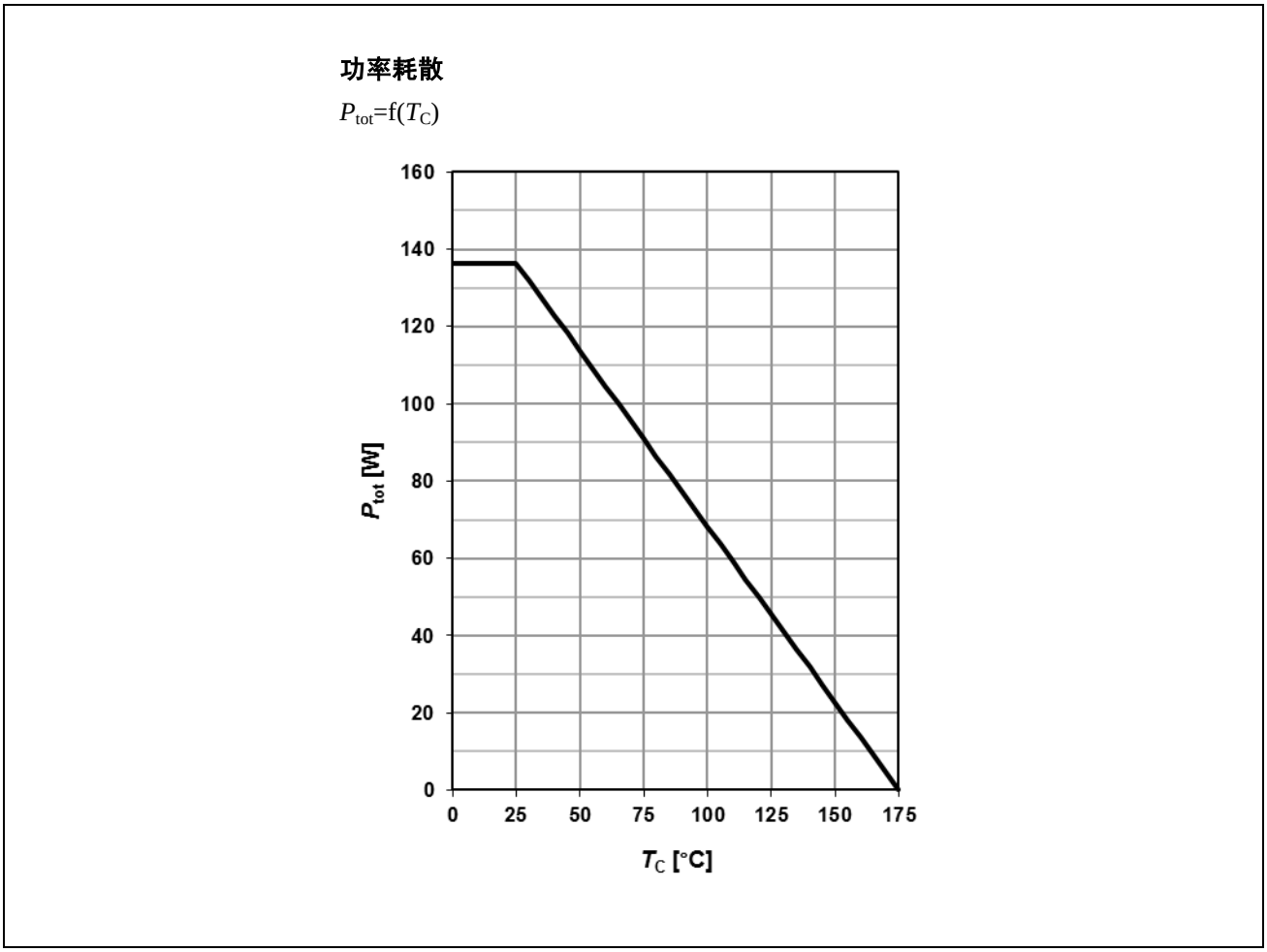


图 1. 功率耗散 P_{tot} = f(T_C)

数据表中列出了两个功率耗散参数 – 结-壳总功率耗散和结-环境总功率耗散。这两个数字可分别使用等式 (1)和(2)获得。结-壳热电阻取决于材料和尺寸。随着管壳温度的升高，允许的功率耗散下降。

$$P_{tot}(T_C) = \frac{T_j - T_C}{R_{thJC}} \quad (1)$$

$$P_{tot}(T_A) = \frac{T_j - T_A}{R_{thJA}} \quad (2)$$

使用上述示例可以计算出最高允许温升下的最大功率耗散。等式 (3)演示了如何推导出示例中的数字（如图 2 所示）。

$$P_{tot}(T_C)_{\max} = \frac{(175-25)K}{1.1\,K/W} = 136W \quad (3) \qquad P_{tot}(T_A)_{\max} = \frac{(175-25)K}{50\,K/W} = 3.0W$$

注释：以K 为单位的温度差与以°C 为单位的温度差相同。

参数	符号	条件	值	单位
功率耗散	P_{tot}	T_C=25 °C	136	W
		T_A=25 °C，R_{thJA}=50 K/W[2)]	3.0	

[2)] 器件焊接在40 mm x 40 mm x 1.5 mm环氧树脂PCB FR4上，该PCB带有6 cm^2（单层，70 µm厚）用于漏极连接的覆铜区。PCB在无风条件下且保持垂直。

图 2. 最大额定 P_{tot}（数据表）

结-环境热阻取决于布局；因此，多数情况下都包含了关于结-环境热阻的脚注。它规定了估算出指定的 R_{thJA} 的条件。

2.2 漏极电流

数据表指定了各种工作条件下的最大连续漏极电流(I_D)以及脉冲漏极电流($I_{D,pulse}$)（如图 3 所示）。 最大脉冲漏极电流指定为最大连续漏极电流的 4 倍。由于器件热特性的原因，随着脉冲宽度的增加，脉冲漏极电流额定值下降。在第 2.3 节的安全工作区图表中可以清楚地观察到这一点。

连续漏极电流	I_D	V_{GS}=10 V， T_C=25 °C	100	A
		V_{GS}=10 V， T_C=100 °C	100	
		V_{GS}=10 V， T_C=25 °C， R_{thJA} =50K/W [2)]	24	
脉冲漏极电流	$I_{D,pulse}$	T_C=25 °C	400	

[2)] 器件焊接在 40 mm x 40 mm x 1.5 mm 环氧树脂 PCB FR4，该 PCB 带有 6 cm^2（单层，70 µm 厚）用于漏极连接的覆铜区。PCB 在无风条件下且保持垂直。

图 3. 最大 I_D（数据表）

当最大连续漏极电流仅取决于最大功率耗散（第 2.1 节）时，最大 I_D 将由经过改编的功率定律($P = I^2 * R$)定义。替换等式 (1) 中的 P 即可推导出等式 (4)。在此等式中，用到了结-壳温度差(T_j - T_C)、热电阻(R_{thJC})和最高结温下的导通电阻($R_{DS(on),Tj(max)}$)。
有关导通电阻与温度相关性，请参阅第 2.9 节。

(4)
$$I_D(T_C) = \sqrt{\frac{\frac{T_j - T_C}{R_{thJC}}}{R_{DS(on),Tj(\max)}}} \qquad I_D(25°C) = \sqrt{\frac{\frac{(175-25)K}{0.8\,K/W}}{0.0066\Omega}} = 169A$$

注释：以 K 为单位的温度差与以°C 为单位的温度差相同。

但在现实中，受制于焊接线直径、芯片设计和装配的更多边界条件限制了最大连续漏极电流（如图 4 所示）。在 T_C = 25°C 时，I_D 不能超过 100 A，而不是依据等式 (4)计算出的 169 A。此图表显示，在 T_C 较低时，最大 I_D 将保持恒定；在 T_C 较高时，它将加速转降，直至在 $T_C = T_{j(max)}$ 时达到零。

注释：此图表仅提供对连续漏极电流限值的限制。对于脉冲电流，请参考第 2.3 节中的安全工作区图表。

漏极电流

I_D=f(T_C)；V_{GS}≥10 V

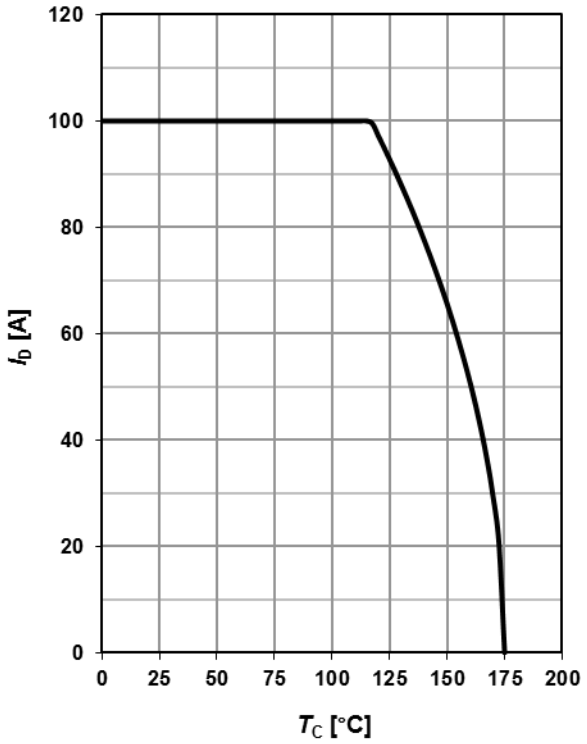


图 4. 漏极电流 I_D = f(T_C)

2.3 安全工作区

图 5 显示了不同脉冲宽度下作为漏源电压(V_{DS})函数的漏极电流(I_D)。它是数据表中最复杂但也是最重要和最不容忽视的数据之一。本节将简要说明每个工作区及其边界限值。作为这一小节内容的补充，英飞凌还提供了关于此主题的综合应用说明 - 功率MOSFET的线性模式工作和安全工作图表，其中讨论了关于线性模式工作和SOA图表的详细信息。

安全工作区

I_D=f(V_{DS})；T_C=25 °C；D=0

参数：t_p

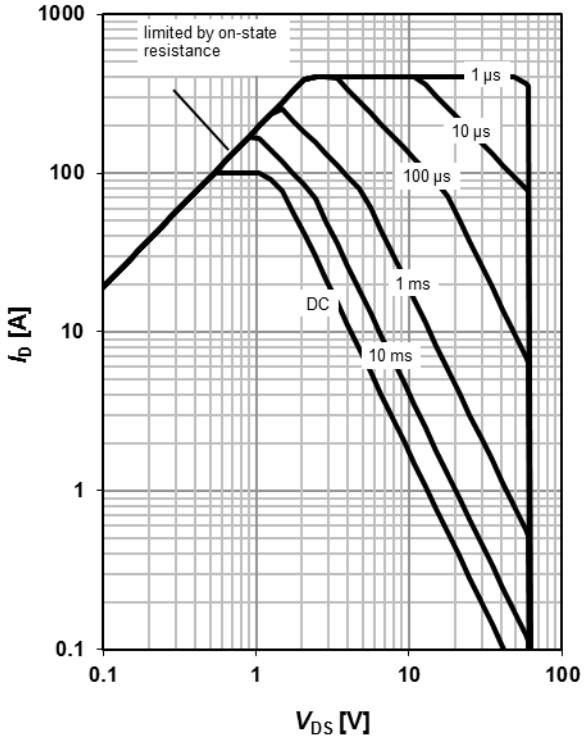


图 5. 安全工作区 I_D=f(V_{DS})

注释：该 SOA 图表针对单脉冲定义。在数学上，由于周期(T)为无穷，因此单脉冲的工作周期相当于零(D=0)。

此图表中存在多项限制，下面以 100 µs 曲线为例，使用标签(A)至(E)来讲解边界限值。

A) 标签 A，顶部线条是最大脉冲漏极电流的限值。

B) 标签 B，此区域受最高结温下的导通电阻 $R_{DS(on)}$限制。

C) 标签 C，在 T_C 固定时，器件此区域内受到恒定功率线限制。最大功率损耗随热阻抗变化而变化，具体取决于所应用的功率脉冲宽度。下一节（第 2.4 节）将讨论不同脉冲宽度下的最大瞬态热阻抗。

D) 标签 D，在线性模式操作中，由于热耗散的原因，存在在较低的栅源电压条件下出现过热点的风险。由于最新的沟槽技术具有较高的电流密度，这种情况下转移特性的“零温度系数”点会转移至更高的漏极电流，这一效应变得更加重要。前述应用说明中可以找到更多信息。
考虑到更高 V_{DS} 和更长脉冲时间的过热点效应，此区域内的 SOA 特性具有不同的斜率（等式 (5)）。

$$I_D(V_{DS}) = \frac{T_j - T_C}{V_{DS} * Z_{thJC}} \quad (5)$$

E) 标签 E，由技术决定的最大击穿电压($V_{(BR)DSS}$)限制了右侧的 SOA 曲线。

2.4 最大瞬态热阻抗 Z_{thJC}

热阻抗(Z_{th})包含两个组成部分 – 热阻(R_{th})和热容(C_{th})。

R_{thJC} 是从管芯结到管壳的热阻。流经此路径的热量由器件自身的功率损耗产生...此参数与管芯相对管壳所达到的温度直接相关。

瞬态热阻抗(Z_{thJC})还考虑了器件的热容(C_{thJC})。它被用于估算瞬态功率损耗造成的温度。

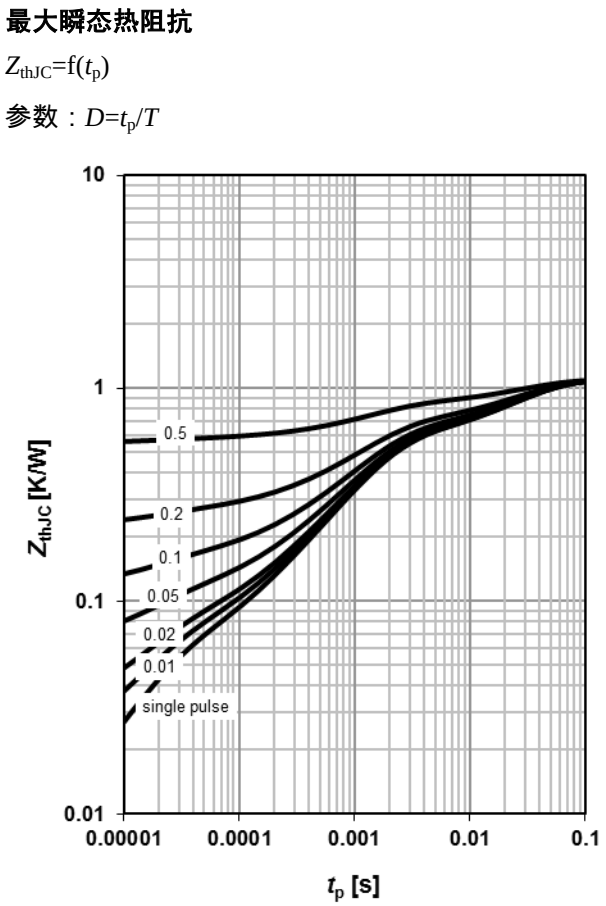


图 6. 最大瞬态热阻抗 $Z_{thJC}=f(t_p)$

图 6 显示了针对每个指定的占空比($D=t_p/T$)，作为加载时间 t_p（脉冲宽度）函数的热阻(Z_{thJC})变化。
要将热量从器件中耗散出去，必须经过多个具有各自的热阻和热容特性的不同层。因此，热阻或热容（取决于脉冲宽度）对于该器件的工作情况具有决定性的影响。如等式 (6) 所示，可以计算结温的升高量。在应用功率脉冲之前的热平衡状态下，$T_{j,start}$ 等于 T_C。

$$T_j = T_{j,start} + \Delta T_j = T_{j,start} + Z_{thJC}(t_P, D) * P_{tot} \quad (6)$$

数据表的表格部分还列出了最大 R_{thJC}（如图 7 所示）。

热特性						
热阻，结–壳	R_{thJC}	底部	-	-	1.1	K/W

图 7. 热特性

2.5 典型输出特性

典型输出特性图表（图 8）显示了在给定的栅源电压 V_{GS} 和 25 °C 管芯温度 T_j 下作为漏源电压 V_{DS} 的函数的漏极电流 I_D。

典型输出特性

I_D=f(V_{DS})；T_j=25 °C

参数：V_{GS}

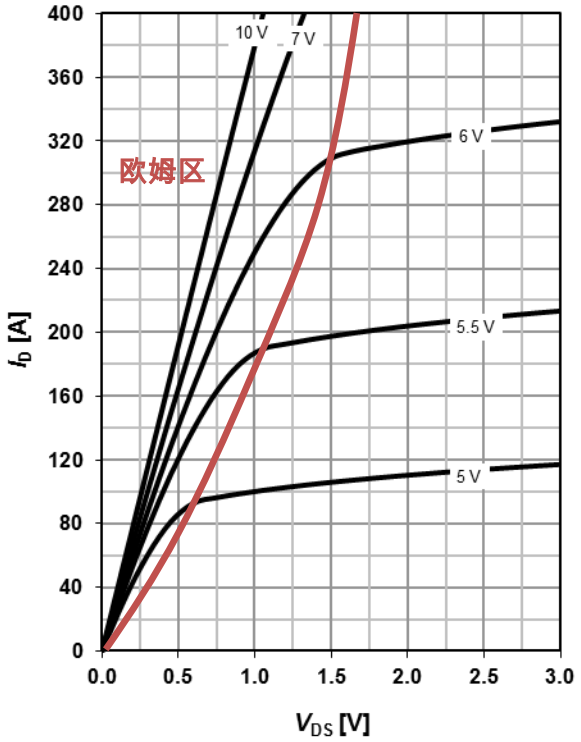


图 8. 典型输出特性 I_D=f(V_{DS})

为实现最优效率，MOSFET 应该在如图 8 所示的“欧姆”区内工作（请注意，此图表包含不超过最大脉冲电流限值的电流范围）。此边界线介于欧姆区与饱和区之间，由 $V_{DS} = V_{GS} - V_{GS(th)}$定义。在任意给定的栅源电压下，超过欧姆区的 MOSFET 漏极电流都已饱和。随着工作点进入饱和区，漏极电流的任何进一步增大都会导致漏源电压的大幅升高（线性工作模式），进而增大传导损耗。在这种情况下，如果功率耗散不受限制，器件可能会发生故障。

栅源电压(V_{GS})大小决定了 MOSFET 的输出特性曲线（如图表中所示）。允许的 V_{GS} 范围在数据表的表格部分指定（如图 9 所示）。栅源电压对漏源导通电阻的影响将在第 2.6 节中讨论。

栅源电压	V_{GS}		±20	V

图 9. 栅源电压限值

2.6 作为漏极电流函数的漏源导通电阻

在图 10 中，每个栅源电压的漏源导通电阻与漏极电流曲线都是直接通过典型输出特性图表（图 8a）使用欧姆定律（等式 (7)计算得出的。

$$R_{DS(on)}(I_D) = \frac{V_{DS}}{I_D} \quad (7)$$

请注意，V_{GS} 在此图表中具有重要作用。在应用不同电平的 V_{GS} 时，导通电阻曲线发生了巨大的变化。要完全开通器件， V_{GS} 至少应该为 10V。对于驱动电平为普通级别的器件，建议应用 10V 以获得效率较优的低漏源导通电阻。对于驱动电平为逻辑级别的器件，移位后的 $R_{DS(on)}$曲线（图 8b）使得快速开关应用可以接受低于 10V 的 V_{GS}，这种情况下较高 $R_{DS(on)}$所造成的传导损耗相对不那么关键。示例应用可能包括较低负载条件下的同步整流。

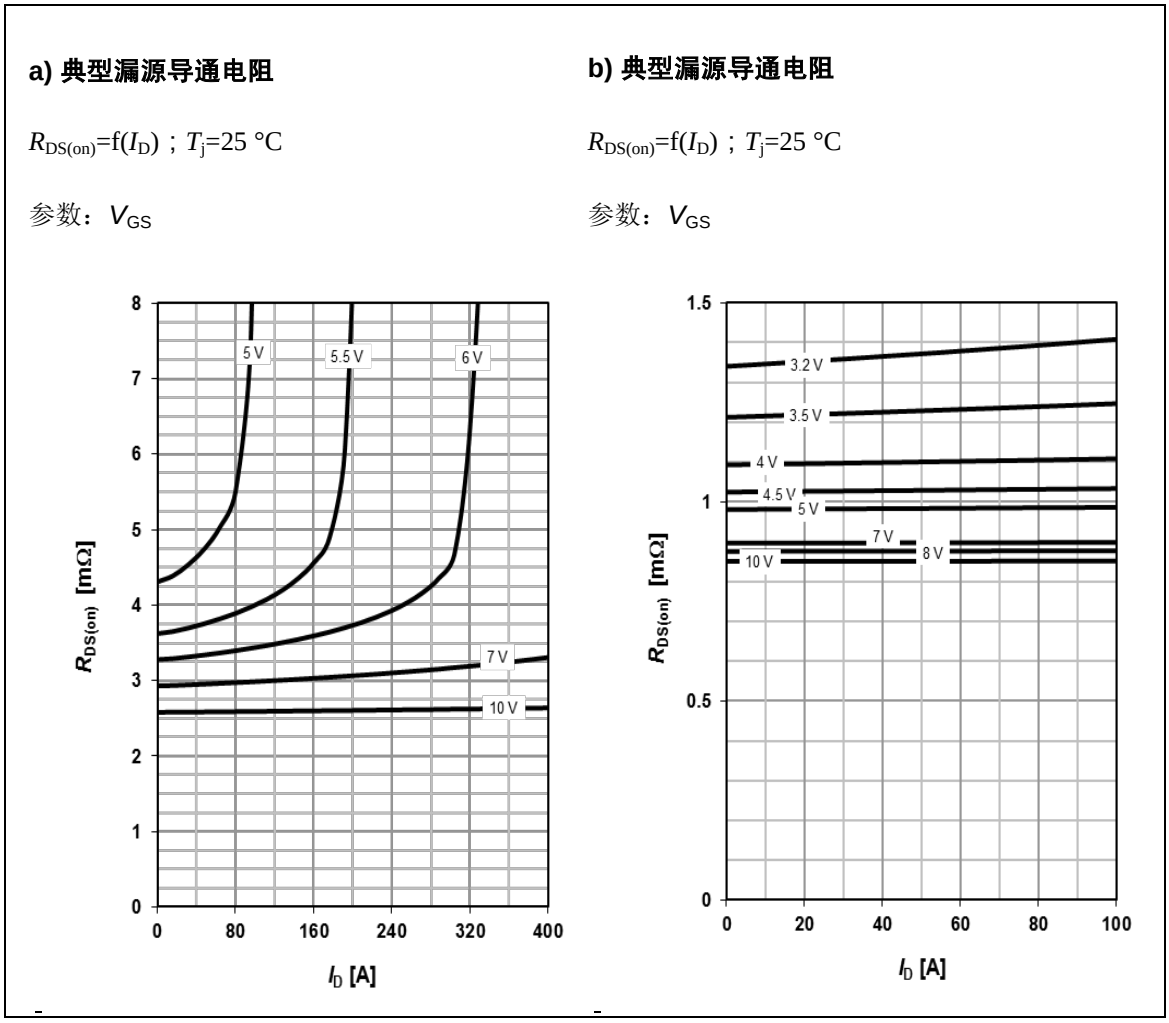


图 10. 典型漏源导通电阻 $R_{DS(on)}$=f(I_D)：a) 驱动电平为普通级别器件和 b) 驱动电平为逻辑级别器件 (BSC010N04LS)

2.7 转移特性

此图表显示了作为所施加栅源电压的函数的典型漏极电流。通常提供不同结温下的图表。例如，图 11 包含一条 25°C 时的曲线和一条 175°C 时的曲线。所有图表应该在一个点相交，这个点被称为温度稳态工作点。

当应用于 MOSFET 的栅源电压低于此点（在示例中 V_{GS} < 5.2V），MOSFET 工作在正温度系数，这意味着随着结温的升高，漏极电流将会增大。由于可能存在热失控，因此应避免在此条件下使用恒定的 V_{GS} 工作。

在温度稳态工作点以上，温度系数为负值，这意味着随着结温的升高，漏极电流将会减小。MOSFET 会自我限制高温条件下的电流处理能力。在此区域内工作时，只要结温限制在规格范围以内，通常都是安全的。

注释：对于电流值高于指定的最大连续导通电流，该电流仅允许是脉冲电流。

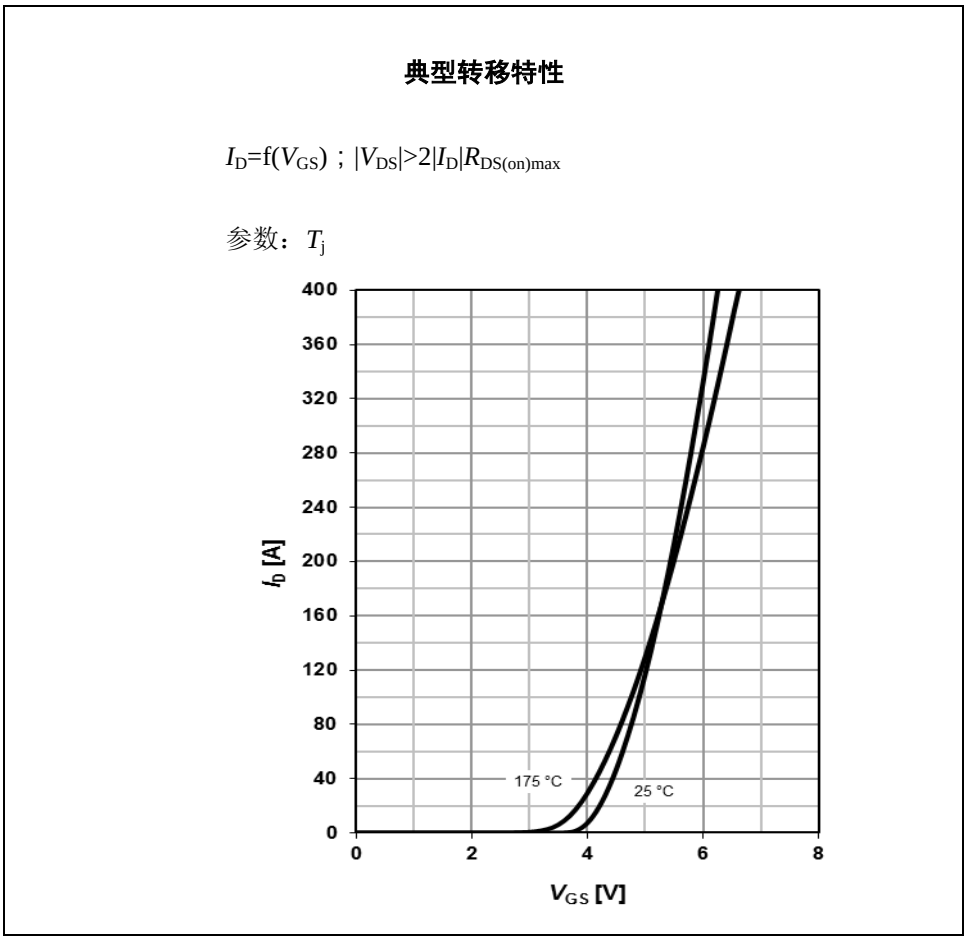


图 11. 典型转移特性 I_D=f(V_{GS})

为逼近此特性的最大或最小值，可根据阈值电压的最小-最大值（对于驱动电平为普通级别器件为+/- 1V）平行移动曲线。

2.8 正向跨导

跨导(g_{fs})是漏极电流对于栅源电压变化的敏感度的衡量指标。 图 12 显示了在 25°C 结温条件下作为漏极电流函数的典型正向跨导。

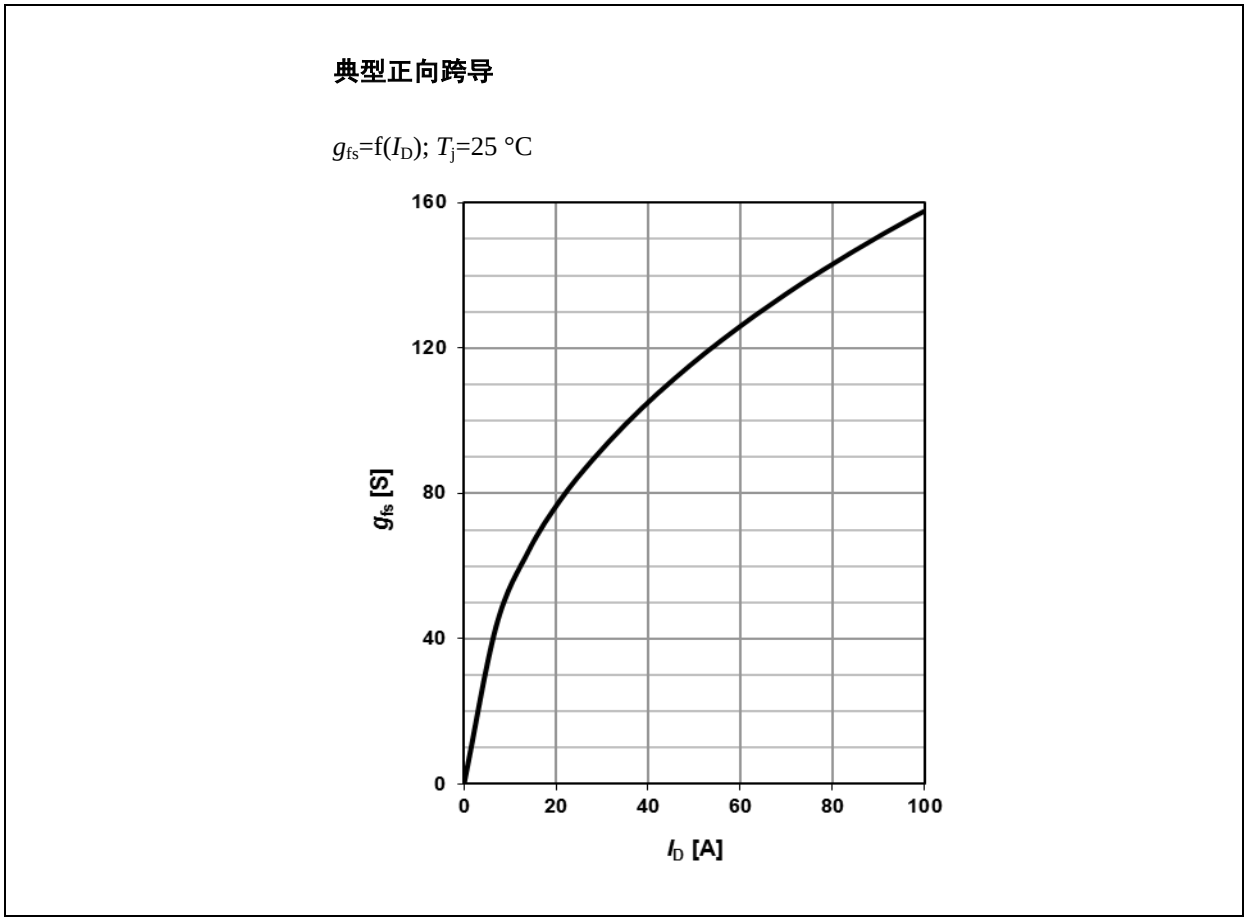


图 12. 典型正向跨导 $g_{fs}=f(I_D)$

正向跨导(g_{fs})可通过图 11 中的典型转移特性图表使用等式 (8)进行计算。

$$g_{fs}(I_D) = \left.\frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}\right|_{V_{DS}} \quad (8)$$

图 13 的表格部分列出了在测试电流条件下的 g_{fs} 最小值和典型值。

跨导	g_{fs}	$\lvert V_{DS}\rvert>2\lvert I_D\rvert R_{DS(on)max}$ ，I_D=100 A	80	160	-	S

图 13. 静态特性部分中的跨导

2.9 漏源导通电阻

漏源导通电阻是 MOSFET 的重要参数之一。在数据表中，有两个部分处理此参数。在表格部分列出了室温条件下的典型值和最大值（如图 14 所示）。这些值是在生产测试期间按照指定条件确定的。

对于表面贴装器件(SMD)，测量的是源极引脚与器件后部漏极触点之间的电阻。对于通孔插装封装，$R_{DS(on)}$被规定为指定焊接点处的漏极和源极引脚之间的电阻（对于 TO-220 而言，约 4.5 mm 引线长度）。这种情况下 0.3 mΩ 额外寄生电阻也计入了漏源导通电阻内。

漏源导通电阻	$R_{DS(on)}$	V_{GS}=10 V，I_D=100 A	-	2.7	2.9	mΩ
		V_{GS}=6 V，I_D=25 A	-	5.4	-	

图 14. 漏源导通电阻

除表格以外，数据表还包含作为结温函数的导通电阻图表（图 15）。结温越高，$R_{DS(on)}$将越高。由于此正温度系数的原因，可以将多个器件并联使用。请注意，图表中分别显示了 $R_{DS(on)}$的典型值和最大值。

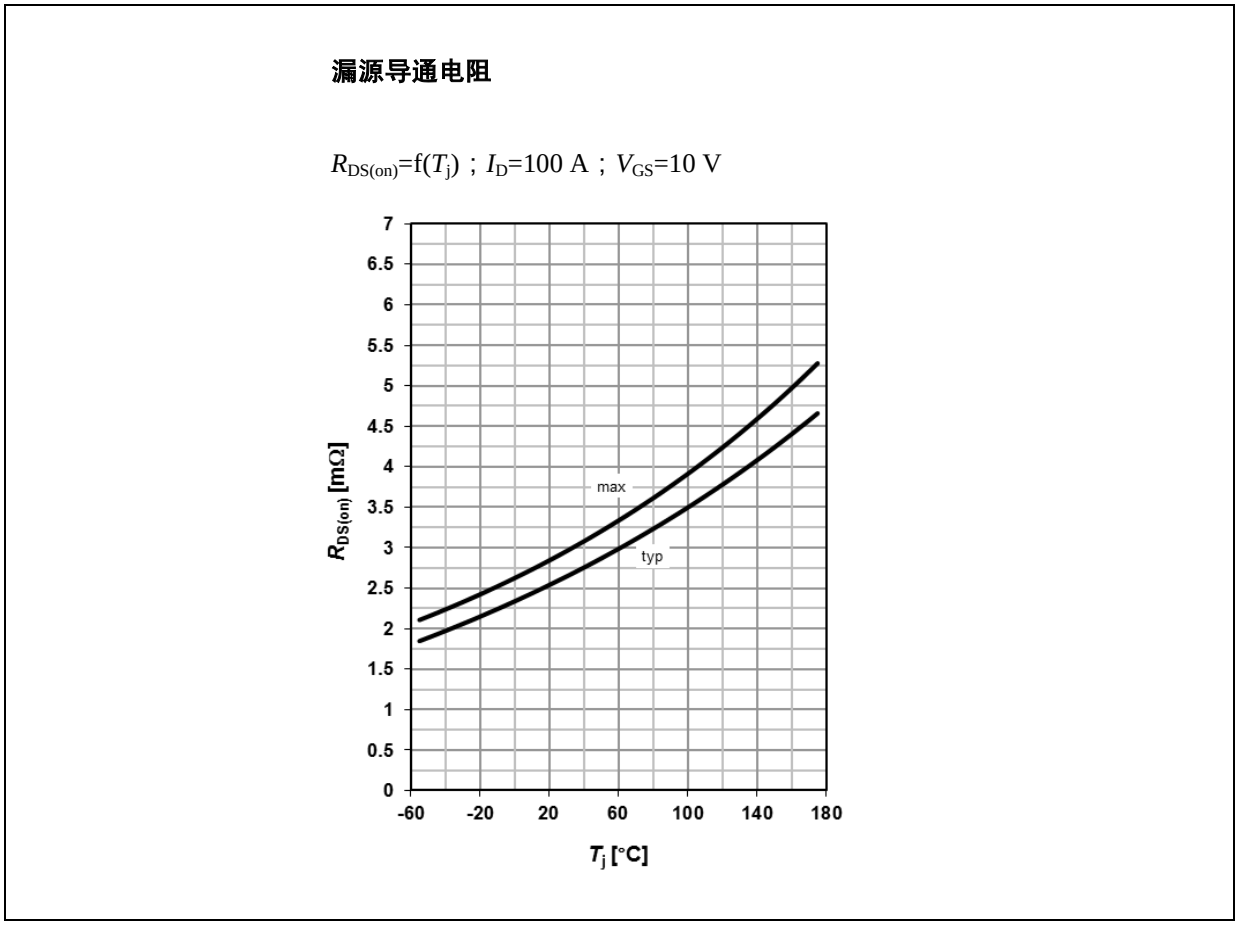


图 15. 典型漏源导通电阻 $R_{DS(on)}$=f(T_j)

要计算漏源导通电阻与结温的依赖关系，可使用以下公式：

$$R_{DS(on)}(T_j) = R_{DS(on),25°C} \cdot (1+\frac{\alpha}{100})^{T_j-25°C} \quad (9)$$

α 为功率 MOSFET 设计与加工技术相关的常量。对于 OptiMOS™ 功率 MOSFET，可使用α值 0.4 获得 $R_{DS(on)}$ 近似值。

2.10 栅极阈值电压

栅极阈值电压定义了指定漏极电流条件下所需的栅源电压。在生产期间测量该阈值电压的条件如下：室温，$V_{DS} = V_{GS}$，μA 范围内的测试漏极电流。图 16 所示的表格中指定了最小、典型和最大值。

栅极阈值电压	$V_{GS(th)}$	$V_{DS}=V_{GS}$，I_D=75 μA	2.0	2.8	3.6	V

图 16. 阈值电压

阈值电压随结温的升高而下降。图 17 中显示了表格部分指定的典型条件下的这一依存关系。

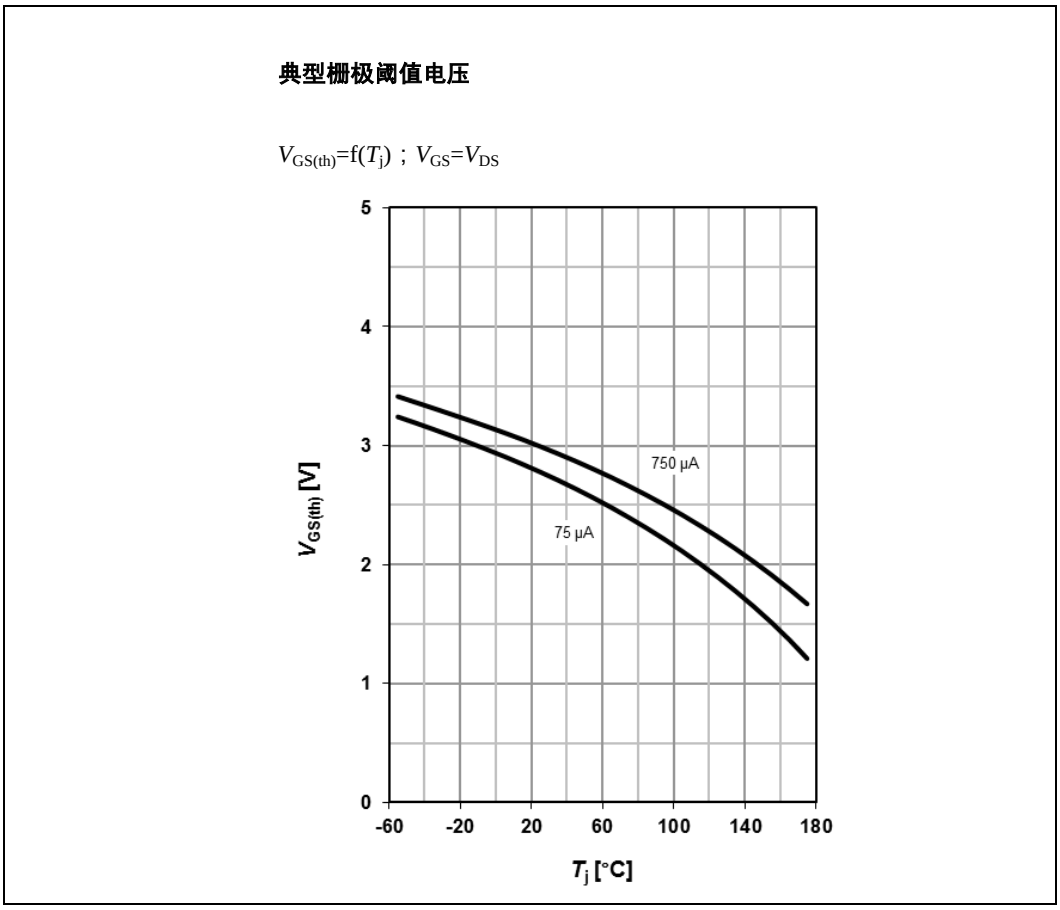


图 17. 典型栅极阈值电压 $V_{GS(th)}=f(T_j)$

2.11 电容

数据表的表格和图表部分都定义了 MOSFET 的电容。表格指定了电容范围（图 18），而图表则显示了漏源电压与电容的依存关系（图 19）。

无法直接测量栅源、栅漏和漏源电容；但可以通过可测量的输入、输出和反向转移电容来计算上述电容。以下三个等式(10)说明了它们之间的关系。

$$
\begin{aligned}
C_{iss} &= C_{GS} + C_{GD} \\
C_{oss} &= C_{DS} + C_{GD} \\
C_{rss} &= C_{GD}
\end{aligned}
\qquad (10)
$$

动态特性

输入电容	C_{iss}	V_{GS}=0 V，V_{DS}=30 V，f=1 MHz	-	4100	-	pF
输出电容	C_{oss}		-	980	-	
反向转移电容	C_{rss}		-	39	-	

图 18. 动态特性：电容

在数据表的图表部分，典型电容被定义为漏源电压的函数。反向电容(C_{rss})和输出电容(C_{oss})都显示了明确的电压依赖性。这是由于空间电荷区在 MOSFET 开关过渡期间发生的变化所致

典型电容

C=f(V_{DS})；V_{GS}=0 V；f=1 MHz

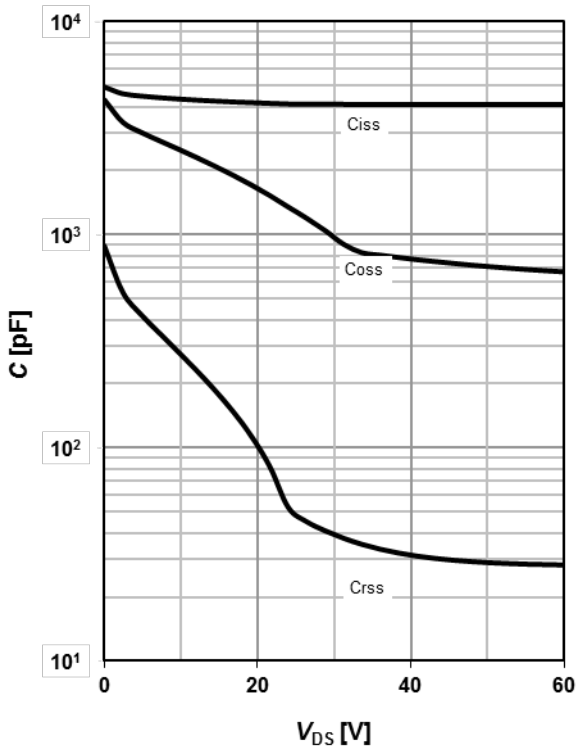


图 19. 电容 C=f(V_{DS})

2.12 反向二极管特性

表格和图表部分都提供了 MOSFET 体二极管特性。

在表格部分（如图 20 所示）提供了二极管参数的最小值、典型值和最大值。

反向二极管						
二极管连续正向电流	I_S	T_C=25 °C	-	-	120	A
二极管脉冲电流	$I_{S,pulse}$		-	-	480	
二极管正向电压	V_{SD}	V_{GS}=0 V，I_F=100 A，T_j=25 °C	-	1.0	1.2	V
反向恢复时间	t_{rr}	V_R=30 V，I_F=100 A，di_F/dt=100 A/µs	-	37	-	ns
反向恢复电荷	Q_{rr}		-	44	-	nC

图 20. 二极管特性

- 二极管连续正向电流：在指定的管壳温度 T_C =25°C 条件下允许的体二极管最大 DC 正向电流，它通常等于 MOSFET 的连续电流限值。
- 二极管脉冲电流：在指定的管壳温度 T_C =25°C 条件下允许的反向二极管最大脉冲正向电流，它通常等于 MOSFET 的脉冲电流限值。
- 二极管正向电压：被测试二极管正向电流(I_F)、零栅源电压(V_{GS})和 25°C 结温(T_j)条件下，二极管导通（MOSFET 关断）期间的源漏电压。
- 反向恢复时间： 消除反向恢复电荷所需的时间。图 21 中提供了 t_{rr} 的图形说明。
- 反向恢复电荷：二极管在导通期间储存的电荷。如图 21 所示，必须在二极管导通时段之后立即完全消除此电荷，才能恢复二极管的阻断功能。电流的开关速率越高（di/dt 约为 100A/µs 或更高），反向恢复电荷越高。图 21 中还提供了 Q_{rr} 的图形说明。

图 21 表明，在 MOSFET 器件开通期间，二极管正向电流(I_F)从导通状态的漏极电流($I_{D(on)}$)降至零以下。I_F 随即在漏源电压(V_{DS})开始下降（C_{oss} 放电）之前恢复为零。反向恢复在 I_F 低于零的时段内发生，电荷(Q_{rr})可通过 I_F 负值与零电流线之间的面积求取近似值。

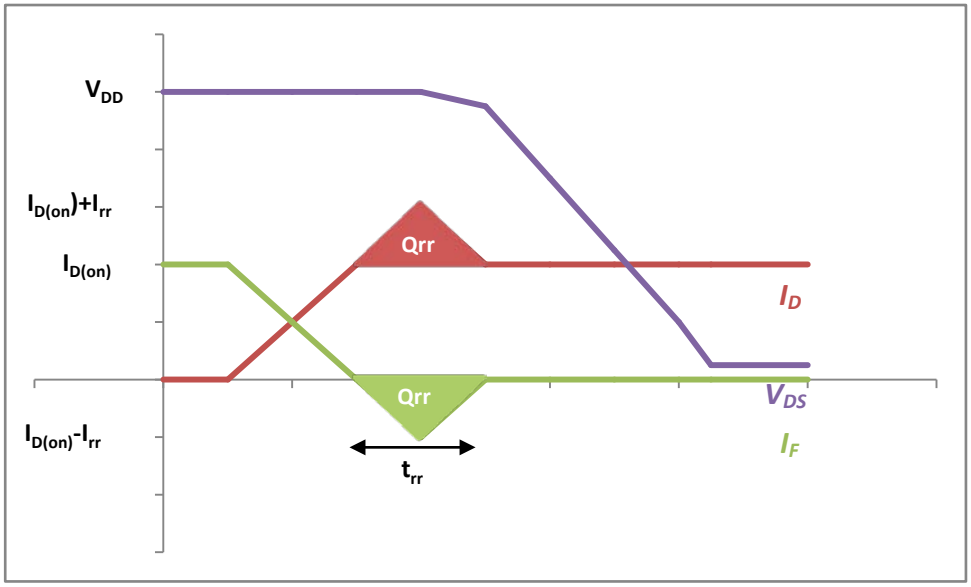


图 21. Q_{rr} 和 t_{rr} 说明

图 22 展示了在结温 T_j 25°C 和 175°C 条件下，作为源漏电压 V_{SD} 的函数的典型二极管正向电流。

反向二极管的正向特性

I_F=f(V_{SD})

参数：T_j

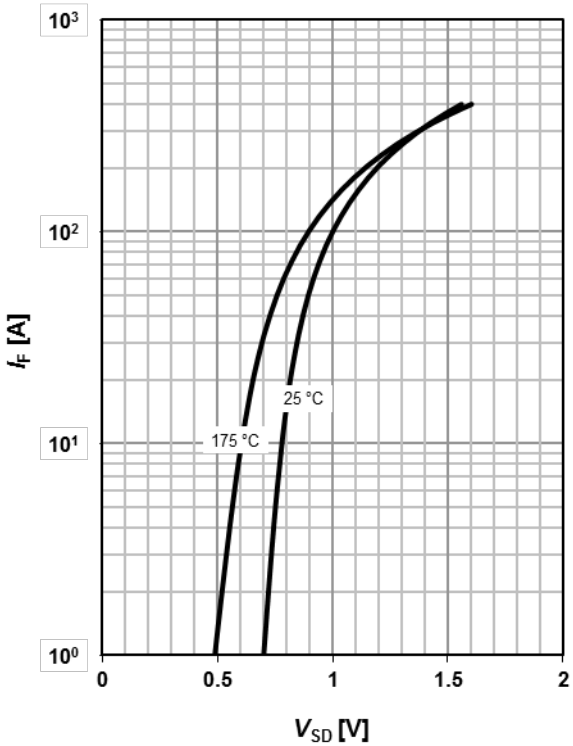


图 22. 典型正向二极管特性 I_F=f(V_{SD})

2.13 雪崩特性

图 23 提供了脉冲雪崩电流 I_{AV} 与雪崩时间 t_{AV} 之间的依存关系。考虑到最高结温，MOSFET 允许工作在对应曲线的下方区域。此特性受限于脉冲的总雪崩能量。雪崩脉冲时间越长，允许的最大雪崩电流越低。

此图形还包含雪崩开始时对应不同结温的多条曲线。它表明，雪崩能力随结温的升高而下降。

雪崩特性

I_{AS}=f(t_{AV})；R_{GS}=25 Ω

参数：$T_{j(start)}$

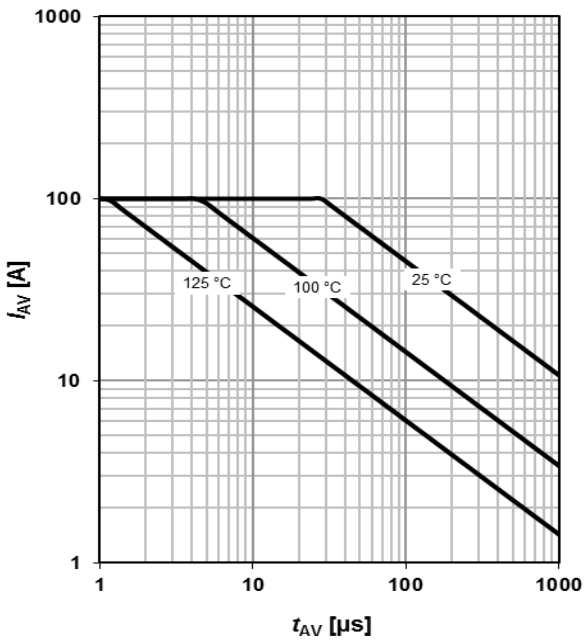


图 23. 雪崩特性 I_{AS}=f(t_{AV})

数据表的表格部分提供了在给定的雪崩电流和雪崩中允许的最大单脉冲电流条件下的最大单脉冲雪崩能量。

雪崩能量，单脉冲	E_{AS}	I_D=100 A，R_{GS}=25 Ω	110	mJ

图 24 雪崩能量和电流

2.14 漏源击穿电压

图 25 中的图表显示了漏源击穿电压最小典型值在允许的完整温度范围(-55°C…+175°C)内的线性温度依存关系。图 26 所示的表格提供了 25°C 时的击穿电压最小值。

漏源击穿电压

$V_{BR(DSS)}$=f(T_j)；I_D=1 mA

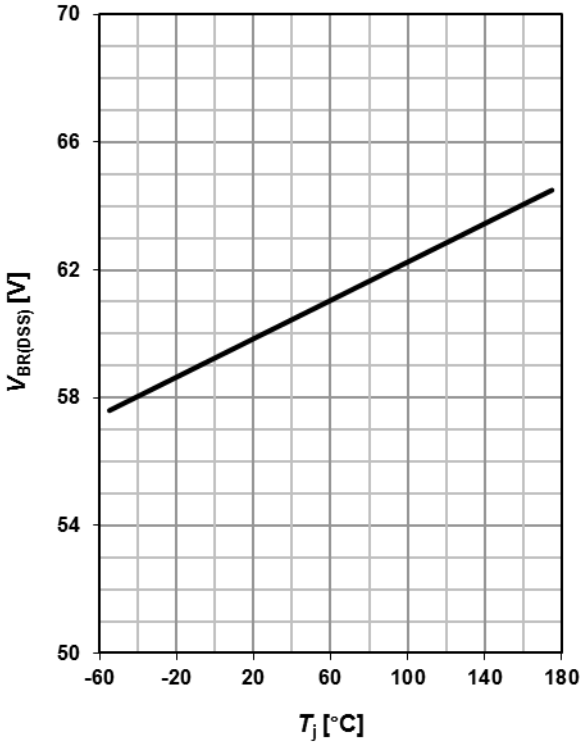


图 25. 漏源击穿电压 $V_{BR(DSS)}$=f(T_j)

漏源击穿电压	$V_{(BR)DSS}$	V_{GS}=0 V，I_D=1 mA	60	-	-	V

图 26. 漏源击穿电压 $V_{BR(DSS)}$=f(T_j)

2.15 典型栅极电荷

图 27 包含两张图表：1)典型栅极电荷图表和 2)栅极电荷波形。

典型栅极电荷图表显示了在给定的栅源电压和漏源供电电压(V_{dd})条件下开通 MOSFET 所必需的栅极电荷典型变化。导通电流作为参数提供。

如栅极电荷波形所示，栅极电荷(Q_g)包含栅源电荷(Q_{gs})、栅漏电荷(Q_{gd})，以及将 V_{GS} 从平台电平升至需要的 V_{GS} 电平所需的电荷。Q_{gs} 是将栅源电容(C_{GS})充电至平台电平所需的电荷。在此期间，漏极电流(I_D)将在达到栅极阈值电压($V_{gs(th)}$)后升高至负载值。漏源电压(V_{DS})基于不同的负载表现出不同的行为。对于电阻性负载，漏源电压将在漏极电流升高的同时下降。对于电感性负载，V_{DS} 将在漏极电流达到负载值后开始下降。在电压 V_{DS} 下降至其导通值($V_{DS} = R_{DS(on)} * I_D$)之前，必须对栅漏电容($C_{GD}$)（即密勒电容）进行放电。这部分电荷被定义为栅漏电荷(Q_{gd})。

Q_{gs} 和 Q_{gd} 不足以完全开通晶体管，因为漏源导通电阻尚未降至最低。只有具备对应完全栅源电压（对于驱动电平为普通级别和逻辑级别 MOSFET 而言，典型 V_{GS} = 10 V）的电荷才能达到完全导通电阻，进而优化静态损耗。完整的栅极电荷波形随漏源电压电平（或供电电压电平）变化。图 28 所示的表格部分还列出了与栅极电荷相关的参数。

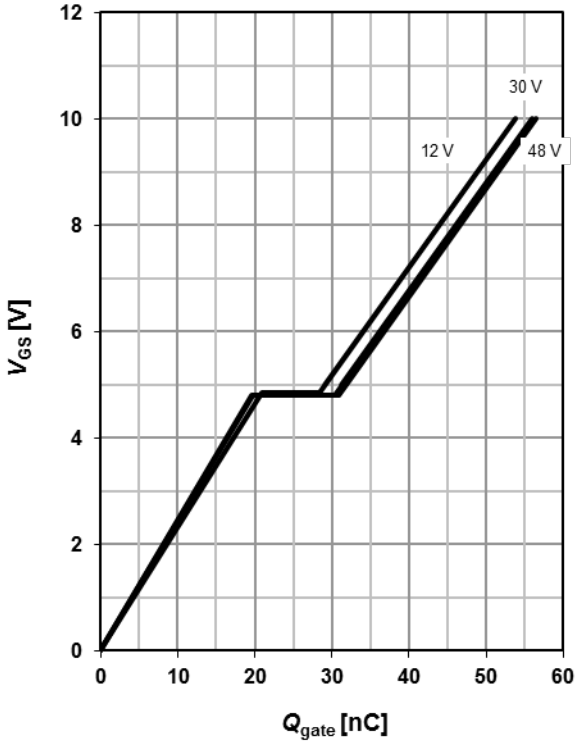
注释：平台电平不固定。它随负载条件变化。

图 27. 典型栅极电荷 V_{GS}=f(Q_{gate})和栅极电荷波形

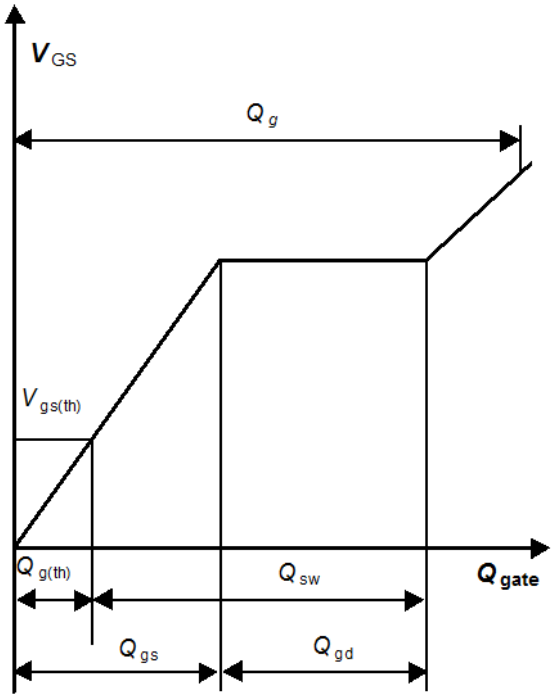
典型栅极电荷

V_{GS}=f(Q_{gate})；I_D=100 A（脉冲）

参数：V_{DD}



栅极电荷波形



栅极电荷特性 5)						
栅源电荷	Q_{gs}	V_{DD}=30 V，I_D=100 A，V_{GS}=0 至 10 V	-	20	-	nC
阈值栅极电荷	$Q_{g(th)}$		-	11	-	
栅漏电荷	Q_{gd}		-	11	-	
开关电荷	Q_{sw}		-	19	-	
栅极电荷总量	Q_g		-	56	-	
栅极平台电压	$V_{plateau}$		-	4.8	-	V
栅极电荷总量，同步整流管 FET	$Q_{g(sync)}$	V_{DS}=0.1 V，V_{GS}=0 至 10 V	-	49	-	nC
输出电荷	Q_{oss}	V_{DD}=30 V，V_{GS}=0 V	-	65	-	

图 28. 栅极电荷和平台电压

2.16 漏电流

MOSFET 指定了两种漏电流（图 29）：

1) I_{DSS} 是在指定的漏源电压（通常为最小漏源击穿电压）和 V_{GS} = 0V 条件下的漏源漏电流。

2) I_{GSS} 是在指定的栅源电压（通常为最大栅源电压）和 V_{DS} = 0V 条件下的栅源漏电流。

零栅极电压漏极电流	I_{DSS}	V_{DS}=60 V，V_{GS}=0 V，T_j=25 °C	-	0.5	1	µA
		V_{DS}=60 V，V_{GS}=0 V，T_j=125 °C	-	10	100	
栅源漏电流	I_{GSS}	V_{GS}=20 V，V_{DS}=0 V	-	10	100	nA

图 29. 漏电流

2.17 其他重要参数

2.17.1 开关时间

图 30 显示了数据表表格部分所列的开关时间参数。

开通延迟时间	$t_{d(on)}$	V_{DD}=30 V，V_{GS}=10 V，I_D=100 A，R_G=3 Ω	-	17	-	ns
上升时间	t_r		-	15	-	
关断延迟时间	$t_{d(off)}$		-	30	-	
下降时间	t_f		-	8	-	

图 30. 开关时间

MOSFET 的开通时间(t_{on})是开通延迟时间($t_{d(on)}$)和上升时间(t_r)之和。$t_{d(on)}$的测量区间是栅源电压值的 10%与漏源电压值的 90%之间。t_r 的测量区间是漏源电压值的 90%与 10%之间。

MOSFET 的关断时间(t_{off})是关断延迟时间($t_{d(off)}$)和下降时间(t_f)之和。$t_{d(off)}$的测量区间是栅源电压值的 90%与漏源电压值的 10%之间。t_f 的测量区间是漏源电压值的 10%与 90%之间。

图 31 以图形方式定义了上述参数。

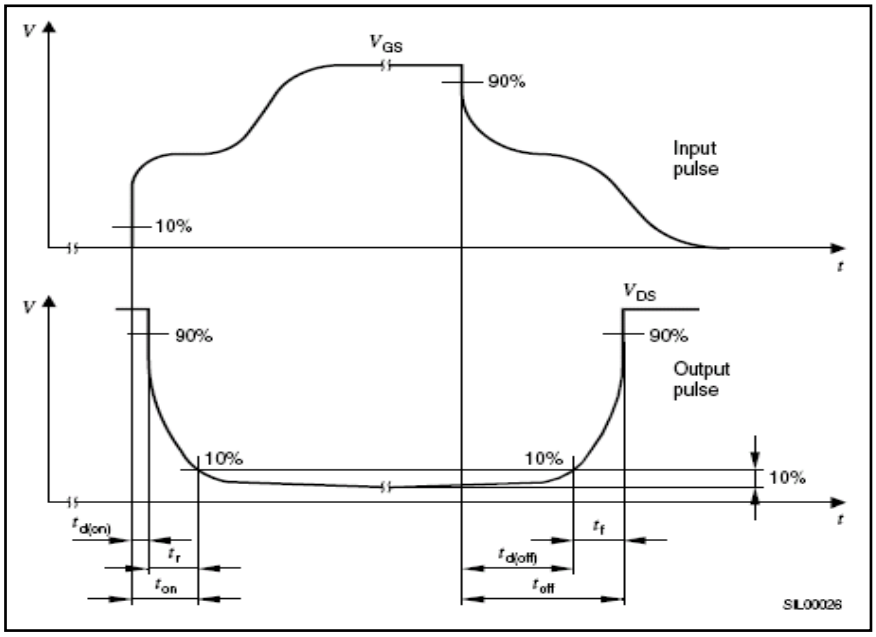


图 31. 开关时间的定义

注释：此图表仅用于定义，由于不同的应用条件，实际波形不一定与之相似。为了更好地表示开关波形，请参考图 27 中的栅极电荷波形。

2.17.2 栅极电阻

数据表中还列出了内部栅极电阻（如图 32 所示）。

栅极电阻	R_G		-	1.3	-	Ω

图 32. 栅极电阻

2.17.3 更多最大额定值

数据表的最大额定值部分还列出了工作和储存温度以及 IEC 气候类别（如图 33 所示）。

工作和储存温度	T_j，T_{stg}		-55 ...175	°C
IEC 气候类别；DIN IEC 68-1			55/175/56	

图 33. 更多最大额定值