



## 产品介绍

650V 增强型功率晶体管

底部冷却、低电感封装

$R_{DS(on)} = 25 \text{ m}\Omega$

$I_{DS(max)} = 60 \text{ A}$

超低 FOM

简单的栅极驱动要求 (0 V to 6 V)

瞬态耐受栅极驱动 (-20 V / +10 V)

极高开关频率 (>10MHz)

快速且可控的升降时间

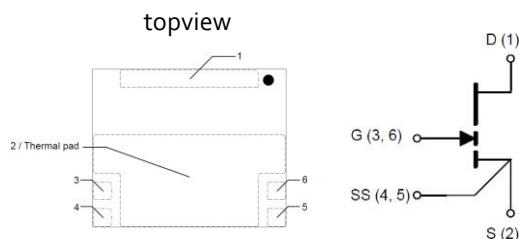
反向导通能力

零反向恢复损耗

PBC占用空间  $11 \times 9 \text{ mm}^2$

双栅极焊盘可优化电路板布局

符合 RoHS 3 (6+4) 标准



## 应用

- 车载充电器
- 牵引驱动装置
- DC-DC转换器
- 工业马达驱动
- 光伏逆变器
- 无桥式图腾柱

## 产品优点

GSR065E060B是一款汽车级 650 V 增强型硅基氮化镓功率晶体管。氮化镓的特性允许高电流、高电压和高开关频率。通过行业领先的进一步创新，单元布局实现大电流裸片和高良率。我们独特的封装技术可在小型封装中实现低电感和低热阻。

GSR065E060B是一款底部冷却晶体管，可为要求苛刻的大功率应用提供极低的结壳热阻。这些特性结合起来提供了非常高效率的电源开关性能。



绝对最大额定值 ( $T_{case} = 25^{\circ}C$  除非另有说明)

Parameter	Symbol	Value	Unit
OperatingJunctionTemperature	$T_J$	-55to+150	$^{\circ}C$
StorageTemperatureRange	$T_S$	-55to+150	$^{\circ}C$
Drain-to-SourceVoltage	$V_{DS}$	650	V
TransientDrain-to-SourceVoltage(Note1)	$V_{DS(transient)}$	900	V
Gate-to-SourceVoltage	$V_{GS}$	-10to+ 7	V
Gate-to-SourceVoltage -transient(Note1)	$V_{GS(transient)}$	-20to+10	V
ContinuousDrainCurrent( $T_{case}=25^{\circ}C$ )	$I_{DS}$	60	A
ContinuousDrainCurrent( $T_{case}=100^{\circ}C$ )	$I_{DS}$	41	A
PulseDrainCurrent(Pulsewidth10 $\mu s$ , $V_{GS}=6V$ )(Note2)	$I_{DSPulse}$	120	A

(1) 对于  $\leq 1 \mu s$

(2) 由产品设计和表征定义。在生产过程中，该值未测试到全电流

热特性 (典型值，除非另有说明)

Parameter	Symbol	Value	Units
ThermalResistance(junction-to-case)-bottom side	$R_{\theta JC}$	0.35	$^{\circ}C/W$
MaximumSolderingTemperature(MSL3rated)	$T_{SOLD}$	260	$^{\circ}C$



电气特性 ( $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{GS} = 6\text{ V}$  除非另有说明)

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Drain-to-SourceBlockingVoltage	$V_{(BL)DSS}$	650			V	$V_{GS}=0V$ , $I_{DSS}\leq 120\text{ }\mu\text{A}$
Drain-to-SourceOnResistance	$R_{DS(on)}$		25	32	m $\Omega$	$V_{GS}= 6\text{ V}$ , $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $I_{DS}= 18\text{ A}$
Drain-to-SourceOnResistance	$R_{DS(on)}$		65		m $\Omega$	$V_{GS}= 6\text{ V}$ , $T_J = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $I_{DS}= 18\text{ A}$
Gate-to-SourceThreshold	$V_{GS(th)}$	1.1	1.7	2.6	V	$V_{DS}= V_{GS}$ , $I_{DS}=16.4\text{ mA}$
Gate-to-SourceCurrent	$I_{GS}$		320		$\mu\text{A}$	$V_{GS}= 6V$ , $V_{DS}=0V$
GatePlateauVoltage	$V_{plat}$		3		V	$V_{DS}= 400V$ , $I_{DS}=60A$
Drain-to-SourceLeakageCurrent	$I_{DSS}$		4	120	$\mu\text{A}$	$V_{DS}=650V$ , $V_{GS}=0V$ , $T_J= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
Drain-to-SourceLeakageCurrent	$I_{DSS}$		160		$\mu\text{A}$	$V_{DS}=650V$ , $V_{GS}=0V$ , $T_J= 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
InternalGateResistance	$R_G$		1		$\Omega$	$f=5\text{ MHz}$ , opendrain
InputCapacitance	$C_{ISS}$		516		pF	$V_{DS}=400V$ $V_{GS}=0\text{ V}$ $f=100\text{ kHz}$
OutputCapacitance	$C_{OSS}$		127		pF	
ReverseTransferCapacitance	$C_{RSS}$		2.4		pF	
EffectiveOutputCapacitanceE nergyRelated(Note3)	$C_{O(ER)}$		212		pF	$V_{GS}=0V$ $V_{DS}=0\text{ to }400V$
EffectiveOutputCapacitanceT imeRelated(Note4)	$C_{O(TR)}$		338		pF	
TotalGateCharge	$Q_G$		14		nC	$V_{GS}=0\text{ to }6V$ , $V_{DS}=400\text{ V}$
Gate-to-SourceCharge	$Q_{GS}$		3.8		nC	
Gate-to-DrainCharge	$Q_{GD}$		4.1		nC	
OutputCharge	$Q_{OSS}$		135		nC	$V_{GS}=0\text{ V}$ , $V_{DS}= 400V$
ReverseRecoveryCharge	$Q_{RR}$		0		nC	

(3)  $C_{O(ER)}$ 是固定电容，当  $V_{DS}$  从  $0V$ 上升到规定值时，它将提供与  $C_{OSS}$  相同的存储能量。

(4)  $C_{O(TR)}$ 是固定电容，当  $V_{DS}$  从  $0V$ 上升到规定的  $V_{DS}$  时，它将提供与  $C_{OSS}$  相同的充电时间。



电气特性 (  $T_J = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{GS} = 6\text{ V}$  除非另有说明 )

Parameters	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Turn-OnDelay	$t_{D(on)}$		8.1		ns	$V_{DD}=400\text{V}$ , $V_{GS}=+6\text{ V}/-3\text{V}$ , $I_{DS}=20\text{A}$ , $R_{G(on)}=10\text{ }\Omega$ , $R_{G(off)}=2\text{ }\Omega$ , $L=65\text{ }\mu\text{H}$ , $L_P=4\text{ nH}$ (Notes 5, 6, 7)
RiseTime	$t_R$		8.5		ns	
Turn-OffDelay	$t_{D(off)}$		9.8		ns	
FallTime	$t_F$		7.7		ns	
SwitchingEnergyduringturn-on	$E_{on}$		117		$\mu\text{J}$	
SwitchingEnergyduringturn-off	$E_{off}$		17.2		$\mu\text{J}$	$V_{DS}=400\text{V}$ $V_{GS}=0\text{ V}$ , $f=100\text{kHz}$
OutputCapacitanceStoredEnergy	$E_{OSS}$		17		$\mu\text{J}$	

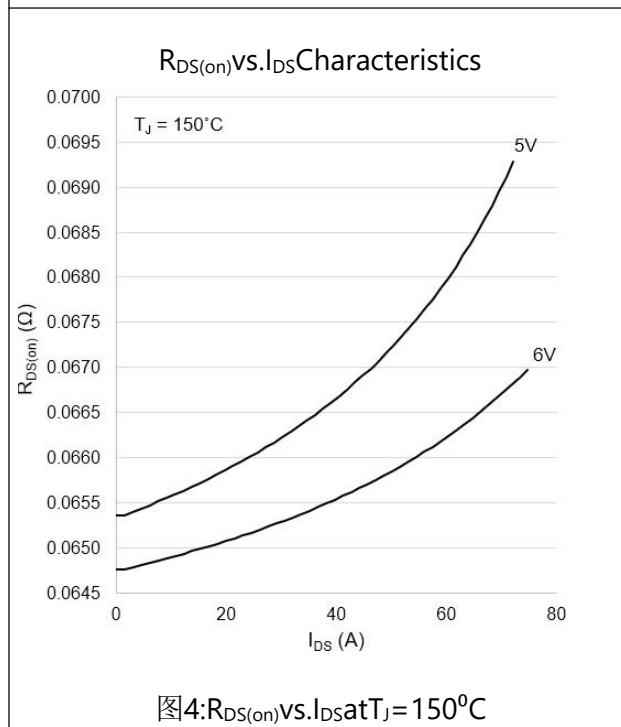
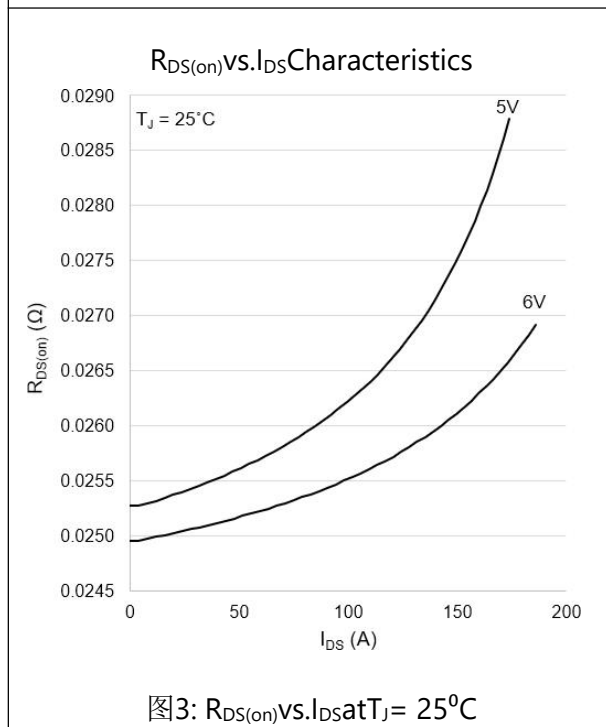
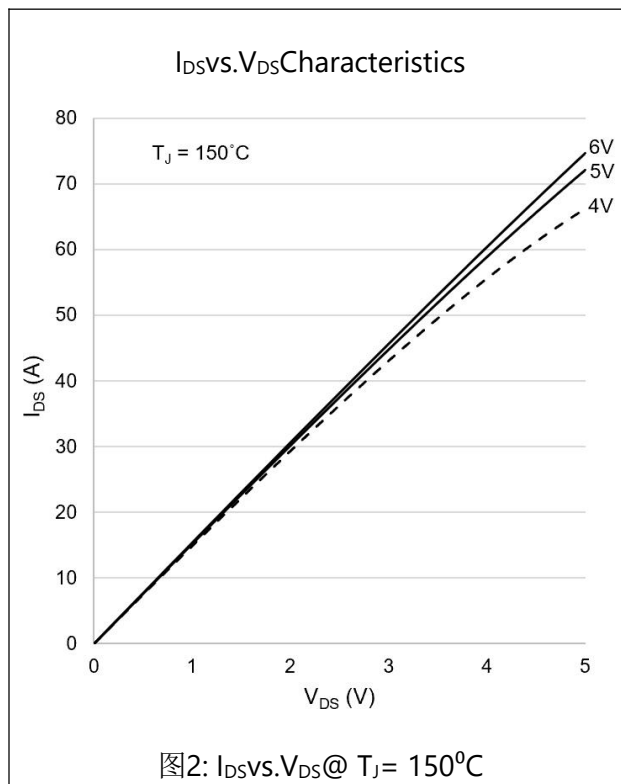
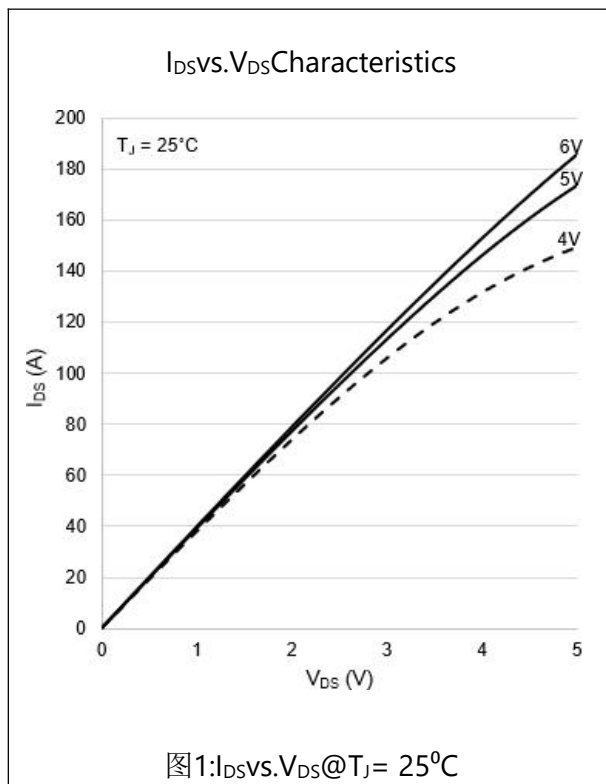
(5) 参见图 16 的开关测试电路图.

(6) 参见图 17 了解开关时间定义波形

(7)  $L_P$  =寄生电感

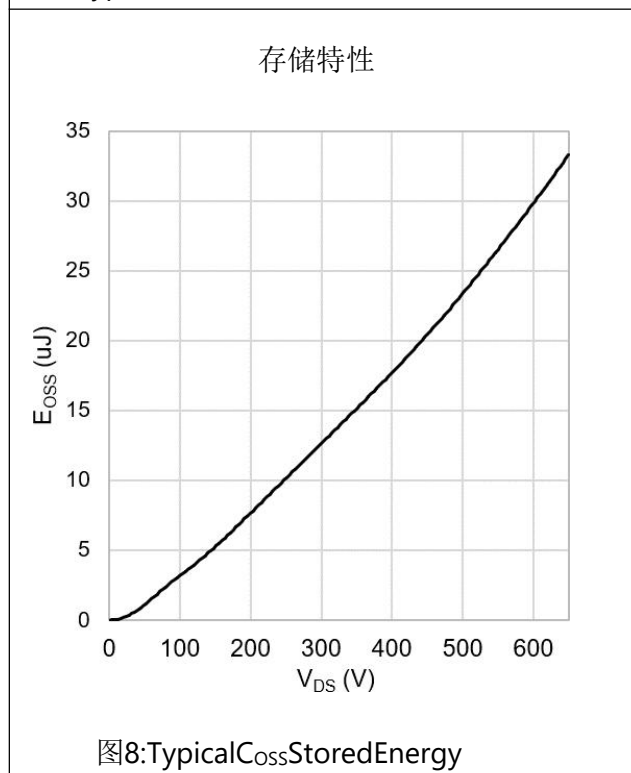
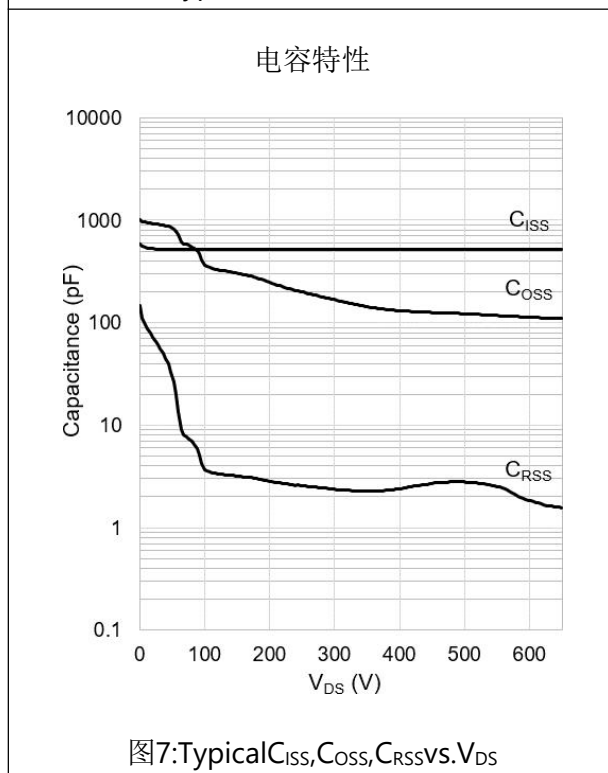
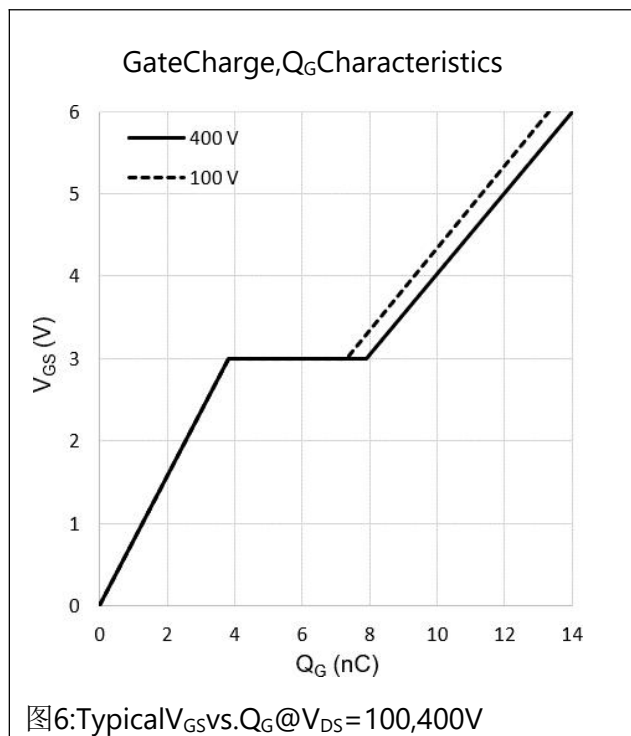
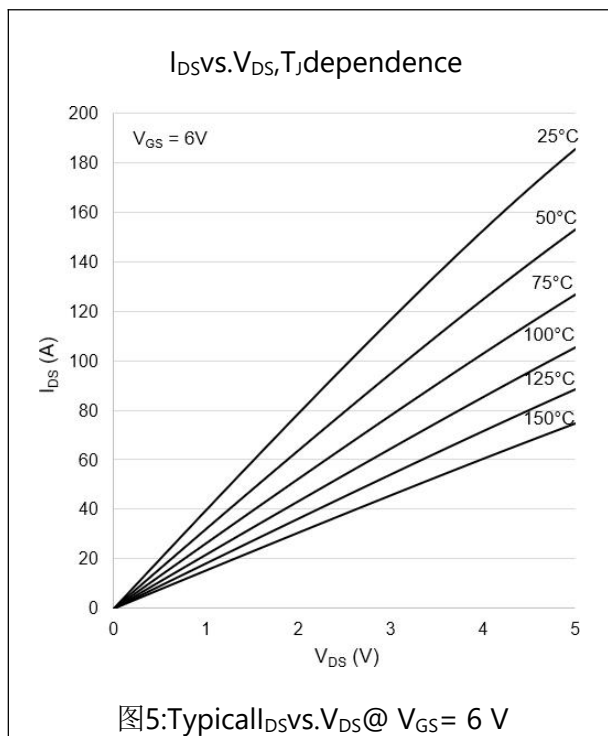


## 电气性能曲线图



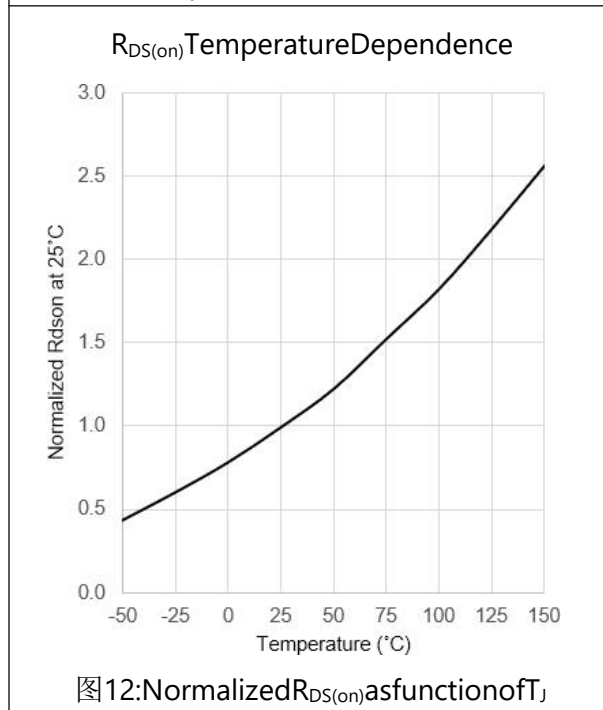
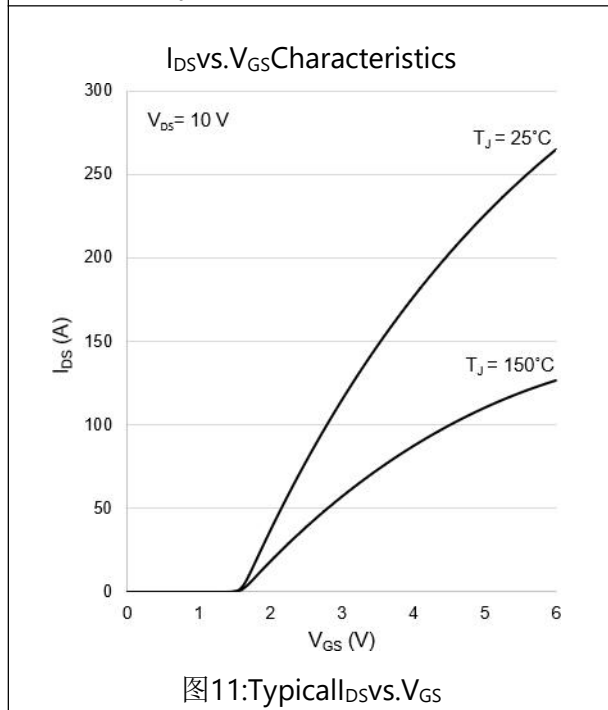
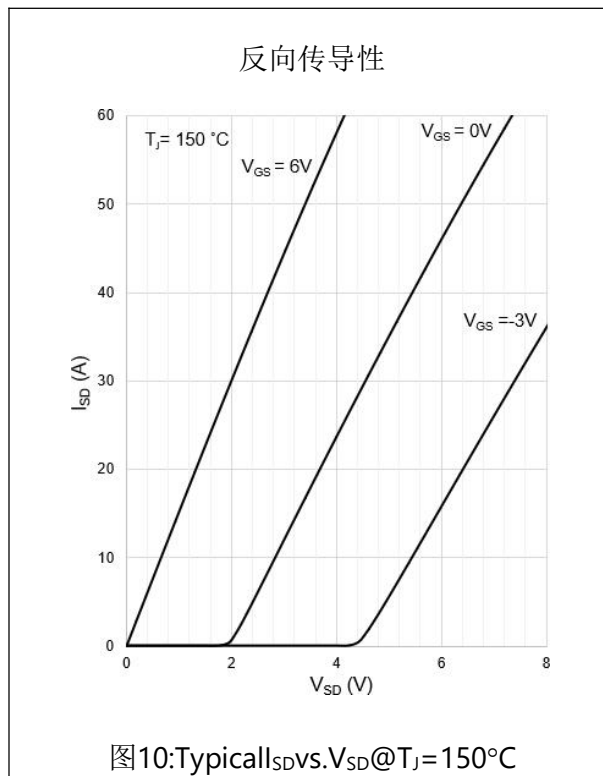
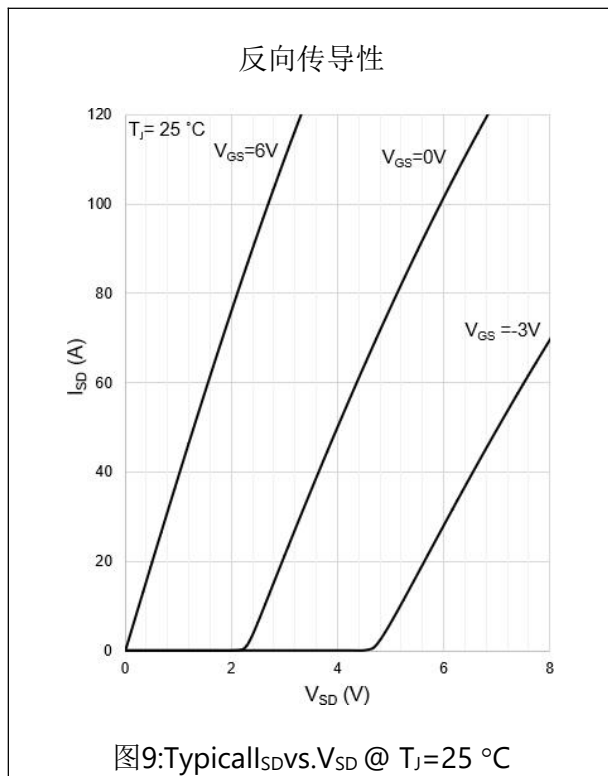


## 电气性能曲线图



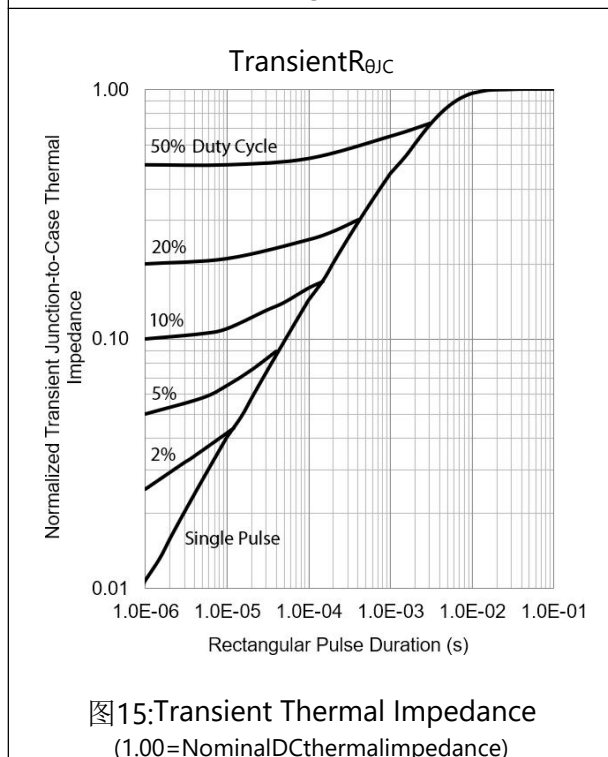
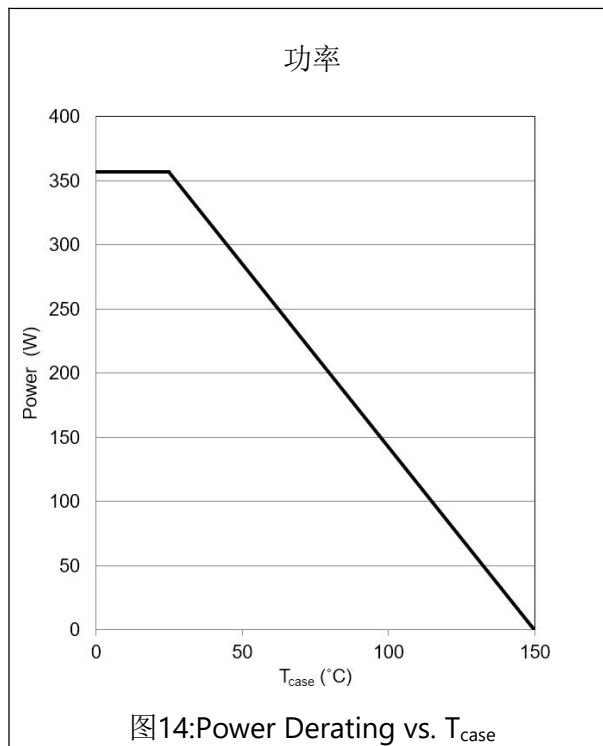
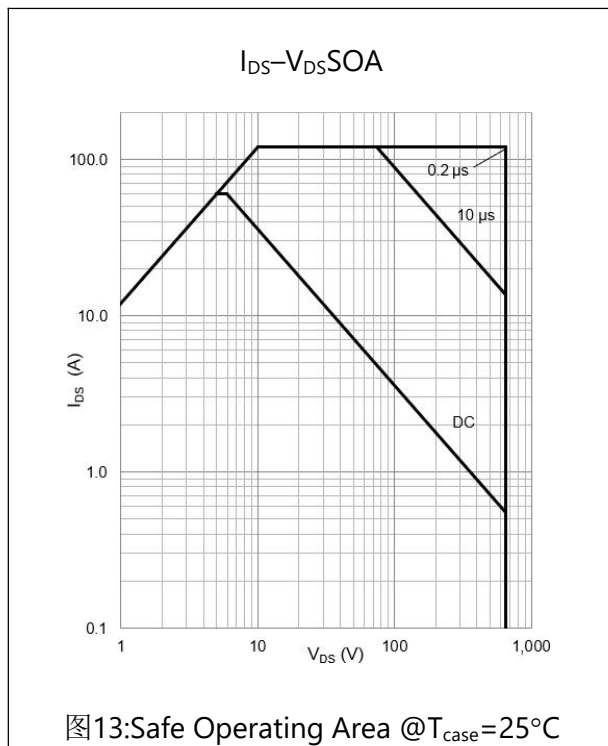


## 电气性能曲线图





## 电气性能曲线图







## 测试电路与波形

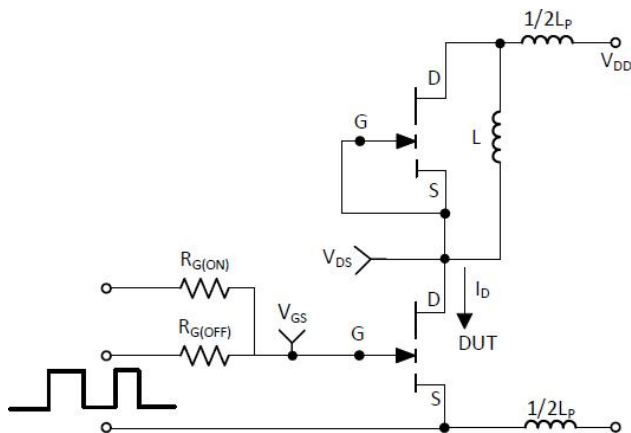


图16:开关测试电路

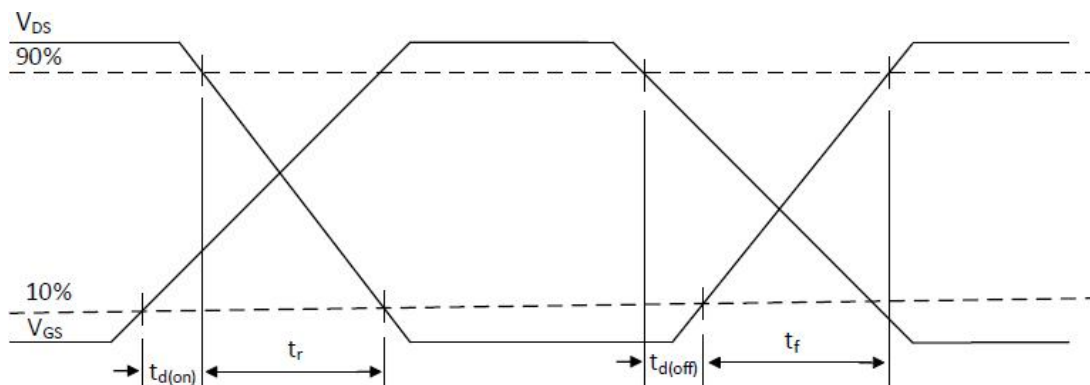


图17:开关时间波形



## 应用信息

### 栅极驱动器

推荐的栅极驱动电压范围  $V_{GS}$  为 0 V 至 + 6 V，以获得最佳  $R_{DS(on)}$  性能。此外，最大额定重复栅极电压 ( $V_{GS(Ac)}$ ) 范围为 +7 V 至 -10 V。栅极可以承受高达 +10 V 和 -20 V 的非重复瞬态脉冲 (脉宽  $\leq 1 \mu s$ )。这些规格允许设计人员轻松使用 6.0 V 或 6.5 V 栅极驱动设置。在 6 V 栅极驱动电压下，增强型高电子迁移率晶体管 (E-HEMT) 完全增强并达到其最佳效率点。用户也可以使用 5 V 栅极驱动器，但可能会导致运行效率降低。E-HEMT 原则上不需要负栅极电压关闭。但是负栅极偏压 (典型值  $V_{GS} = -3 V$ ) 可确保安全运行以抵御栅极上的电压尖峰，缺点是如果驱动不当，可能会增加反向传导损耗。

与硅 MOSFET 类似，外部栅极电阻可以用来控制开关速度和压摆率。设计时可能需要调整阻值以达到所需的压摆率。建议降低关断栅极电阻  $R_{G(OFF)}$  以获得更好的抗交叉传导能力。

可以使用标准 MOSFET 栅极驱动器。符合标准的驱动器必须支持 6 V 栅极电压，并且对于 6 V 操作有欠压锁定 (UVLO)。推荐使用低阻抗和高峰值电流的栅极驱动器以实现快速开关速度。与同等  $R_{DS(on)}$  规格 MOSFET 相比，GSR Semiconductors 的 E-HEMT 的栅极电荷 ( $Q_G$ ) 明显降低，因此可以通过更小、成本更低的栅极驱动器实现高速开关。

### 并行操作

在 PCB 上设计宽走线或多边形以将栅极驱动信号分配给多个器件。保持每个器件的驱动回路长度尽可能短且长度相等。

双栅极驱动引脚用于实现平衡栅极驱动，特别适用于并联 GaN 晶体管操作。两个栅极驱动引脚都在内部连接到栅极，因此只需连接一个。但同时连接两个引脚可能会改进高频的时序特性。GSR065E060B 底部冷却设备上的两个栅极并非设计用作信号通路。当多个器件并联使用时，不建议将一个栅极与另一个栅极 (在同一晶体管上) 的连接作为栅极驱动到下一个器件的信号路径。在 PCB 上设计宽走线或多边形，以将栅极驱动信号分配到多个器件。使每个器件的驱动回路长度尽可能短且相等。

GaN 增强型 HEMT 的导通电阻具有正温度系数，有助于平衡电流。但是，由于器件开关速度特别快，因此应特别注意驱动电路和 PCB 布局。建议在所有并联器件上采用对称 PCB 布局和相等的栅极驱动回路长度 (如果可能，星形连接) 以确保平衡的动态电流共享。同时，强烈建议在每个栅极上添加一个小栅极电阻 (1-2  $\Omega$ ) 以最小化栅极寄生振荡。

### 源传感

本封装具有两个专用源检测引脚。封装不使用焊线，因此源电感非常低。如果创建专用栅极驱动信号开尔文连接，专用源引脚将通过消除公共源极电感来进一步提高性能。这可以通过将栅极驱动信号从驱动器连接到栅极焊盘并从源极检测焊盘返回到驱动器接地参考来实现。

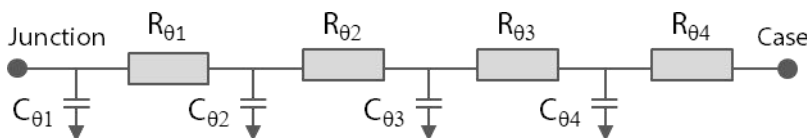
### 导热

基板在内部连接到封装底部的源焊盘 (同时也是导热焊盘)。晶体管设计为使用印刷电路板进行冷却。漏极焊盘的导热性不如导热焊盘。但是，可以通过在此焊盘下方添加更多铜来降低封装温度改善热性能。

### 热模型

GSR 的 RC 热模型可用于支持 SPICE 进行详细的热仿真。热模型是基于 Cauer 模型 (一种反映器件的真实物理特性和封装结构的 RC 网络模型)。可以加入额外的  $R_\theta$  和  $C_\theta$  来模拟热界面材料 (TIM) 或散热器，从而将此热模型扩展到系统级。

#### RC 热模型:





#### $R_{\theta JC}$ 的 $R_c$ 列表

$R_{\theta} (^{\circ}\text{C}/\text{W})$	$C_{\theta} (\text{W}\cdot\text{s}/^{\circ}\text{C})$
$R_{\theta 1}=0.008$	$C_{\theta 1}=1.8\text{E}-04$
$R_{\theta 2}=0.080$	$C_{\theta 2}=1.3\text{E}-03$
$R_{\theta 3}=0.222$	$C_{\theta 3}=9.5\text{E}-03$
$R_{\theta 4}=0.040$	$C_{\theta 4}=3.7\text{E}-03$

#### 反向传导

GSR 半导体增强型HEMT 没有本征体二极管，并且反向恢复电荷为零。这些器件自然具有反向传导能力，并根据栅极电压表现出不同的特性。GSR的晶体管不需要如同IGBT的反向传导一样，并联反向二极管。

导通状态 ( $V_{GS} = +6\text{ V}$ ): GSR 半导体E-HEMT 在导通状态下的反向传导特性类似于硅 MOSFET。晶体管I-V 曲线关于原点对称并表现出类似于正向传导操作的沟道电阻( $R_{DS(on)}$ )。

关断状态 ( $V_{GS} \leq 0\text{ V}$ ): 由于 GaN器件没有寄生体二极管，因此在关断状态下的反向特性不同于硅 MOSFET。在关断状态下，当栅漏电压 ( $V_{GD}$ ) 超过栅极阈值电压时，器件开始导通。此时，器件表现出沟道电阻。这种情况可以建模为一个VF略高且无反向恢复电荷的“体二极管”。

如果在关断状态下使用负栅极电压，则源极-漏极电压必须高于 $V_{GS(th)} + V_{GS(off)}$  才能开启器件。因此，负栅极电压将增加反向电压降“VF”，从而增加反向传导损耗。

#### 阻断电压

额定阻断电压 $V_{(BL)DSS}$  由漏极泄漏电流定义。硬击穿（非可逆）电压比额定  $V_{(BL)DSS}$  高约 30%。一般情况下，最大漏极电压应与 IGBT 或硅 MOSFET 类似的方式降低额定值。所有GaN E-HEMT 都不会发生雪崩，因此没有雪崩击穿等级。最大漏源额定电压为 650 V，并且不随负栅极电压而变化。GSR 半导体生产的器件使用900 V 漏源电压脉冲进行测试，以确保阻断电压裕度。

#### 封装和焊接

封装材料是高温环氧树脂基 PCB 材料，类似于 FR4，但具有更高的额定温度。因此允许 GSR065E060B 器件的额定温度为 150 °C。该器件可以经受至少 3 个回流焊周期。

建议使用 IPC/JEDEC J-STD-020 REV D.1 (2008 年 3 月) 中的回流曲线。

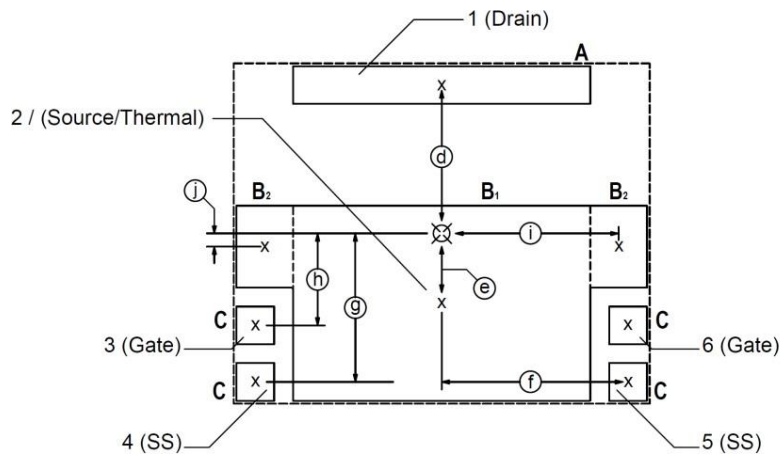
无铅 (Sn-Ag-Cu) 组件的基本温度曲线为:

- 预热/浸泡: 60-120 秒。  $T_{min} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{max} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 回流: 最大上升速率  $3^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 。峰值温度为  $260^{\circ}\text{C}$ ，在  $255^{\circ}\text{C}$  以上的时间不超过 30 秒
- 冷却: 最大下降速率  $6^{\circ}\text{C}/\text{秒}$

使用“免清洗”焊膏并在高温下操作可能会导致“免清洗”助焊剂残留物重新活化。在极端条件下，可能会产生不需要的传导路径。因此，当产品在高于  $100^{\circ}\text{C}$  的温度下运行时，建议同时清洁“免清洗”糊状残留物。避免将具有高差分电压的印刷电路板走线放置于GSR065E060B 封装正下方的源极或漏极，以避免在高温高压工作期间可能出现的电迁移和阻焊层隔离问题。



## 推荐 PCB 尺寸



### Pad sizes

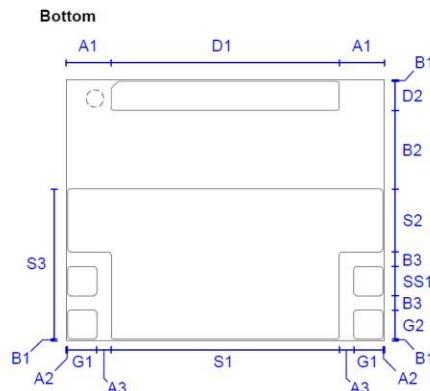
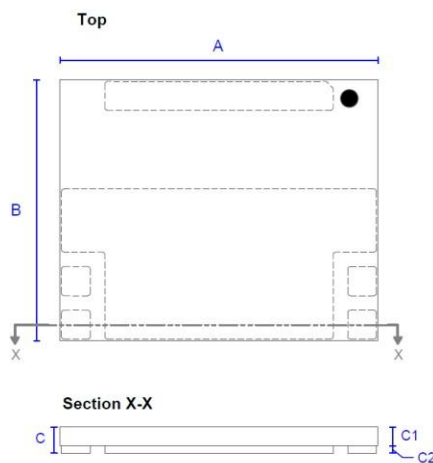
	mm		Inches	
	X (width)	Y (height)	X (width)	Y (height)
A	7.87	1.00	0.310	0.039
B <sub>1</sub>	7.87	5.17	0.310	0.204
B <sub>2</sub>	1.50	2.17	0.060	0.085
C	1.00	1.00	0.039	0.039

### Dimensions

	mm	Inches
d	3.94	0.155
e	1.85	0.073
f	4.94	0.194
g	3.94	0.155
h	2.44	0.096
i	4.69	0.185
j	0.35	0.014

- PCB pad openings
- Package outline

## 封装尺寸



	mm	Inches*
A	11.02	0.434 +/- 0.100 mm (0.004")
A1	1.58	0.062 +/- 0.050 mm (0.002")
A2	0.08	0.003 +/- 0.050 mm (0.002")
A3	0.50	0.020
B	9.02	0.355 +/- 0.100 mm (0.004")
B1	0.08	0.003 +/- 0.050 mm (0.002")
B2	2.70	0.106
B3	0.50	0.020
C	0.63	0.025 +/- 0.09 mm (0.004")
C1	0.62	0.024
C2	0.01	0.0004
D1	7.87	0.310
D2	1.00	0.039
G1	1.00	0.039
G2	1.00	0.039
S1	7.87	0.310
S2	2.17	0.085
S3	5.17	0.204
SS1	1.00	0.039

\*Inch measurements are approximate values