

团 体 标 准

T/CASA 006—2020

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管通用 技术规范

The general specification for silicon carbide metal-oxide-
semiconductor field-effect-transistor

2020-12-28 发布

2021-01-01 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟发布

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 等效电路	1
3.2 与额定值和特性有关的术语	1
3.3 常规使用术语	6
4 文字符号	6
4.1 补充的通用下标	6
4.2 文字符号表	6
5 基本额定值和特性	7
5.1 通则	7
5.2 额定值（极限值）	7
5.3 特性	8
6 测试方法	11
6.1 通则	11
6.2 额定值(极限值)试验	11
6.3 测量方法	28
7 接收和可靠性	45
7.1 耐久性和可靠性测试以及测试方法	45
7.2 型式试验和例行试验	54

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由第三代半导体产业技术创新战略联盟标准化委员会（CASA）制定发布，版权归 CASA 所有，未经 CASA 许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经 CASA 允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本标准的标准号。

到本文件正式发布为止，CASA 未收到任何有关本文件涉及专利的报告。CASA 不负责确认本文件的某些内容是否还存在涉及专利的可能性。

本文件起草单位：中国科学院微电子研究所、全球能源互联网研究院有限公司、中国电子科技集团公司第五十五研究所、华大半导体有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、北京世纪金光半导体有限公司。

本标准文件起草人：许恒宇、李金元、刘奥、万彩萍、刘鹏飞、刘国友、孙博韬。

中国电子科技集团公司第十三研究所、东莞市中镓半导体科技有限公司、江苏捷捷微电子股份有限公司、派恩杰半导体(杭州)有限公司、深圳市禾望电气股份有限公司和山东阅芯电子科技有限公司等单位为本文件的撰写提供了大量的支持，在此一并表示感谢。

本文件为首次发布。

引 言

随着碳化硅材料、器件技术的不断突破与发展，碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）近年来在新能源、电动汽车等领域应用越来越广泛，并取得了不错的示范效果。为了加快推进 SiC MOSFET 功率器件的产业化发展和规模化应用，迫切需要制定 SiC MOSFET 功率器件的标准和规范，以指导和促进 SiC MOSFET 功率器件的性能不断提升，质量更加可靠，应用更符合实际需求。

本文件充分借鉴了 IEC 60747-8-4 Discrete Semiconductor devices - Part 8-4: Metal-oxide-semiconductor field-effect-transistors for power switching applications 的内容，并结合了近几年科研人员在 SiC MOSFET 功率器件的研发、测试评估以及应用方面的经验总结，对 SiC MOSFET 的动静态参数、可靠性考核测试方法等进行了详细的规定，但局限于当前科研人员对 SiC MOSFET 器件的认知，以及该产品生产与应用所处的发展阶段，可能还存在一些不足的地方，后续将根据研究进展不断进行完善和升级。

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管通用技术规范

1 范围

本文件规定了碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（以下简称“晶体管”）的术语、符号、基本额定值和特性、检验要求、测量与试验方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本不适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

IEC 60747-1-1983 半导体器件 分立器件和集成电路 第 1 部分：总则（Semiconductor devices. Discrete devices - Part 1 : General）

IEC 60747-2-2000 半导体器件 分立器件与集成电路 第 2 部分：整流二极管（Semiconductor devices - Discrete devices and integrated circuits - Part 2: Rectifier diodes）

IEC 60747-8-4-2004-09 分立半导体器件 第 8-4 部分：功率开关应用金属-氧化物-半导体场效应晶体管（Discrete semiconductor devices-Part 8-4:Metal-Oxide-Semiconductor field-effect-transistors(MOSFETs) for power switching applications）

JEITA EDR-4713-2017 化合物半导体可靠性实验方法准则（Guidelines for Compound Power Semiconductor Device Reliability Test Method）

3 术语和定义

IEC 60747-8-2010 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 等效电路

MOSFET 通常包含与 MOSFET 本身反向并联的体二极管。图 1 显示了 N 沟道器件的等效电路。P 沟道器件的极性相反。一般情况下，该体二极管不在图形符号中标识。

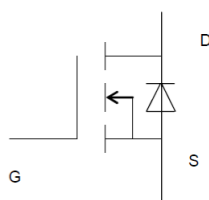


图 1 具有体二极管的 MOSFET 的等效电路

3.2 与额定值和特性有关的术语

3.2.1

关断电压的上升速率 **rate of rise of off-state voltage**

dv/dt

在体二极管的反向恢复期间漏极-源极关断电压上升速率。

3.2.2

反偏安全工作区 **reverse-bias safe operating area**

RBSOA

在漏极电流与漏极-源极电压区域，其中MOSFET能够在钳位电感负载的情况下重复地关断而不失效。

3.2.3

短路安全工作区 **short circuit safe operating area**

SCSOA

在漏极电流与漏极电压区域，其中MOSFET能够在没有故障的情况下非重复地开通和关断。

3.2.4

雪崩能量（用于雪崩器件） **avalanche energy**

E_A

关断期间的雪崩能量。

3.2.5

重复雪崩能量（用于雪崩器件） **repetitive avalanche energy**

E_{AR}

关断期间重复的雪崩能量。

3.2.6

非重复雪崩能量（用于雪崩装置） **non-repetitive avalanche energy**

E_{AS}

关断期间的非重复雪崩能力（单脉冲）。

3.2.7

漏极泄漏电流 **drain leakage current**

I_{DS}

关断状态下的漏极电流。

3.2.8

漏极-源极的击穿电压 **breakdown voltage, drain to source**

$V_{(BR)DS}$

关断状态下的漏极-源极击穿电压。

3.2.9

(短路) 输入电容 (short-circuit) input capacitance

C_{iss}

漏极端对源极端交流短路时, 栅极端和源极端之间的电容。

3.2.10

(短路) 输出电容 (short-circuit) output capacitance

C_{oss}

栅极端对源极端交流短路时, 漏极端和源极端之间的电容。

3.2.11

(短路) 反向传输电容 (short-circuit) reverse transfer capacitance

C_{rss}

漏极端和栅极端之间的电容。

3.2.12

栅极内阻 internal gate resistance

r_g

短路栅极内阻 (见图41)。

3.2.13

开关时间 switching times

$t_{d(on)}$, t_r , $t_{d(off)}$, 和 t_f

输入波形是栅极到源极电压, 输出波形是漏极电流。

(见IEC 60747-1)。

3.2.14

开通能量 turn-on energy

E_{on}

漏极-源极电压 V_{DS} 和漏极电流 I_D 的乘积在开通期间的积分值, 如下式所示:

$$E_{on} = \int_0^{t_f} i_D \times V_{DS} \times dt \text{ (如图 2 所示)}$$

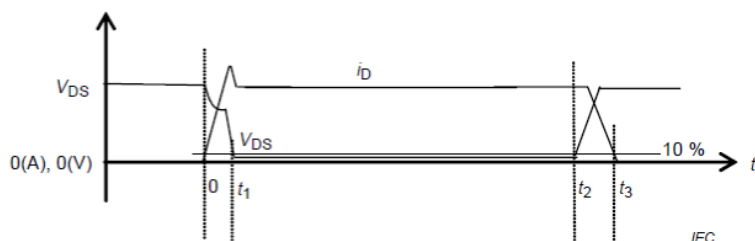
3.2.15

关断能量 turn-off energy

E_{off}

漏极-源极电压 V_{DS} 漏极电流 I_D 的乘积在关断期间的积分值。

$$E_{\text{off}} = \int_{t_2}^{t_3} i_D \times V_{\text{DS}} \times dt \quad (\text{如图 2 所示})$$

图 2 开通能量 E_{on} 和关断能量 E_{off} 的积分时间

3. 2. 16

栅极电荷 **gate charges**

3. 2. 16. 1

栅极总电荷 **total gate charge** Q_G

将栅极-源极电压从零升高到规定值所需的电荷，通过以下公式计算：

$$Q_G = \int_{t_0}^{t_4} i_{\text{GG}}(t) dt$$

3. 2. 16. 2

栅极阈值电荷 **threshold gate charge** $Q_{\text{GS(th)}}$ 将栅极-源极电压从零升至 $V_{\text{GS(th)}}$ 所需的电荷，通过以下公式计算：

$$Q_{\text{GS(th)}} = \int_{t_0}^{t_1} i_{\text{GG}}(t) dt$$

3. 2. 16. 3

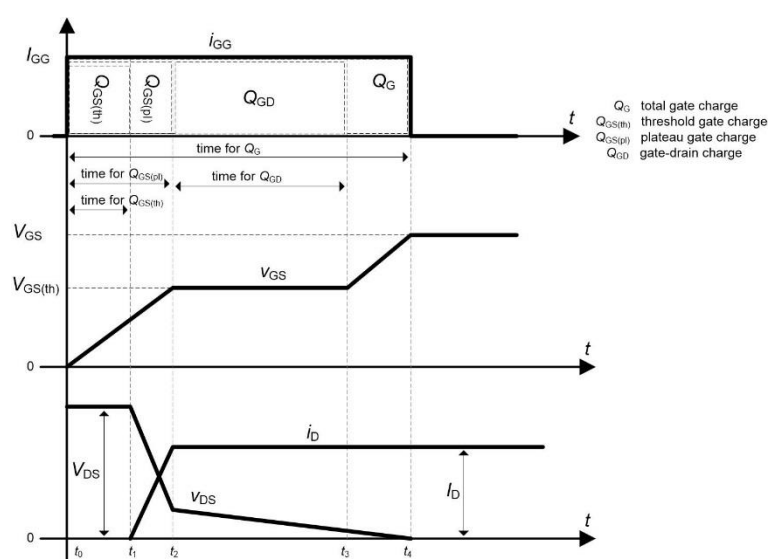
平台栅极电荷 **plateau gate charge** $Q_{\text{GS(pl)}}$ 将栅极-源极电压从零升至平台电压 $V_{\text{GS(pl)}}$ 所需的电荷，通过以下公式计算：

$$Q_{\text{GS(pl)}} = \int_{t_0}^{t_2} i_{\text{GG}}(t) dt$$

3. 2. 16. 4

栅极漏极电荷 **gate drain charge** Q_{GD} 平台区开始和结束之间的电荷差，需要充电至 C_{GD} 。

$$Q_{\text{GD}} = \int_{t_2}^{t_3} i_{\text{GG}}(t) dt$$



注：箭头结束线指示的时间间隔是计算栅极电荷的积分间隔。

图3 规定的栅极电荷的基本波形

3. 2. 17

输出电容电荷 output capacitance charge

Q_{oss}

在开通和关断期间改变输出电容 C_{oss} 的电压所需的电荷。

3. 2. 18

栅极-源极平台电压 gate-source plateau voltage

$V_{GS(pl)}$

在开通期间， C_{GD} 充电过程中，米勒平台相对恒定时的 V_{GS} 电压。

注：见图 3。

3. 2. 19

漏极-源极反向电压 drain-source reverse voltage

V_{DSR}

由反向电流引起的 MOSFET 两端的电压。

3. 2. 20

正向恢复电流 forward recovery current

I_{FR}

由反向电流引起的 MOSFET 的正向恢复电流。

3. 2. 21

正向恢复时间 forward recovery time

t_{fr}

由反向电流引起的 MOSFET 的正向恢复时间。

3.2.22

正向恢复电荷 **forward recovery charge**

Q_f

由反向电流引起的 MOSFET 的正向恢复电荷。

3.3 常规使用术语

表1 MOSFET标准术语和体二极管的常规术语

标准术语	文字符号	MOSFET 关断状态下体二极管的常规术语	文字符号
漏极-源极反向电压	V_{DSR}	体二极管的正向电压	V_F
MOSFET 正向恢复电流	I_{FR}	体二极管的反向恢复电流	I_{RR}
MOSFET 的正向恢复峰值电流	I_{FRM}	体二极管的峰值反向恢复电流	I_{RM}
MOSFET 的正向恢复时间	t_{fr}	体二极管的反向恢复时间	t_{rr}
MOSFET 正向恢复电荷	Q_f	体二极管的反向恢复电荷	Q_r
反向漏电流	I_{DR}	体二极管的正向电流	I_F
漏极峰值反向电流	I_{DRM}	体二极管的峰值正向电流	I_{FM}

4 文字符号

MOSFET 的通用文字符号在 IEC 60747-1 第五章 2, 3, 4 节和 IEC 60747-8 的 4.4.3 条中定义。与反向二极管相关的特殊文字符号在 IEC 60747-2 的 4.3 中给出。

4.1 补充的通用下标

除在 IEC 60747-1 第 V 章 2.2.1 条中列出推荐的通用下标外，本标准还引入了以下特殊下标：

- O 开路端子；
- S 短路端子；
- R 电阻端子；
- X 特定栅-源电压下的端子；
- pl 平台；
- th 阈值。

注：X 在 IEC 60747-7 的 4.1.2 中定义。

4.2 文字符号表

表2 MOSFET通用文字符号表

名称和命名	文字符号	备注
4.2.1 电压		
漏极-源极击穿电压（B 型）	$V_{(BR)DSX}$	——

漏极-源极击穿电压（C 型）	$V_{(BR)DSS}$	——
栅极-源极开通电压（C 型）	$V_{GS(on)}$	——
栅极-源极阈值电压	$V_{GS(th)}$	——
漏极-源极开通电压	$V_{DS(on)}$	——
漏极-源极反向电压	V_{DR}	——
栅极-源极平台电压	$V_{GS(pl)}$	——
4.2.2 电流		
漏极峰值电流	I_{DM}	——
漏极反向电流	I_{DR}	——
漏极峰值反向电流	I_{DRM}	——
短路电流	I_{SC}	——
4.2.3 开关能量		
开通能量	E_{on}	——
关断能量	E_{off}	——
4.2.4 雪崩能量（适用于雪崩类型）		
重复的雪崩能量	E_{AR}	——
非重复单脉冲雪崩能量	E_{AS}	——
4.2.5 电阻		
栅极内阻	R_g	——
4.2.6 栅极电荷（见图 3）		
栅极总电荷	Q_G	——
平台栅极电荷	$Q_{GS(pl)}$	——
栅极-漏极电荷	Q_{GD}	——
栅极阈值电荷	$Q_{GS(th)}$	——
4.2.7 MOSFETs 恢复（体二极管反向恢复）		
正向恢复峰值电流	I_{FRM}	——
正向恢复时间	t_{fr}	——
正向恢复电荷	Q_f	——

5 基本额定值和特性

5.1 通则

对于多栅极器件，除非另有说明，否则应分别为每个栅极提供所需的栅极额定值和特性。

5.2 额定值（极限值）

额定值应如所述对特定器件的整个工作条件范围有效，并给出规范的曲线。

5.2.1 温度

5.2.1.1 最小和最大环境温度、管壳温度或结温（ T_a 或 T_c 或 T_{vj} ）

5.2.1.2 最大和最小贮存温度 (T_{stg}) (适用时)

5.2.2 耗散功率 (P_{tot})

最大值, 适用时, 给出降额曲线。

5.2.3 电压和电流

5.2.3.1 断态最大漏极电流 (I_{D0})

5.2.3.2 最大栅极-源极电压 ($\pm V_{\text{gs}}$)

5.2.3.3 关断电压的最大上升率

5.2.3.4 漏极最大开通电流 (I_{d})

5.2.3.5 漏极最大通态峰值电流

在规定的脉冲条件下。

5.2.3.6 漏极反向最大电流

在规定的脉冲条件下。

5.2.3.7 漏极反向最大峰值电流 (I_{drm})

5.2.4 安全工作区 (SOA)

5.2.4.1 最大反偏安全工作区

在规定的脉冲条件下。

5.2.4.2 最大短路安全工作区 (适用时)

5.2.5 雪崩能量 (用于雪崩装置)

5.2.5.1 最大重复雪崩能量 (E_{AR})

在规定的无钳位感性开关电路条件下。

5.2.5.2 最大非重复雪崩能量 (E_{AS})

在规定的无钳位感性开关电路条件下。

5.2.6 机械数据

见 IEC 60747-1。

5.3 特性

特性应在 25 °C (另有规定除外) 和另一规定的较高工作温度下给出。

5.3.1 栅极泄漏电流 (I_{GSS})

源极-漏极短接时, 栅极-源极电压 V_{GS} 达到最大的条件下对应的的最大值。

5.3.2 漏极泄漏电流 (I_{DSX}) (适用 B 型)

在漏极-源极电压和栅极-源极电压达到规定的高值条件下的最大值。

5.3.3 漏极泄漏电流 (I_{DSS}) (适用 C 型)

在漏极-源极电压达到规定的高值和栅极-源极短路条件下的最大值。

5.3.4 漏极-源极击穿电压 ($V_{(BR)DSX}$) (适用 B 型)

最大断态漏极电流 I_{D0} 和规定的栅极-源极电压时的最大值。

5.3.5 漏极-源极击穿电压 ($V_{(BR)DSS}$) (适用 C 型)

最大断态漏极电流 I_{D0} 和栅极-源极短路时的最小值。

5.3.6 栅极-源极截止电压 ($V_{GS(off)}$) (适用 B 型)

在漏极-源极电压达到规定的高值和漏极电流达到规定的低值条件下的最小值和最大值。

5.3.7 栅极-源极阈值电压 ($V_{GS(th)}$) (适用 C 型)

在漏极-源极电压达到规定的高值和漏极电流达到规定的低值条件下的最小值和最大值。

5.3.8 栅极-源极开通电压 ($V_{GSM(on)}$) (适用 C 型)

开通状态的最大值。

5.3.9 漏极-源极开通电阻 ($R_{DS(on)}$)

在规定的栅极电压、温度且忽略内部耗散条件下的最大值 (见图 32)。

5.3.10 漏极-源极反向电压 (V_{DR})

反向电流 (I_{DR}) 达到规定的高值和 $V_{GS} = 0$ 时的最大值。

5.3.11 短路输入电容 (C_{iss})

在规定的漏极-源极电压和规定的频率下, 且栅极-源极交流短路时的最大值。

5.3.12 短路输出电容 (C_{oss})

在规定的漏极-源极电压和规定的频率下, 且栅极-源极交流短路时的最大值。

5.3.13 短路反向转移电容 (C_{rss})

在规定的漏极-源极电压和规定的频率下, 且栅极-源极交流短路时的最大值。

5.3.14 栅极内阻 (R_G) (R_g) (适用时)

在规定的偏置条件和规定的频率下的最大和/或典型值。

5.3.15 关时间 ($t_{d(on)}$, t_r , $t_{d(off)}$ 和 t_f)

在下列规定条件下的典型值:

- 极电流;
- 开通和关断的栅极-源极电压;
- 负载电阻;
- 栅极-源极电路中的电阻;
- 环境温度、管壳温度或结温。

注: 当 $t_{d(off)}$ 仅是总关断时间 t_{off} 的一小部分时, 可以仅给出 t_{off} 的最大值。 $t_{d(on)}$ 的值是 V_{GS} 上升到其工作电压的 10 % 到 V_D 下降到其工作电压的 90 %。 t_r 的值是 V_D 从工作电压的 90 % 到 10 %。 t_f 采用下降曲线的线性部分, 更符合 I_D 下降时的 (di/dt) 特性 (参考 IEC 60747-1)。

5.3.16 开通能量 (单脉冲) (E_{on}) (适用时)

在下列规定条件下的最大值:

- 开通前的漏极-源极电压;
- 开通后的漏极峰值电流;
- 栅极-源极电压;
- 栅极-源极电路中的电阻;
- 环境温度、管壳温度或结温。

5.3.17 关断能量 (单脉冲) (E_{off}) (适用时)

在下列规定条件下的最大值:

在特定条件下的最大值:

- 关断前的峰值电流;
- 关断后的漏极-源极电压;
- 栅极-源极电压;
- 栅极-源极电路中的电阻;
- 环境温度、管壳温度或结温。

5.3.18 栅极电荷 (Q_G , Q_{GD} , $Q_{GD(th)}$, $Q_{GS(pl)}$)

规定的漏极电流 (I_D)、漏源极电压 (V_{DS}) 和栅极电流 (I_{GG}) 时的典型值 (见图 3)。

5.3.19 正向恢复时间 (t_{fr})

在规定条件下的最大值。

5.3.20 峰值正向恢复电流 (I_{FRM})

在规定条件下的最大值。

5.3.21 峰值结温 (T_{jmax})

在规定条件下的最高值。

5.3.22 短路耐受时间（SCWT）

在规定条件下，器件的短路耐受时间。

6 测试方法

6.1 通则

本标准电路图中所给出的极性适用于N沟道型器件。通过改变仪表和电源的极性，则能适用于P沟道型器件。

IEC 6077-1 第7.1 节第2 条给出的操作事项适用。此外，应特别注意，需使用低纹波直流电源，并在测量频率下对所有偏置电源电压进行充分解耦。

对于四端器件，第四端子应按规定连接。在处理这些器件时，应遵守 IEC 6077-1 的第九章第一条中的注意事项。下列电路中的整个电路应做静电屏蔽处理。

6.2 额定值(极限值)试验

表3 特性和失效判据

特性	失效判据
——	——
I_{GSS}	$I_{GSS} > USL$
I_{DS*}	$I_{DS*} > USL$
$V_{GS(th)}$ （或 $V_{GS(off)}$ ）	$V_{GS(th)} > USL$ 或 $V_{GS(th)} < LSL$
$r_{DS(on)}$	$r_{DS(on)} > USL$
USL：规定上限值。 LSL：规定下限值。	

6.2.1 电压和电流

6.2.1.1 漏极-源极电压（直流）（ V_{DS*} ）

注：* = O，R，S 或 X。

6.2.1.1.1 目的

在规定条件下，检验漏极-源极电压（直流） V_{DS*} 。

6.2.1.1.2 电路图

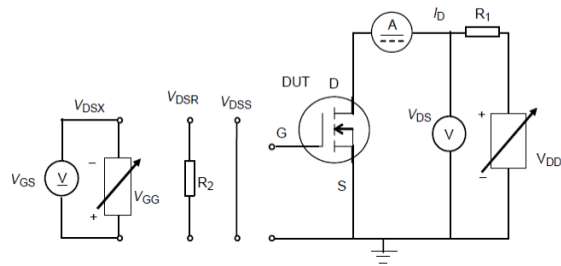


图4 漏极-源极电压试验电路

6.2.1.1.3 电路说明

V_{DD} 和 V_{GG} 是直流电压源。 R_1 是电路保护电阻。

6.2.1.1.4 试验程序

栅极-源极应设置为规定条件。增加 V_{DD} 直到在电压表 V_{DS} 上测得的漏极-源极电压达到规定的漏极-源极电压（直流） V_{DS}^* 。在上述测试后，根据表2的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.1.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- 栅极-源极偏置条件；
- 漏极-源极电压：规定漏极-源极电压。

6.2.1.2 栅极-源极电压（直流）(V_{GS}^*)

6.2.1.2.1 目的

在规定条件下，检验两种极性的栅极-源极电压（直流）。

6.2.1.2.2 电路图

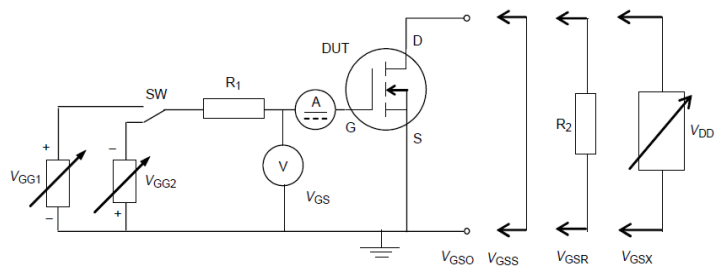


图5 栅极-源极电压试验电路

6.2.1.2.3 电路说明

V_{DD} 、 V_{GG1} 和 V_{GG2} 是直流电压源。 V_{GSX} 仅适用于 V_{GG2} 的栅极反向偏置的情况。

6.2.1.2.4 试验程序

漏极-源极电压设置为规定条件。增加 V_{GG} ，直到在电压表 V_{GS} 上测量的栅极-源极电压达到规定的栅极-源极电压 V_{GS}^* 。在上述测试后，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.2.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 漏极-源极偏置条件；
- 栅极-源极电压：规定栅极-源极电压。

6.2.1.3 栅极-漏极电压（直流）（ V_{GD}^* ）（IEC 60747-8）

6.2.1.3.1 目的

在规定条件下，检验两种极性的栅极-漏极电压（直流）。

6.2.1.3.2 电路图

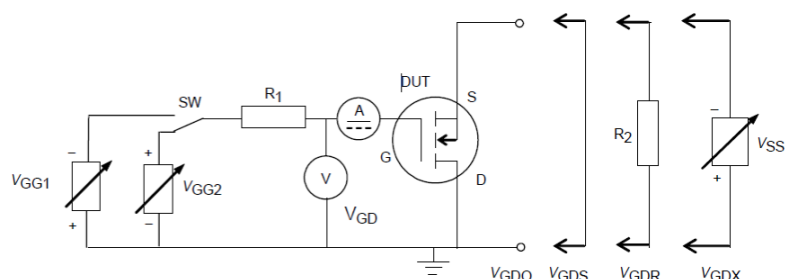


图6 栅极-漏极电压试验电路

6.2.1.3.3 电路说明

V_{SS} 、 V_{GG1} 和 V_{GG2} 是直流电压源。 V_{GDX} 仅适用于 V_{GG2} 的栅极反向偏置的情况。

6.2.1.3.4 试验程序

源极-漏极电压设置为规定条件。增加 V_{GD} ，直到在电压表 V_{DS} 上测量的栅极-漏极电压达到规定的栅极-漏极电压 V_{GD}^* 。在上述测试后，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.3.5 规定条件

- 环境温度、管壳或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 漏极-源极偏置条件；
- 栅极-漏极电压：规定栅极-漏极电压。

6.2.1.4 最大关态漏电流（ I_{DS} ）（适用时）

6.2.1.4.1 目的

在规定条件下，检验最大关态漏电流。

6.2.1.4.2 电路图

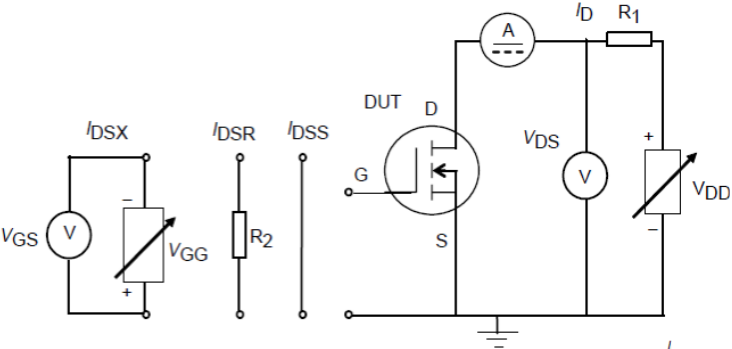


图7 关态漏电流试验电路

6.2.1.4.3 电路说明

V_{DD} 和 V_{GG} 是直流电压源。 R_1 是保护电阻。

6.2.1.4.4 试验程序

增加 V_{DD} ，直到在安培表 A 上测量的关态漏电流 I_{DS} 达到规定的最大值。在上述测试后，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.4.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 栅极-源极偏置条件；
- 栅极-漏极电压：规定栅极-漏极电压。

6.2.1.5 漏极电流 (I_D) (IEC 60747-8)

6.2.1.5.1 目的

在规定条件下，检验 MOSFET 的漏极电流能力不低于最大额定值 I_D 。

6.2.1.5.2 电路图

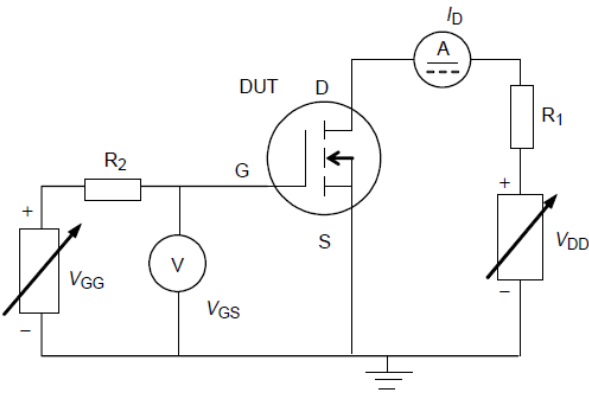


图8 漏极电流试验电路

6.2.1.5.3 电路说明

V_{DD} 和 V_{GG} 是直流电压源。 R_1 是保护电阻。

6.2.1.5.4 试验程序

在栅极施加规定的栅极-源极电压。设定温度 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) 和栅极源电压为规定值并保持在该值。在规定的条件下提供漏极电流。在上述测试之后, 根据表 2 的失效判据, 确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.5.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) ;
- 栅极-源极电压 V_{GS} ;
- 漏电流 I_D 。

6.2.1.6 漏极峰值电流 (I_{DM})

6.2.1.6.1 目的

在规定条件下, 检验漏极峰值电流。

6.2.1.6.2 电路图

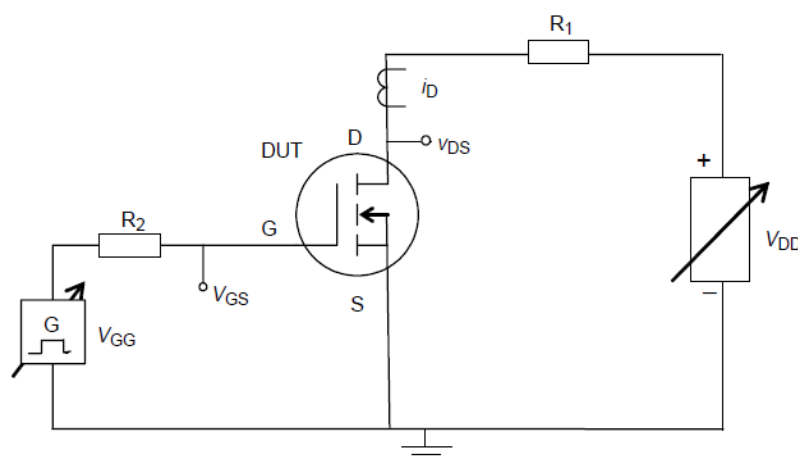


图9 漏极峰值电流试验电路

6.2.1.6.3 电路说明

V_{DD} 是直流电压源, V_{GG} 是栅极脉冲发生器。 R_1 是保护电阻。

6.2.1.6.4 试验程序

在栅极施加规定的栅极-源极电压。设定温度 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) 和栅极源电压为规定值并保持在该值。在规定的条件下传导峰值漏极电流。在上述测试之后, 根据表 2 的失效判据, 确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.6.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) ;

- 栅极-源极电压 V_{GS} ;
- 脉冲宽度和占空比;
- 漏极峰值电流 I_{DM} 。

6.2.1.7 反向漏电流 (I_{DR})

6.2.1.7.1 目的

在规定条件下，检验漏反向漏电流。

6.2.1.7.2 电路图

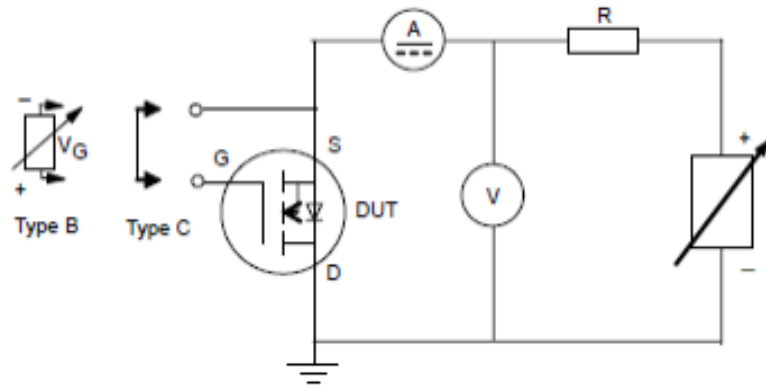


图10 MOSFET反向漏电流试验电路

6.2.1.7.3 电路说明

V_{DD} 是直流电压源， R 是保护电阻。

6.2.1.7.4 试验程序

栅极-源极端按照规定的条件连接。设定温度 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) 和栅极源极电压为规定值并保持在该值。在 MOSFET 处于关断状态时，反向漏极电流传导至 DUT。在上述测试之后，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.7.5 规定条件

- MOSFET 处于关断状态：设定 B 型的栅极保持在关断状态。
- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) ；
- 保护电阻 R ；
- 反向漏极电流 I_{DR} 。

6.2.1.8 漏极峰值反向电流 (I_{DRM})

6.2.1.8.1 目的

在规定条件下，检验漏极峰值反向电流。

6.2.1.8.2 电路图

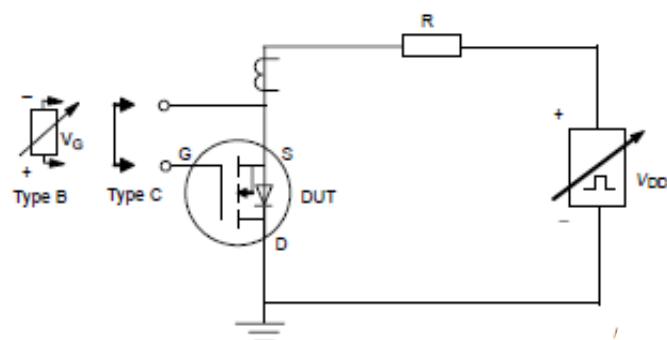


图11 用于测试 MOSFET 漏极峰值反向电流的基本电路

6.2.1.8.3 电路说明

V_{DD} 是可调脉冲宽度和占空比控制的脉冲电压源。 R 是保护电阻。

6.2.1.8.4 试验程序

栅极-源极端按照规定的条件连接。设定温度 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) 和栅极源极电压为规定值并保持在该值。在 MOSFET 处于关断状态时接通 V_{DD} ，将漏极峰值反向电流传导至 DUT。在上述测试之后，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.8.5 规定条件

- MOSFET 处于关断状态；
- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 脉冲宽度和占空比：由脉冲开关单元设置；
- 漏极峰值反向电流 I_{DRM} 。

6.2.1.9 短路电流 (I_{SC})

6.2.1.9.1 目的

在规定条件下，测量器件的短路电流。

6.2.1.9.2 测试电路

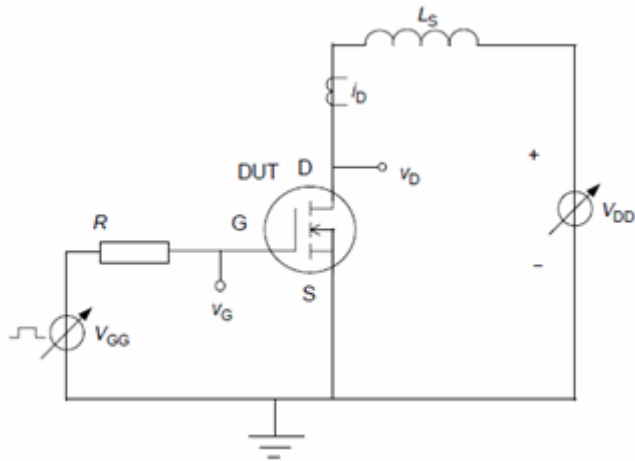


图12 短路电流测量电路

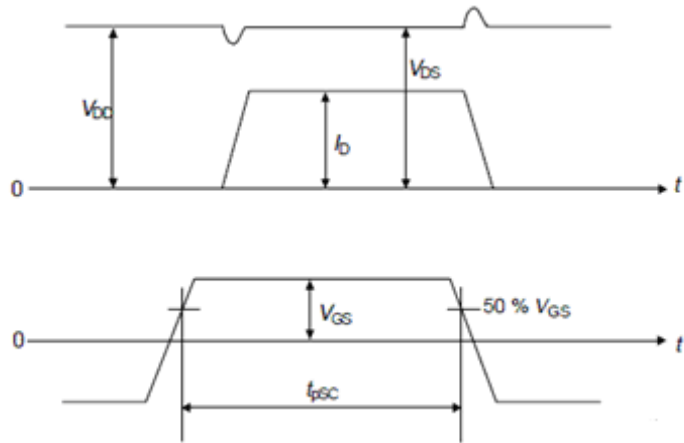


图13 栅-源电压 V_{GS} 、漏极电流 I_D 和漏极电压 V_{DS} 的波形

6.2.1.9.3 电路说明和要求

- L_S ——代表允许的最大杂散电感，它必须足够低以确保在最初的25%栅极脉冲宽度 (t_{pSC}) 内达到最大短路电流；
- V_{DD} ——为可调电压源；
- t_{pSC} ——为栅-源电压的脉冲宽度；
- V_{GG} ——为栅极脉冲发生器；
- R ——为规定的栅极电阻。

6.2.1.9.4 试验程序

温度调到规定值，漏-源电压 V_{DS} (V_{DD}) 调到规定值。栅-源电压 V_{GS} 和脉冲宽度（即短路耐受时间）调到规定值，测得器件的短路电流。经历过短路电流后，通过监测漏极电流 I_D 和 V_{DS} ，以确定 MOSFET 是否正常关断。

6.2.1.9.5 规定条件

- 漏-源电压 $V_{DS} = V_{DD}$;
- 导通态和关态的栅-源电压;
- 栅极脉冲宽度 (t_{pSC});
- 栅极电阻 (R);
- 杂散电感 L_S 的值;
- 参考点温度或等效结温 (T_{vj})。

6.2.1.10 短路耐受时间 (SCWT)

6.2.1.10.1 目的

在规定条件下, 验证器件的短路耐受时间。

6.2.1.10.2 测试电路

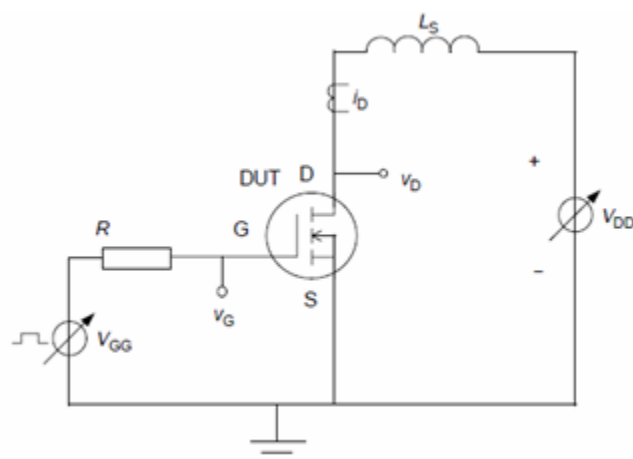


图14 短路电流测量电路

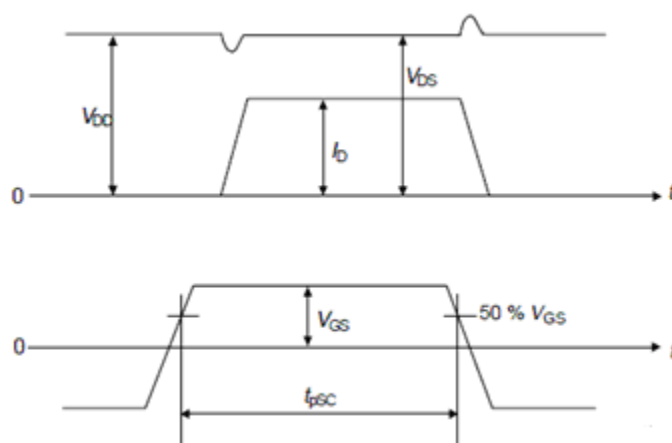


图15 栅-源电压 V_{GS} 、漏极电流 I_D 和漏极电压 V_{DS} 的波形

6.2.1.10.3 电路说明和要求

L_S 代表允许的最大杂散电感, 它必须足够低以确保在最初的 25 % 栅极脉冲宽度 (t_{pSC}) 内达到最大

短路电流。

- V_{DD} ——为可调电压源；
- t_{pSC} ——为栅-源电压的脉冲宽度；
- V_{GG} ——为栅极脉冲发生器；
- R ——为规定的栅极电阻。

6.2.1.10.4 试验程序

温度调到规定值，漏-源电压 V_{DS} (V_{DD}) 保持规定值。设置单脉冲栅-源电压 V_{GS} 和栅极脉冲宽度（即短路耐受时间（SCWT）为规定值，开启栅极单脉冲使得器件发生短路。进行终点测试，验证器件在经历时长为 SCWT 的短路状态后是否损坏。

6.2.1.10.5 规定条件

- 漏-源电压 $V_{DS} = V_{DD}$ ；
- 导通态和关态的栅-源电压；
- 栅极脉冲宽度 (t_{pSC})；
- 栅极电阻 (R_G)；
- 杂散电感 L_S 的值；
- 参考点温度或等效结温 (T_{vj})；
- 终点测试条件。

6.2.1.11 关断电压的上升速率 dv/dt

6.2.1.11.1 目的

在规定条件下，检验 MOSFET 关断电压的上升速率。

6.2.1.11.2 电路图

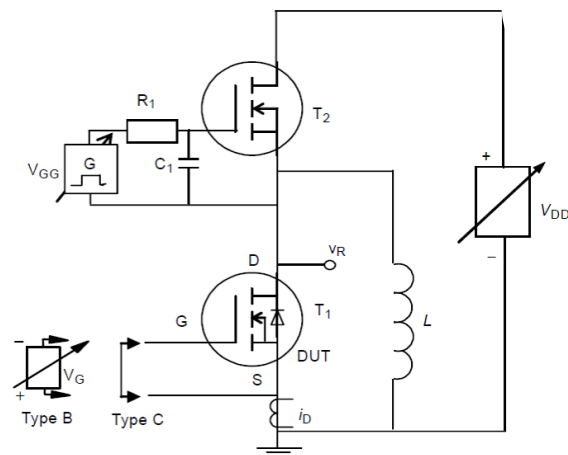


图 16 dv/dt 测试电路

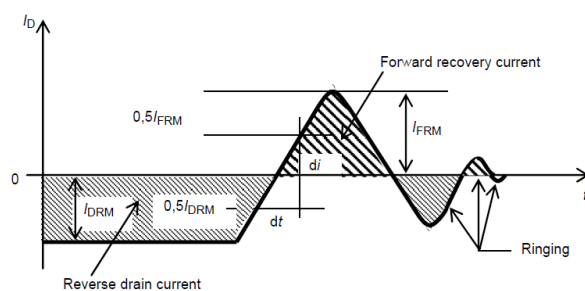


图 17 示例（MOSFET 正向恢复的电流波形）

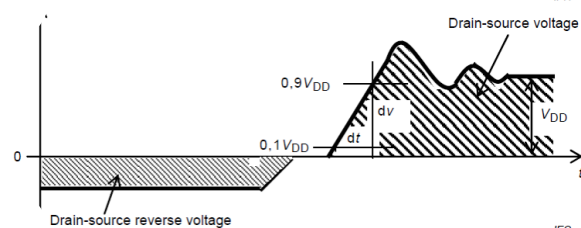


图 18 示例（MOSFET 正向恢复的电压波形）

6.2.1.11.3 电路说明，以及测试期间电流和电压波形的图形表示

V_{DD} 是漏极电压源。 L 是测试过程中维持电流的电感。 T_2 是 MOSFET。栅极脉冲发生器 V_{GG} 调节晶体管 T_2 的栅极驱动条件，以给出 dv/dt 的规定值。图 17 给出了 MOSFET 正向恢复期间电流波形示例图，图 18 给出了 MOSFET 正向恢复期间电压波形示例图。

6.2.1.11.4 试验程序

打开 T_2 ，直到当前电流探头 I_D 测量的电流达到 I_{DR} 的规定值。然后，关闭 T_2 ，直到 DUT 完全反向导通。 T_2 被第二次开启，并且在电压探头 V_R 测量跨 DUT 的电压波形。在上述测试之后，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.1.11.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- 反向漏极电流 I_{DR} ；
- 漏极电压源 V_{DD} ；
- 晶体管 T_2 的栅极驱动条件；
- 规定的 DUT 的栅极关闭条件。

6.2.2 安全工作区

6.2.2.1 正向偏置安全工作区（FBSOA）（IEC 60747-8）

6.2.2.1.1 目的

在规定的非感性负载的条件下，检验正向偏置安全工作区域。

6.2.2.1.2 电路图

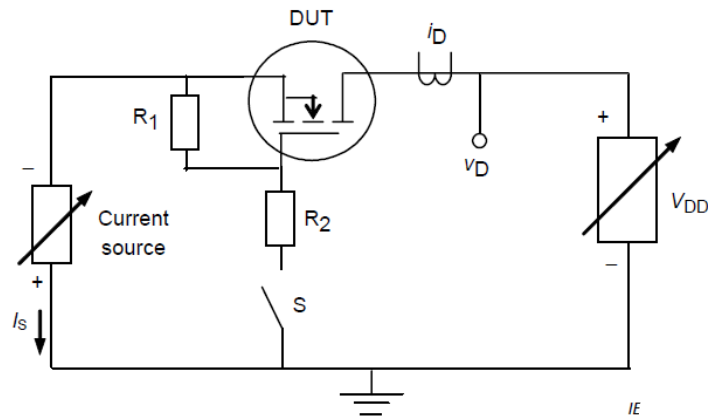


图19a FBSOA 试验电路图

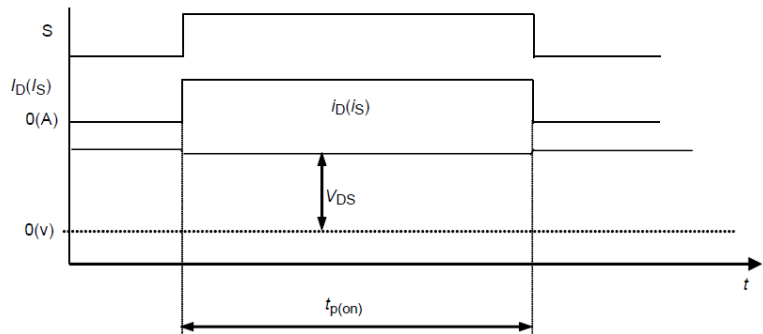


图19b 用于验证 FBSOA 的脉冲序列波形

6.2.2.1.3 电路说明

- V_{DD} —— 可调电压源；
- S —— 获得指定电流脉冲序列的机械或电子开关；
- I_S —— 可调电流发生器的源极电流。

6.2.2.1.4 试验程序

设定温度为规定值。当开关以规定的脉冲宽度和占空比工作时，调节 V_{DD} 和 I_S ，直到达到 V_{DS} 和 I_D 的规定脉冲值。在以上工作条件下，DUT 适用于规定的脉冲条件下工作。根据前述测量结果获得 FBSOA 评级的验证。

6.2.2.1.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) ；
- 漏极-源极电压 V_{DS} ；
- 漏极电流 I_D ；
- 适当的脉冲宽度 $T_{p(on)}$ ，占空比 δ ，脉冲数；
- 如果 R_2 不是 $1.0\text{ k}\Omega$ （需单独规定）。

6.2.2.2 反向偏置安全操作区域（RBSOA）（IEC 60747-8）

6.2.2.2.1 目的

在规定的感性负载的条件下，检验反向偏置安全工作区域。

6.2.2.2.2 电路图

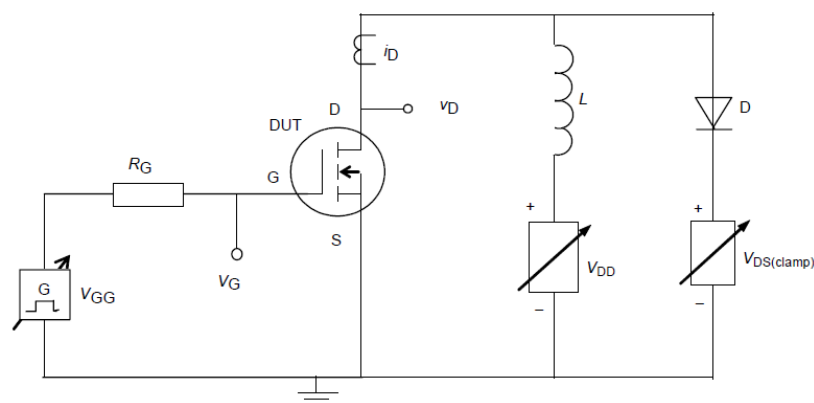


图20 反向偏置安全工作区（RBSOA）的试验电路

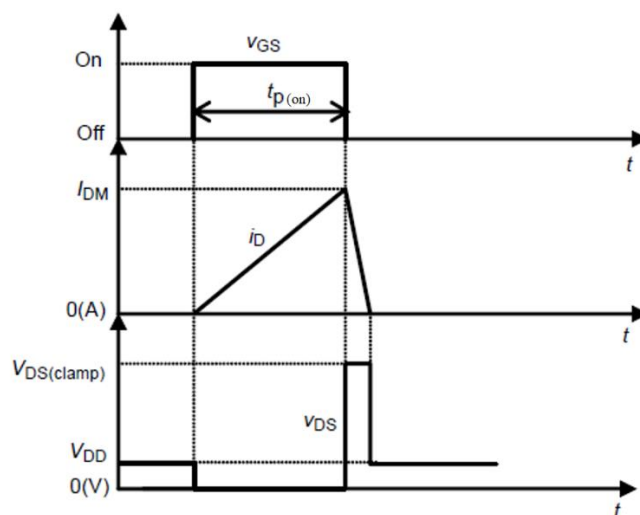


图21 用于验证FBSOA的测试波形

6.2.2.2.3 电路说明和要求

- D ——钳位二极管；
- L ——感性负载；
- V_{DD} ——可调电压源；
- $V_{DS(clamp)}$ ——钳位电压的可调电压源；
- t_p ——栅极-源极电压脉冲宽度；
- V_{GG} ——栅极脉冲发生器；
- R_G ——按照规定。

6.2.2.2.4 试验程序

DUT 在规定的 I_D 关断。

监测 V_{DS} 和 $I_S(I_D)$ 。DUT 必须关断 I_D 并承受 $V_{DS} = V_{DS(\text{clamp})}$ 。

注：漏极-源极峰值电压 $V_{DSM} < V_{(BR)DS^*}$ 。

设定温度 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) 和栅极源电压为规定值并保持在该值。

在这些工作条件下，DUT 在规定的测试持续时间内或在规定的脉冲数下工作（适用时）。

根据前述测量结果获得 FBSOA 评级的验证，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

如果在测试期间的任何瞬间，漏极-源极电压在电流脉冲下降期间消失或振荡，则认为该器件是有缺陷的。

6.2.2.2.5 规定条件

- 漏极电流 I_D ；
- 栅极反向电压-关断前后的 V_{GS} ；
- 漏极-源极电压 $V_{DS(\text{clamp})}$ ；
- 脉冲数，如果大于 1，则脉冲宽度和占空比；
- 电感 L ；
- 管壳温度、环境温度、或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) (T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 栅极电阻 R_G 。

6.2.2.3 短路安全工作区域 (SCSOA)

6.2.2.3.1 目的

该测试用于检验 MOSFET 在负载短路条件下可靠运行而不失效。一种是 MOSFET 处于通态时发生短路，一种是在短路状态时，开通 MOSFET，下面描述对后一种情况的试验。

6.2.2.3.2 电路图

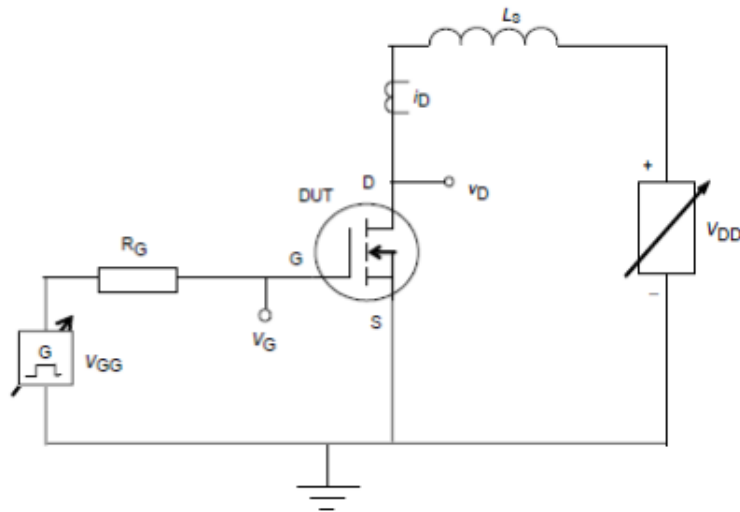


图22 负载短路时，安全工作脉冲宽度的试验电路

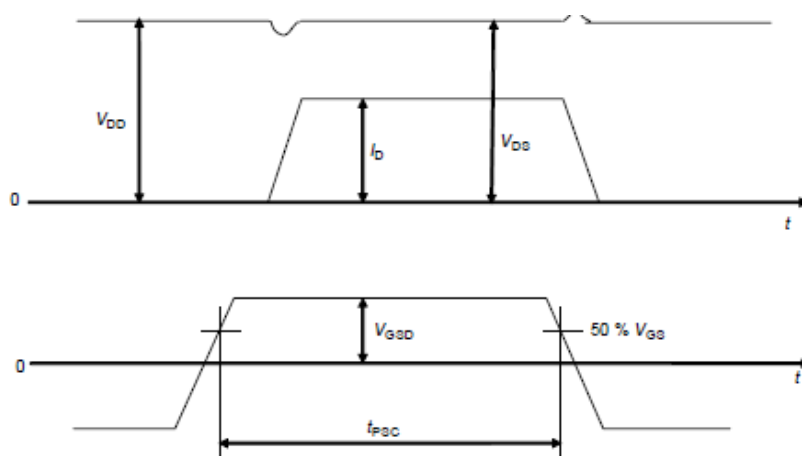


图23 负载短路（SCSOA1）期间的栅极-源极电压 V_{GS} ，漏极电流 I_D 和电压 V_{DS} 的波形

6.2.2.3.3 电路说明和要求

L_S ——表示允许的最大杂散电感；它必须足够低，以使栅极脉冲宽度 t_{PSC} 的第一个 25 % 内达到最大短路电流；

L_S ——杂散电感；

V_{DD} ——可调电压源；

t_{PSC} ——栅极-源极电压脉冲宽度；

V_{GG} ——栅极脉冲发生器；

R_G ——规定的栅极电阻。

6.2.2.3.4 试验程序

设定温度为规定值。设定栅极-源极电压 V_{GS} 和脉冲宽度设置为规定值。设定漏极-源极电压 V_{DS} 为规定值。监测漏极电流 I_D 和 V_{DS} ，以观察 MOSFET 是否正确地开通和关断。在上述测试之后，根据表 2 的失效判据，确认 DUT 的特性是否正常。

6.2.2.3.5 规定条件

- 漏极-源极电压 $V_{DS} = V_{DD}$ ；
- 通态和断态时的栅极-源极电压；
- 栅极脉冲宽度 t_{PSC} ；
- 栅极电阻 R_G ；
- 杂散电感 L_S 的值；
- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）。

6.2.3 雪崩能量

6.2.3.1 重复雪崩能量（ E_{AR} ）

6.2.3.1.1 目的

检验非钳位感性开关电路中的重复雪崩能量。

6.2.3.1.2 电路图和波形

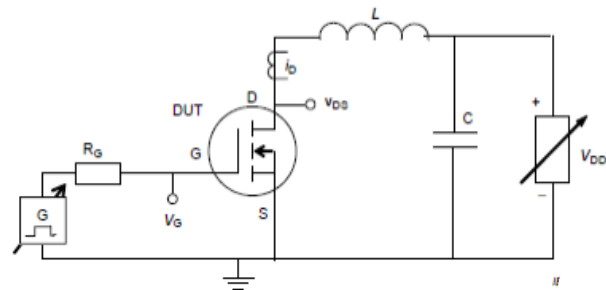


图24 非钳位感性雪崩开关电路

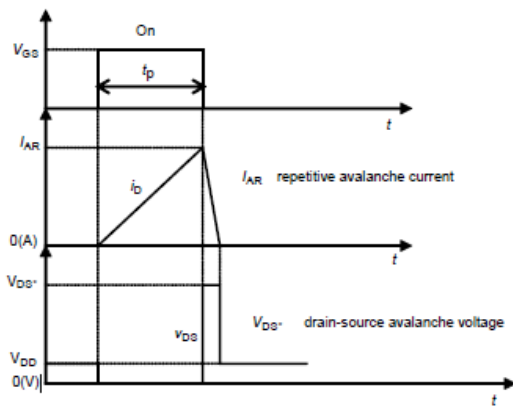


图25 非钳位感性开关期间 I_D , V_{DS} 和 V_{GS} 的波形

6.2.3.1.3 电路说明和要求

- L —— 感性负载；
- V_{DD} —— 可调电压源；
- R_G —— 规定的栅极电阻。

6.2.3.1.4 试验程序

设定温度为规定值。设定电源电压 (V_{DD}) 为规定值。

调整 MOSFET 的开通时间, 使其达到规定的雪崩电流。在这些工作条件下, DUT 以规定的脉冲数和重复率工作。传递给 DUT 的能量可以计算如下:

$$E_{AR} = 1/2LI_{AR}^2V_{DS}/(V_{DS} - V_{DD})$$

在上述测试之后, 根据表 2 的失效判据, 确认 DUT 的特性是否正常。在测试完成后, DUT 应在所有规定的参数限制范围内。 V_{DS} 的测量值应大于或等于允许的雪崩电流 I_{AR} 的情况下的最小击穿电压 $V_{(BR)DS}$ 。

注: 当 V_{DD} 设定为与 V_{DS} 相比足够小的值时, E_{AR} 通过使用近似方程式计算得出。

$$E_{AR} = 1/2LI_{AR}^2$$

6.2.3.1.5 规定条件

- 环境温度、管壳温度或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj}) ;

- 漏极电压 V_{DD} ;
- 栅极-源极电压 V_{GS} ;
- 漏极电流 I_D ;
- 电感 L ;
- 频率 f 。

6.2.3.2 非重复雪崩开关能量 (E_{AS})

6.2.3.2.1 目的

检验非重复雪崩开关能量。

6.2.3.2.2 电路图和波形

见图 26。

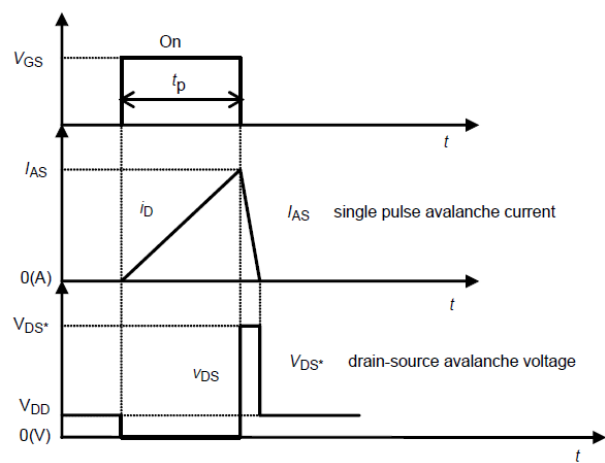


图26 非重复雪崩开关的 I_D 、 V_{DS} 和 V_{GS} 波形

6.2.3.2.3 电路说明和要求

- L ——感性负载;
- V_{DD} ——可调电压源;
- R_G ——规定的栅极电阻。

6.2.3.2.4 试验程序

设定温度为规定值。设定电源电压 (V_{DD}) 为规定值。

调整 MOSFET 的开通时间, 使其达到规定的雪崩电流。在这些工作条件下, DUT 以单脉冲的形式工作。传递给 DUT 的能量可以计算如下:

$$E_{AR} = 1/2LI_{AR}^2V_{DS}/(V_{DS} - V_{DD})$$

在上述测试之后, 根据表 2 的失效判据, 确认 DUT 的特性是否正常。在测试完成后, DUT 应在所有规定的参数限制范围内。 V_{DS}^* 的测量值应大于或等于允许的雪崩电流 I_{AR} 的情况下的最小击穿电压 $V_{(BR)DS}$ 。

注: 当 V_{DD} 设定为与 V_{DS} 相比足够小的值时, E_{AR} 通过使用近似方程式计算得出。

$$E_{AR} = 1/2LI_{AR}^2$$

6.2.3.2.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- 漏极电压 V_{DD} ；
- 栅极-源极电压 V_{GS} ；
- 漏极电流 I_D ；
- 电感 L ；
- 频率 f 。

6.3 测量方法

6.3.1 漏极-源极的击穿电压（ $V_{(BR)DS}$ ）

6.3.1.1 目的

在规定的条件下，测量漏极-源极击穿电压。

6.3.1.2 电路图

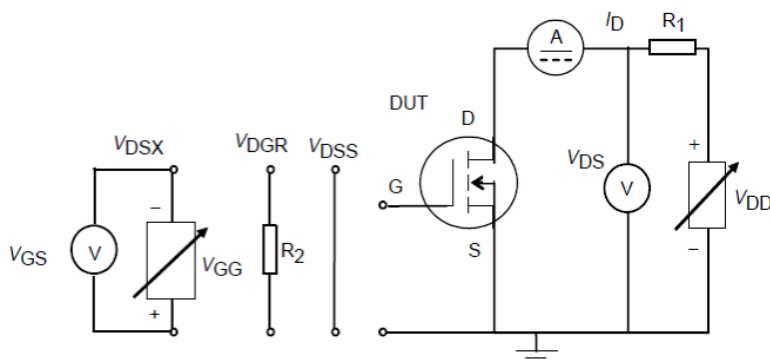


图27 测量漏极-源极击穿电压的电路图

6.3.1.3 电路说明和要求

V_{DD} 和 V_{GG} 是直流电压源。 R_1 是保护电阻。

6.3.1.4 测量程序

设定栅极-源极为规定条件。增加 V_{DD} ，直到在安培表 A 上测量的关态漏电流 I_{DS} 达到规定的最大值。在电压表 V_{DS} 上测量击穿电压。

6.3.1.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- 栅极-源极偏置条件；
- 漏极最大关态电流 I_{DS} ，最大值。

6.3.2 栅极-源极关断状态电压（ $V_{GS(off)}$ ）（B 型）

栅极-源极阈值电压 ($V_{GS(th)}$) (C型)。

6.3.2.1 目的

在规定的条件下，测量栅极-源极关断状态电压。

6.3.2.2 电路图

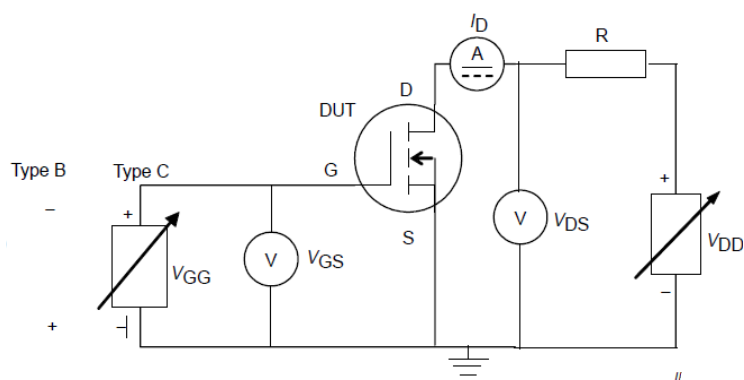


图28 用于测量栅极-源极关断状态电压和栅极-源极阈值电压的电路图

6.3.2.3 电路说明和要求

V_{DD} 和 V_{GG} 是直流电压源。 R 是保护电阻。

6.3.2.4 测量程序

施加规定的漏极-源极电压。调节栅极-源极电压使漏极电流达到规定值。由 V_{GS} 测量的电压分别是栅极-源极关断状态电压（类型B），栅极-源极阈值电压（类型C）。

6.3.2.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 漏极-源极电压；
- 漏极电流 I_D 。

6.3.3 漏极泄漏电流(I_{DS*})

注：* = R、S 或 X。

6.3.3.1 目的

在规定的条件下，测量漏极泄漏（或断态）电流（直流） I_{DS*} 。

6.3.3.2 电路图

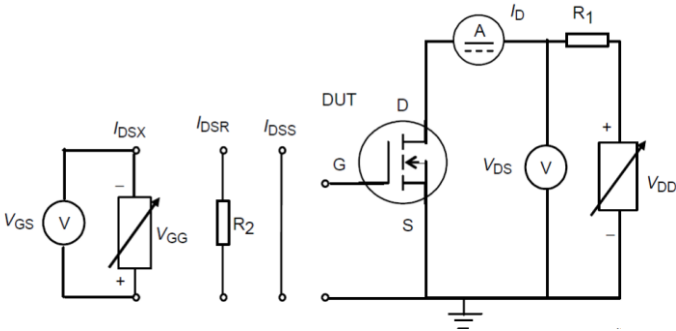


图29 漏极泄漏（或断态）电流测量电路图

6.3.3.3 电路说明和要求

V_{DS} 和 V_{GG} 是直流电压源。 R_1 是保护电阻。

6.3.3.4 测量程序

设定栅极-源极为规定的偏置条件。增加 V_{DD} ，直到电压表 V_{DS} 测量的漏极-源极电压达到规定值。漏极泄漏（或关断状态）电流 I_D 在电流表上测量。

6.3.3.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- 栅极-源极偏置条件：
 - SX：施加栅极-源极电压；
 - SR：电阻连接在栅极和源极之间（ R_2 值）；
 - SS：栅极-源极短路；
- 漏极-源极电压：不大于击穿电压。

6.3.4 栅极泄漏电流（ I_{GS} ）

6.3.4.1 目的

在规定的条件下，测量栅极泄漏电流。

6.3.4.2 电路图

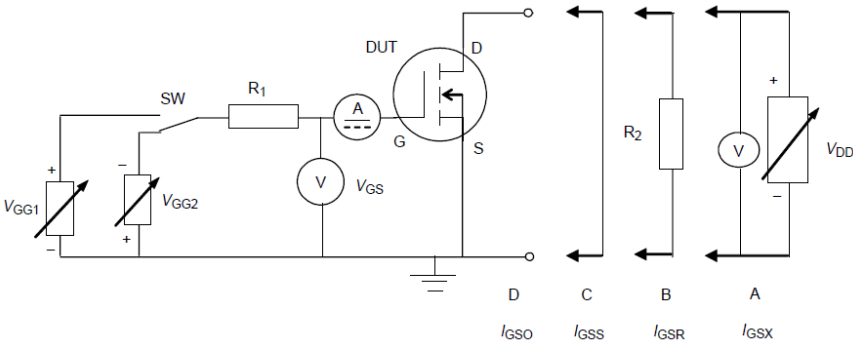


图30 栅极泄漏电流测量电路图

6.3.4.3 电路说明和要求

整个电路应置于静电屏蔽之中。

6.3.4.4 测量程序

设定漏极-源极为规定的偏置条件。增加 V_{GG} ，直到电压表 V_{GS} 上测得的栅极-源极电压达到规定的栅-源电压 V_{GS*} 。栅极泄漏电流在电流表 A 上测量。

6.3.4.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温(T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 漏极-源极偏置条件：见 6.3.3。条件“A”仅适用于反向偏置 V_{GG2} 的情况；
- 栅极-源极电压。

6.3.5 （静态）漏极-源极开通电阻 ($R_{DS(on)}$) 或漏极-源极开通电压 ($V_{DS(on)}$)

6.3.5.1 目的

在规定的可忽略的耗散条件下，测量漏极-源极开通电阻或漏极-源极开通电压。

6.3.5.2 电路图

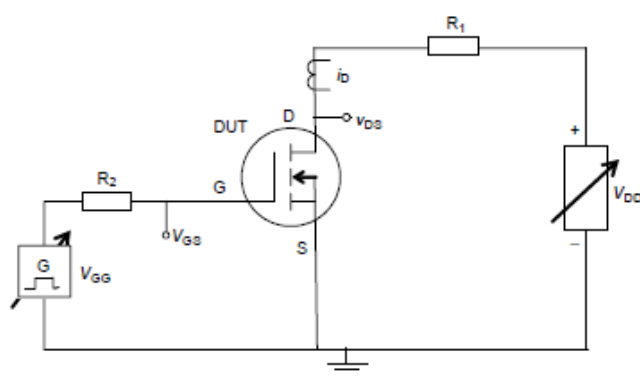


图31 测量开通电阻的基本电路

6.3.5.3 电路说明和要求

V_{GG} 是栅极脉冲发生器， V_{DD} 是可变电压源，提供漏极-源极电流。 R_1 是保护电阻。

6.3.5.4 测量程序

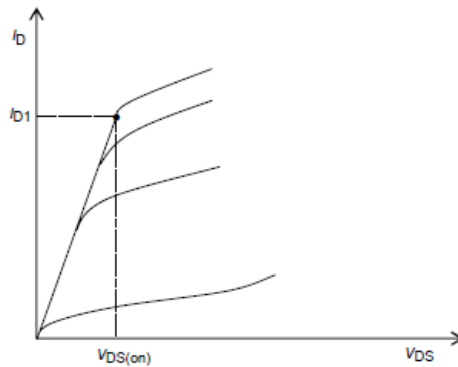


图32 通态电阻

将器件插入测试插座，并将温度调节至规定值。设定 V_{GS} 为规定值。在开通状态漏极电流-电压曲线的线性部分范围内施加漏极电流 I_D 脉冲（见图 32），测量 I_{D1} 和 $V_{DS(on)}$ 的值。

从如下公式计算 $R_{DS(on)}$ ：

$$R_{DS(on)} = V_{DS(on)} / I_{D1}$$

6.3.5.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- 漏极-源极电压或漏极电流；
- 栅极-源极电压。

6.3.6 漏极-源极峰值通态电压（ $V_{DSM(on)}$ ）

6.3.6.1 目的

在规定的条件下，测量漏极-源极峰值通态电压。

6.3.6.2 电路图

见图 27。

6.3.6.3 电路说明和要求

V_{GG} 是栅极脉冲发生器， V_{DD} 是可变电压源，提供漏极-源极电流。 R_1 是保护电阻。

6.3.6.4 测量程序

将器件插入测试插座，并将温度调节至规定值。施加规定的栅极-源极电压脉冲到栅极。调节电压 V_{DD} 以提供规定的漏极峰值电流。通过电压探头测量 V_{DS} 监测点的峰值通态电压。

6.3.6.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温(T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 栅极-源极电压 V_{GS} ；
- 持续时间，工作周期；
- 漏极峰值电流 I_{DM} 。

6.3.7 开关时间 ($t_{d(on)}$, t_r , $t_{d(off)}$ 和 t_f)

6.3.7.1 目的

在规定的条件下, 测量开通和关断期间的开关时间。

6.3.7.2 通则

在实际布局中, 应尽量减小寄生杂散电感。除非另有说明, 否则使用共源结构。

6.3.7.3 电路图和波形

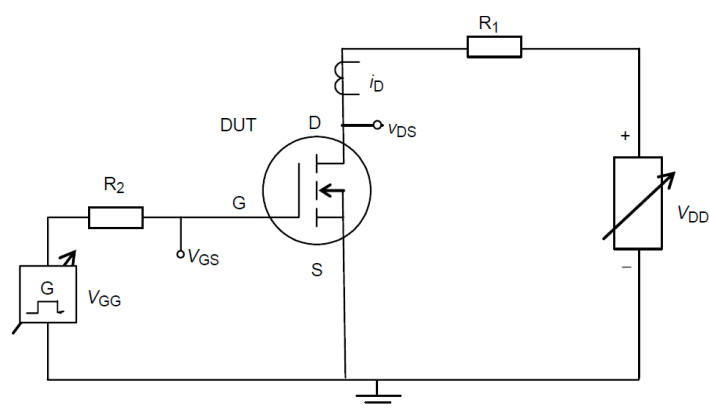


图33 开关时间的电路图

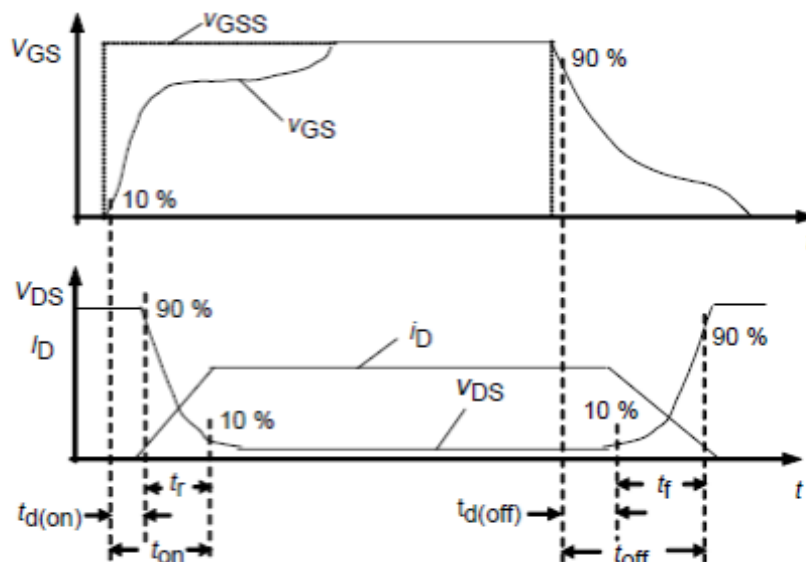


图34 开关波形和时间原理图

6.3.7.4 电路说明和要求

V_{GG} 是矩形脉冲发生器, 其内阻与栅极电阻 R_2 相比较小。发生器输出脉冲的上升时间应小于 $0.1 \times R_2 \times C_{iss}$, 其中 C_{iss} 是被测 MOSFET 的输入电容。 R_1 是负载电阻。

6.3.7.5 测量程序

设定栅极电压脉冲宽度 V_{GG} 和漏极-源极电源电压 V_{DD} 为规定值。监测漏极-源极电压 V_{DS} 和栅极-源极电压 V_{GS} 的波形，并按照 IEC 60747-1 的定义，根据图 34 测量开通和关断时间。

6.3.7.6 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温 (T_a 、 T_c 或 T_{vj})；
- 漏极-源极电压 V_{DS} ；
- 开通和关断后栅极-源极电压 V_{GS} 的脉冲形状；
- 栅极脉冲宽度，脉冲上升和脉冲下降时间，持续时间；
- 电阻 R_1 ， R_2 。

6.3.8 开通功耗 (P_{on})，开通能量 (每脉冲) (E_{on})

6.3.8.1 目的

在规定的感性负载的条件下，测量 DUT 的开通功率耗散和/或每个脉冲的导通能量。

6.3.8.2 通则

在实际布局中，应尽量减少寄生杂散电感。

6.3.8.3 电路图

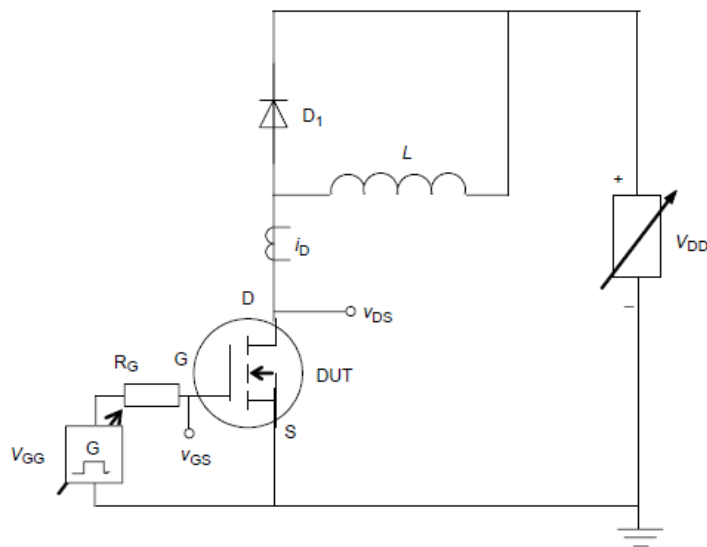


图35 用于测量开通和关断功耗和/或能量的电路

6.3.8.4 电路说明和要求

V_{GG} 是矩形脉冲发生器，其内阻与栅极电阻 R_G 相比较小。发生器输出脉冲的上升时间应小于 $0.1 \times R_G \times C_{iss}$ ，其中 C_{iss} 是被测 MOSFET 的输入电容。 D_1 是规定的续流二极管， L 是负载电感。

6.3.8.5 测量程序

设定栅极电压脉冲宽度 V_{GG} 和漏极-源极电压源 V_{DD} 为规定值。监测漏极电流 I_D 和漏极-源极电压 V_{DS} 的波形。单脉冲的开通能量为随时间变化的两个量值乘积的积分。任何重复频率下的开通功率耗散都是该频率与单脉冲开通能量的乘积（由积分确定）。

6.3.8.6 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- V_{DS} 导通之前的漏极-源极电压；
- 开通后的漏极电流 I_D ；
- 电阻 R_G ；
- 开通和关断后栅极-源极电压 V_{GS} 的脉冲形状；
- 栅极-源极电压脉冲形状：宽度，上升时间，持续时间；
- 续流二极管 D_1 的特性（续流二极管的型号）。

6.3.9 关断功率耗散（ P_{OFF} ），关断能量（每脉冲）（ E_{OFF} ）

6.3.9.1 目的

在规定的感性负载的条件下，测量单脉冲DUT的关断功率耗散和/或关断能量。

6.3.9.2 通则

在实际布局中，应尽量减少寄生电感。

6.3.9.3 电路图

见图 35。

6.3.9.4 电路说明和要求

V_{GG} 是矩形脉冲发生器，其内阻与栅极电阻 R_G 相比较小。发生器输出脉冲的上升时间应小于 $0.1 \times R_G \times C_{iss}$ ，其中 C_{iss} 是被测 MOSFET 的输入电容。 D_1 是规定的续流二极管， L 是负载电感。

6.3.9.5 测量程序

设定栅极电压源幅值 V_{GG} 和漏极-源极电压源幅值 V_{DD} 为规定值。监测漏极电流 I_D 和漏极-源极电压 V_{DS} 的波形，如图 2 所示。单脉冲的关断能量为随时间变化的两个量值乘积的积分。任何重复频率下的关断功率耗散都是该频率与单脉冲关断能量的乘积（由积分确定）。

6.3.9.6 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）；
- 关断前的漏极峰值电流 I_D ；
- V_{DS} 关断之后的漏极-源极电压；
- 负载电感 L ；
- 栅极-源极电路中的电阻 R_G ；

- 开通和关断后栅极-源极电压 V_{GS} 的脉冲形状；
- 栅极电压脉冲：宽度，上升时间，持续时间。

6.3.10 栅极电荷 (Q_G , Q_{GD} , $Q_{GS(th)}$, $Q_{GS(pl)}$)

6.3.10.1 目的

在规定的条件下，测量 DUT 的栅极电荷。

6.3.10.2 电路图

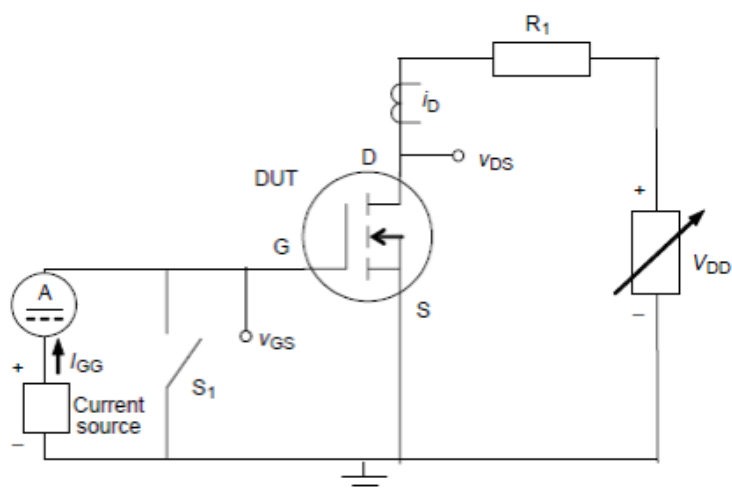


图36 测量栅极电荷的电路图

6.3.10.3 电路说明和要求

I_{GG} 是恒定电流源。 S_1 是控制栅极电流脉冲宽度的开关（见图3）。

6.3.10.4 测量程序

在 t_0 时，打开开关 S_1 ，并且当开关 S_1 闭合时，栅极以恒定电流馈电，直到栅极-源极电压达到规定的恒定值。然后，可以使用 3.3.16.1 至 3.3.16.4 中定义的表达式计算总栅极电荷、栅极-源极电荷和栅极-漏极电荷。

6.3.10.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度、或结温 (T_a 、 T_c)；
- 漏极电流 I_D ；
- 源极-漏极电压 V_{DS} ；
- 栅极电流 I_{GG} 。

6.3.11 共源短路输入电容 (C_{iss}) (IEC 60747-8)

6.3.11.1 目的

在规定的条件下，测量 MOSFET 的输入电容。

6.3.11.2 电路图

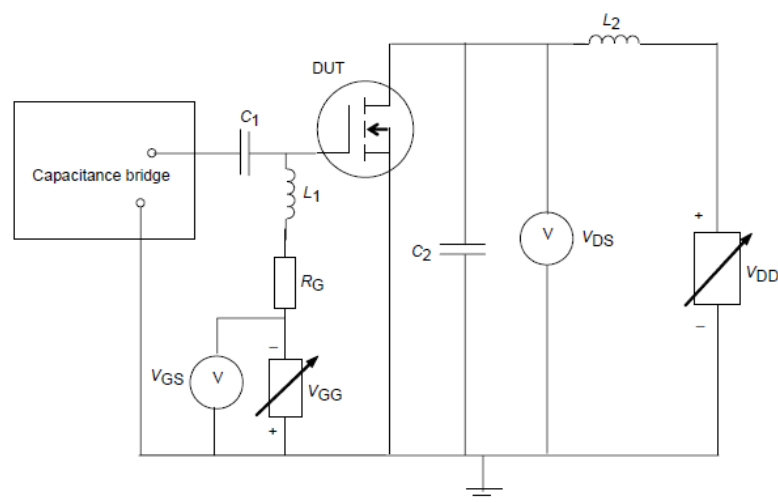


图37 测量短路输入电容的基本电路

6.3.11.3 电路说明和要求

电容 C_1 和 C_2 对测量频率呈现短路，满足以下条件。在测量频率下， L_1 和 R_G 的阻抗应足够大，以免影响测量值：

$$1/\omega L_1 \ll |y_{is}| \text{ 和 } \omega C_1 \ll |y_{is}|$$

$$1/\omega L_2 \ll |y_{os}| \text{ 和 } \omega C_2 \ll |y_{os}|$$

6.3.11.4 测量程序

在测量插座无器件的状态下，对电桥进行零点调整。将 DUT 插入测量插座，调整 V_{DS} 和 V_{GS} 到规定值。电桥重新平衡之后，电容的读数与测量插座中未插入器件的电容读数之差即为 C_{iss} 的值。

6.3.11.5 规定条件

- 漏极-源极电压 V_{DS} ；
- 栅极-源极电压 V_{GS} ；
- 测量频率 f ；
- 管壳温度、环境温度、或结温（ T_a 、 T_c 或 T_{vj} ）。

6.3.12 共源短路输出电容（ C_{oss} ）（IEC 60747-8）

6.3.12.1 目的

在规定的条件下，测量短路输出电容。

6.3.12.2 电路图

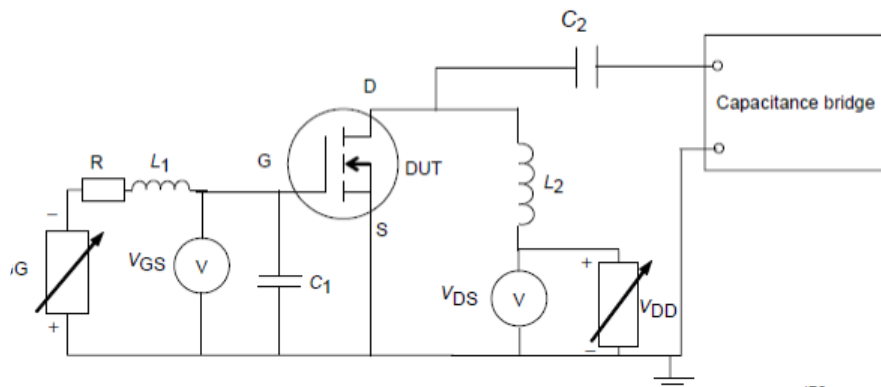


图38 测量短路输出电容 C_{oss} 的基本电路

6.3.12.3 电路说明和要求

由于电桥的应用，因此测试可以使零位法， C_2 应远大于 C_{oss} ， ωC_1 远大于 $|y_{is}|$ 。 L_1 ， L_2 的阻抗应足够高，以便调整电桥进行补偿。

$$1/\omega L_1 \ll |y_{is}| \text{ 和 } \omega C_1 \ll |y_{is}|$$

$$1/\omega L_2 \ll |y_{os}| \text{ 和 } \omega C_2 \ll |y_{os}|$$

6.3.12.4 测量程序

在测量插座无器件的状态下，对电桥进行零点调整。将 DUT 插入测量插座，调整 V_{DS} 和 V_{GS} （或 I_D ）为规定值。电桥重新平衡，调整后的电容读数与测量插座中未插入器件的电容读数之差即为 C_{oss} 的值。

6.3.12.5 规定条件

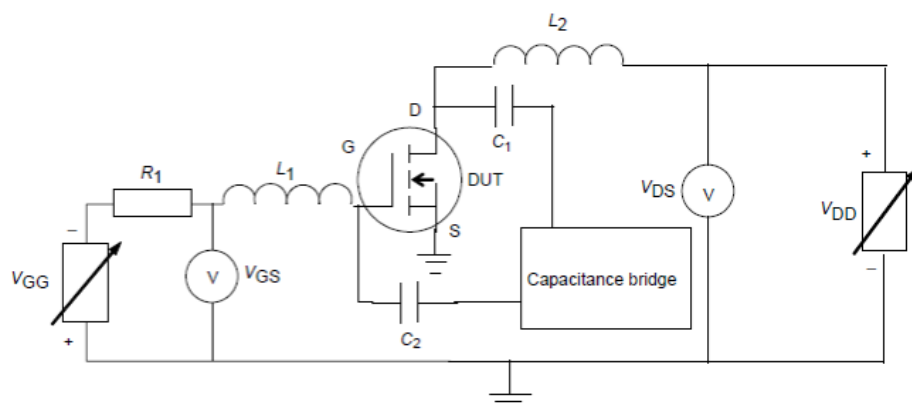
- 漏极-源极电压 V_{DS} ；
- 栅极-源极电压 V_{GS} ；
- 测量频率 f ；
- 管壳温度、环境温度 (T_a 、 T_c)。

6.3.13 共源短路反向转移电容 (C_{rss})

6.3.13.1 目的

在规定的条件下，测量反向传输电容。

6.3.13.2 电路图

图39 测量反向转移电容 C_{rss} 的基本电路

6.3.13.3 电路说明和要求

电容 ωC_1 应远大于 $|y_{is}|$, ωC_2 远大于 $|y_{os}|$ 。电阻 R_1 的值不应太高。通过适当的电感 L_1 、 L_2 进行分流。在测量频率下, L_1 和 R_G 的阻抗应足够大, 以免影响测量值。

6.3.13.4 测量程序

在测量插座无器件的状态下, 对电桥进行零点调整。将 DUT 插入测量插座, 调整 V_{DS} 和 V_{GS} (或 I_D) 为规定值。待测量插座重新达到平衡; 调整后的电容读数与测量插座中没有器件的电容读数之差产生 C_{rss} 的值。

6.3.13.5 规定条件

- 漏极-源极电压 V_{DS} ;
- 栅极-源极电压 V_{GS} ;
- 测量频率 f ;
- 管壳温度、环境温度 (T_a 、 T_c)。

6.3.14 栅极内阻 (R_g)

6.3.14.1 目的

在规定的条件下, 测量 DUT 的栅极内阻。

6.3.14.2 电路图

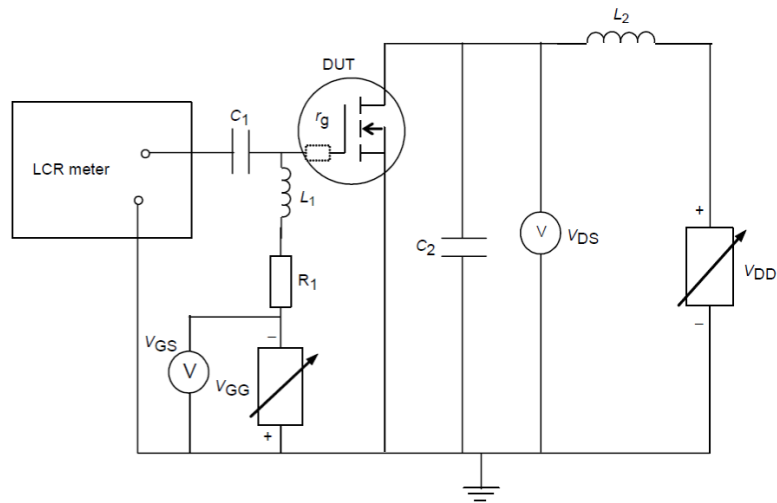


图 40 测量短路栅极内阻的电路

6.3.14.3 电路说明和要求

由于 LCR 表的应用，因此测试可以使用零位法。 C_2 应远大于 C_{oss} ， ωC_1 远大于 $|y_{is}|$ 。 L_1 ， L_2 的阻抗应足够高，以便调整电桥进行补偿。

$$1/\omega L_1 \ll |y_{is}| \text{ 和 } \omega C_1 \ll |y_{is}|$$

$$1/\omega L_2 \ll |y_{os}| \text{ 和 } \omega C_2 \ll |y_{os}|$$

6.3.14.4 测量程序

设定 DUT 的漏源电压 (V_{DS}) - 栅源电压 (V_{GS}) 为规定值，然后，用 LCR 表串联电容 (C) / 电阻 (R_1) 模式测量内部栅极电阻 R_g 。

6.3.14.5 规定条件

- 漏极-源极电压 V_{DS} ;
- 栅极-源极电压 V_{GS} ;
- 测量频率 f ;
- 管壳温度、环境温度 (T_a 、 T_c)。

6.3.15 MOSFET 正向恢复时间 (t_{fr}) 和 MOSFET 正向恢复电荷 (Q_f)

6.3.15.1 目的

在规定的条件下，测量测量 MOSFET 正向恢复时间 (t_{fr}) 和 MOSFET 正向恢复电荷 (Q_f)。

6.3.15.2 电路图

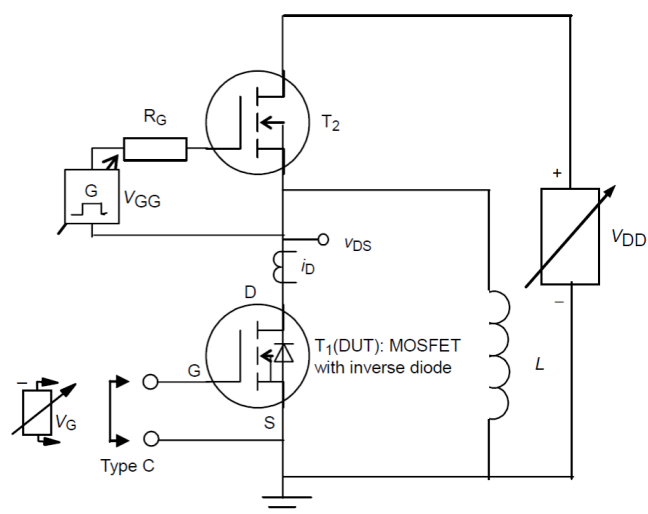


图 41 测量 MOSFET 正向恢复时间和恢复电荷的电路图

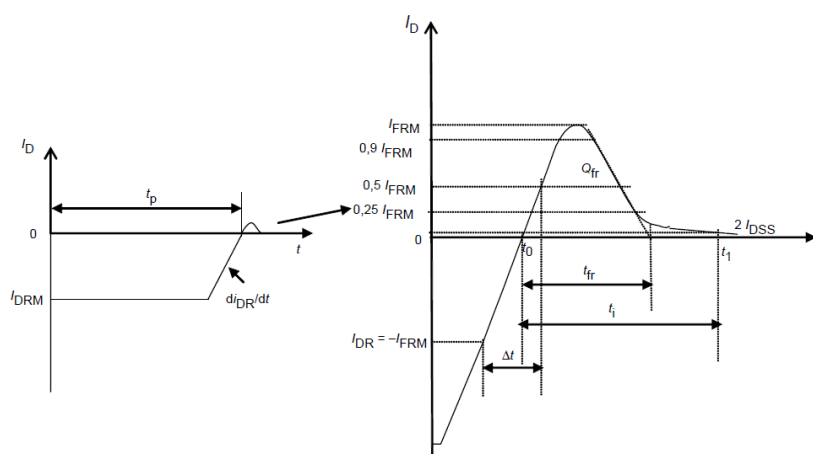


图 42 通过 MOSFET 的电流波形

6.3.15.3 电路说明和要求

V_{DD} 是直流电压源, V_{GG} 是栅极脉冲发生器, 用于开通和关断 MOSFET T_2 。L 是负载电感。Inverse diode is integrated in MOSFET T_1 (DUT). 体二极管集成在 MOSFET T_1 (DUT) 中。MOSFET T_1 的反向漏极电流 d_{iDR} / dt 的变化率可以通过栅极电压 V_{GG} 和/或 R_G 的值来控制。

6.3.15.4 测量程序

开通和关断 MOSFET T_2 两次, 观测其第二次开通。监测 T_2 的电流 I_D 和电压 V_{DR} 的波形。恢复电荷测量为:

$$Q_f = \int_{t_0}^{t_0+t_i} i_D \cdot dt$$

其中:

t_0 是电流通过零点的时刻;

t_i 是积分时间;

积分结束时间 t_i 是正向漏极电流达到 $2 \times I_{DSS}$ 的时刻, 最好等于规定的最大值 t_{fr} ;

Δt 可以通过 MOSFET T_2 驱动条件调节, 例如 V_G 和 / 或 R_G 。

6.3.15.5 规定条件

- 管壳温度、环境温度(T_a 、 T_c);
- 漏极反向电流 I_{DR} ;
- 漏极电流的变化率 (di_{DR}/dt);
- 积分时间 t_i (用于恢复电荷测量);
- MOSFET T_1 应通过栅极-源极短路或反偏而处于关断状态。

6.3.15.6 方法 2-电路图和波形

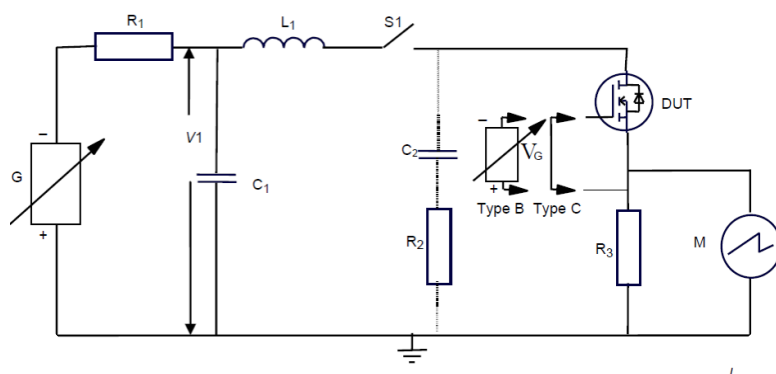


图 43 测量 MOSFET 正向恢复时间和恢复电荷的电路图 (方法 2)

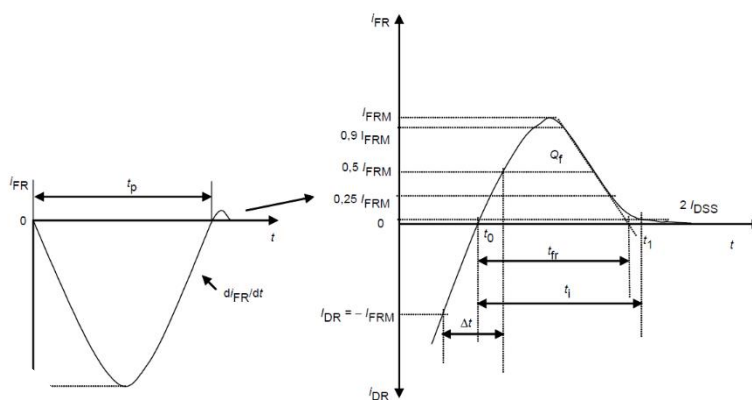


图 44 通过 MOSFET 的电流波形

6.3.15.7 电路说明和要求

G 为 C_1 充电的电压发生器;

R_1 防止发生器 G 阻尼谐振电路的电阻器;

C_1 和 L_1 提供反向和正向电流的谐振电路;

近似地, $t_p = \pi\sqrt{L_1 C_1}$, $V_1 = I_{DRM} \sqrt{L_1 / C_1}$, 可得到: $\sqrt{L_1 / C_1} \gg 2(r_{ds(on)} + R_3)$

S_1 开关 (例如带反向 (反并联) 二极管的 MOSFET);

C_2 和 R_2 限制施加的正向断态漏极电压 (或者, 当正向电压上升到击穿电压时, DUT 可以接通)

的电路；

R_3 电流检测电阻；

M 测量仪器（例如示波器）；

V_G 用于 B 类器件的栅极关断电压。

6.3.15.8 测量程序

DUT 栅极偏置为关断状态。当 S_1 断开时，电压发生器 G 通过 DUT 将电容器 C_1 充电产生规定的峰值反向漏极电流 I_{DRM} 所需的电压。闭合开关 S_1 ，谐振电路 $L_1 C_1$ 通过 DUT 放电。脉冲持续时间（ t_p ）和反向漏极电流 di_{DR}/dt 的变化率应符合规定的条件。

正向恢复时间 t_{fr} 被测量为漏极电流通过零点的时间与用于减小 I_D 值的时间间隔，其中通过 $0.9 I_{DM}$ 和 $0.1 I_{DM}$ 的点的线穿过零电流轴。

$$\text{正向恢复电荷测量为: } Q_f = \int_{t_0}^{t_0+t_1} i_D \cdot dt$$

其中：

t_0 是电流通过零点的时刻；

t_i 是积分时间；

积分结束时间 t_1 是正向漏极电流达到 $2 \times I_{DSS}$ 的时刻。

6.3.15.9 规定条件

——管壳温度、环境温度 (T_a 、 T_c)；

——漏极反向电流 I_{DR} ；

——漏极电流的变化率 (di_{DR}/dt)；

——积分时间 t_i （用于恢复电荷测量）；

——MOSFET T_1 应通过栅极-源极短路或反偏而处于关断状态。

6.3.16 漏极-源极反向电压 (V_{DSR})

6.3.16.1 目的

在规定条件下，测量漏极-源极反向电压 (V_{DSR})。

6.3.16.2 电路图

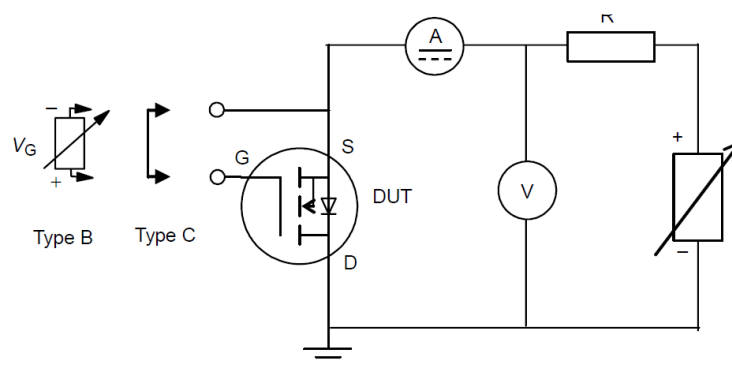


图 45 测量漏极-源极反向电压的电路图

6.3.16.3 电路说明

V_{DD} ——是低压电压源；
 R ——是限流电阻。

6.3.16.4 试验程序

栅极-源极端按规定连接。调节电压 V_{DD} 以提供规定的反向漏极电流值。测量电压表 V 上的漏极-源极反向电压。

6.3.16.5 规定条件

——环境或外壳或结温 (T_a 或 T_c 或 T_{vj})；
——反向漏极电流 (I_{DR})。

6.3.17 漏极-源极重复峰值反向电压 (V_{DSRM})

6.3.17.1 目的

在规定条件下，测量漏极-源极重复峰值反向电压。

6.3.17.2 电路图

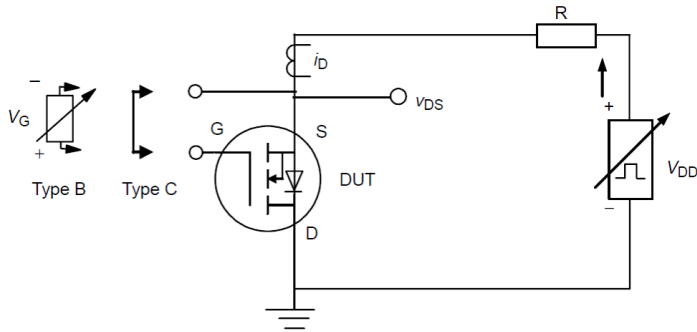


图 46 测量漏极-源极重复峰值反向电压的电路图

6.3.17.3 电路说明

V_{DD} 是电流发生器，用于提供峰值漏极-源极电流，可调脉冲宽度和占空比控制。 R 是保护电阻。

6.3.17.4 试验程序

栅极-源极端按规定连接。调节电流发生器以提供漏极峰值反向电流的规定值，设定脉冲宽度和占空比为规定值，由电流探头 I_D 测量。由 V_{DS} 端测量漏极源极电压。

6.3.17.5 规定条件

——环境或外壳或结温 (T_a 或 T_c 或 T_{vj})；
——漏极-源极重复峰值反向电压 (I_{DRM})；
——电流脉冲宽度，占空比。

6.3.18 续流二极管正向压降

6.3.18.1 目的

在规定条件下，测试续流二极管正向压降。

注：本方法不适用于存在续流二极管与体二极管同时导通的工作模式。

6.3.18.2 电路图

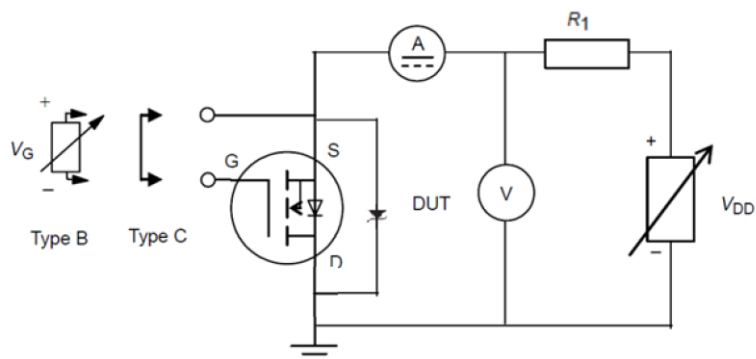


图 47 续流二极管正向压降测试电路图

6.3.18.3 电路说明

V_{DD} ——是低压电压源（直流或脉冲电压源）；
 R_1 ——是限流电阻；
 DUT——是被测器件；
 MOSFET——栅源工作在 0 偏或负偏状态下。

6.3.18.4 试验程序

并联 MOSFET 栅极-源极端按规定连接。调节电压 V_{DD} 以提供规定的电流值。测量电压表 V 上的体二极管正向电压。

6.3.18.5 规定条件

——环境或外壳或结温（ T_a 或 T_c 或 T_{vj} ）；
 ——工作电流 I_F ；
 ——测试推荐采用脉冲方式进行，并规定测试脉宽 PW 。若采用直流测试，应采用必要措施进行温度控制。

7 接收和可靠性

（根据 IEC 60747-8 第 7 条修订）

7.1 耐久性和可靠性测试以及测试方法

本条款中的测试在应用过程中可适当扩充，但不能替代生产过程的控制，本测试具有破坏性。

7.1.1 一般要求

适用于具有相同标题的 IEC 60747-1 第八章第 3 节第 2 条。

7.1.2 耐久性和可靠性的失效判据

表 3 给出了测试的特性，失效判据和测量条件。

注：特性按照表中给出的顺序进行测量，由于某些失效机理引起的特性变化可能会完全或部分地被其他测量的影响掩盖。

表4 耐久性和可靠性试验的特性

特性	失效判据	测量条件
I_{DSS} 或 I_{DSX}	$> 2 \times USL$	规定的 V_{DS} 和栅极
I_{GSS}	$> 2 \times USL$	规定的 V_{GS} 和栅极
$V_{GS(off)}$ 或 $V_{GS(th)}$	$< 0,8 \times LSL$ $> 1,2 \times USL$	规定的 V_{DS} 和 I_D
$R_{DS(on)}$	$> 1,0 \times USL$	规定的 V_{GS} 和 I_D
$R_{th(j-c)}$	$> 1,0 \times USL$	IEC 60747-8 中 6.18 条的规定
USL: 规范上限值 LSL: 规范下限值		

7.1.3 试验出现差错时的处理

使用不准确或故障试验设备得到的测试结果不应用于器件的评估。

7.1.4 耐久性和可靠性试验及其试验方法

7.1.4.1 高温阻断（HTRB）

a) 工作条件

电压：优先采用 $80 \% V_{DSSmax}$ 或 $80 \% V_{DSXmax}$ ；
温度：规定值，优先采用最高结温， T_{jmax} 或 $T_c = T_{stgmax} - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

b) 测试电路

R 是图 45 中的限流电阻。

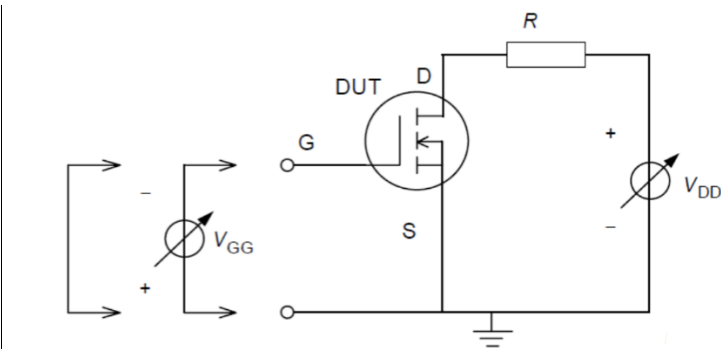


图 48 高温阻断试验电路

7.1.4.2 高温栅极偏置（HTGB）

a) 工作条件

电压：优先采用 $100 \% V_{GSSmax}$ ；
温度：规定值，优先采用最高结温， T_{jmax} 或 $T_c = T_{stgmax} - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

b) 测试电路

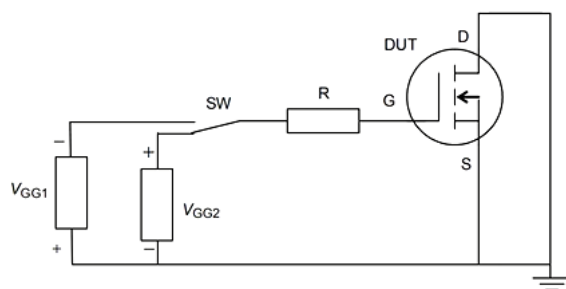


图 49 高温栅极偏置电路

7.1.4.3 高温栅极开关 (HTGS)

a) 工作条件

电压：采用脉冲方式施加电压，高电平优先采用 $100\% V_{GSS\max}$ ，低电平为 0 V ；

温度：规定值，优先采用最高结温， $T_{vj\max}$ 或 $T_c = T_{stg\max} - 5\text{ }^\circ\text{C}$ ； $T_{vj\max}$ （是否应该是 $T_{vj\max}$ ）

频率：优先采用 20 KHz 。

b) 测试电路

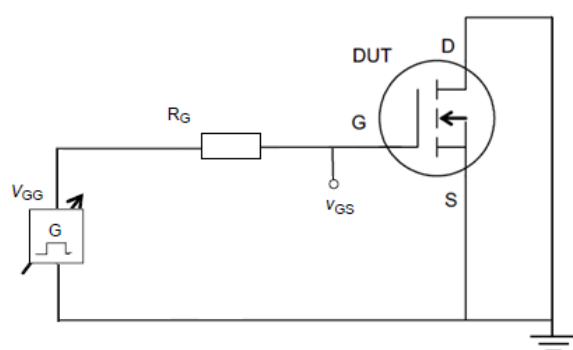


图 50 高温栅极应力电路

7.1.4.4 间歇工作寿命（负载循环）

a) 工作条件

电流：规定值；

温升：自行定义 ΔT_{vj} ；

栅极电压 V_{GS} ，按规定值；

管壳温度：方法 1： $T_c =$ 固定数值；

方法 2： $T_c =$ 随 T_{vj} 的变量；

通电时间 t_p 和断电时间 ($t_c - t_p$)：按规定。

注：方法 1 对受试器件产生的机械应力集中在模块型器件管芯的引线焊接发射极部分。方法 2 对受试器件产生的机械应力主要集中在器件管芯的焊接材料或压力接触部分。

b) 测试电路

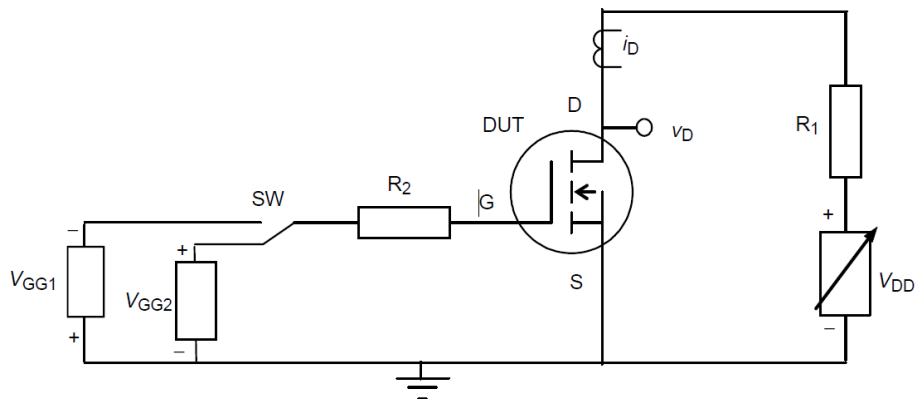


图 51 间歇工作寿命试验电路

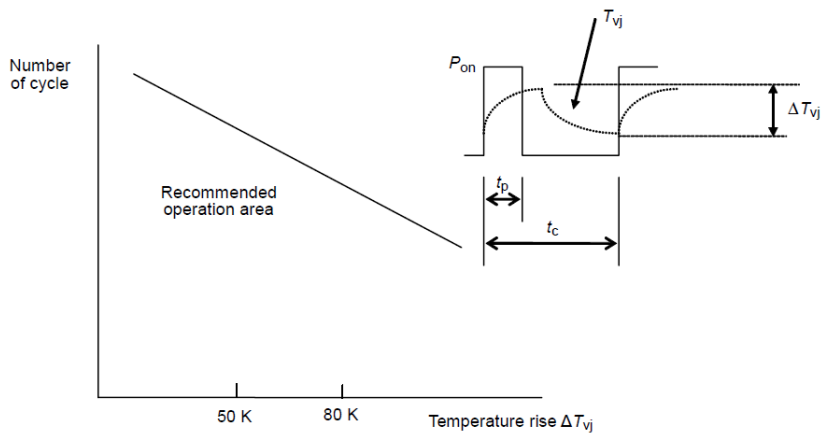


图 52 期望循环次数与温升 ΔT_j 的关系

7.1.4.5 阈值电压漂移测试

基本的测试方法是栅极应力和 $V_{GS(th)}$ 测量交替进行的 MSM（Measure Stress Measure）法。在认为无法忽略 $V_{GS(th)}$ 恢复的场合下，选择缩短测量时间来减轻恢复现象的高速漏极电流测量法。这一方法的测量延迟在 ms 级别，比 MSM 法快 2 个数量级。

7.1.4.5.1 MSM 法

a) 工作条件

在 MOS 栅极施加热、电应力和测量阈值电压的过程交替进行，测试温度在样品的最大额定范围内，或者材料熔化的预期温度范围内。考虑 $V_{GS(th)}$ 漂移的最坏温度情况，如果最坏情况条件不确定，可以选取 3 个温度进行试验；测试样品可以是晶圆级或者封装级，测试时间为 10,000 s，封装级测试推荐采用更长时间。

电压越高阈值漂移速度越快，选取的测试电压应该为样品的最大额定电压，或者预期的最大驱动电压，必要时在最大额定电压范围内选取多个电压进行测试。

注：测试时间为阈值电压达到容许的最大漂移量为止，或者由用户自行设定。测量时间不计算在内。

b) 测试电路

源极和漏极接地，正偏置温度不稳定性 PBTI（PBTI，positive bias temperature instability）测试时栅极-源极之间接正电压，负偏置温度不稳定性 NBTI（NBTI，negative bias temperature instability）测试时栅极-源极之间接负电压。

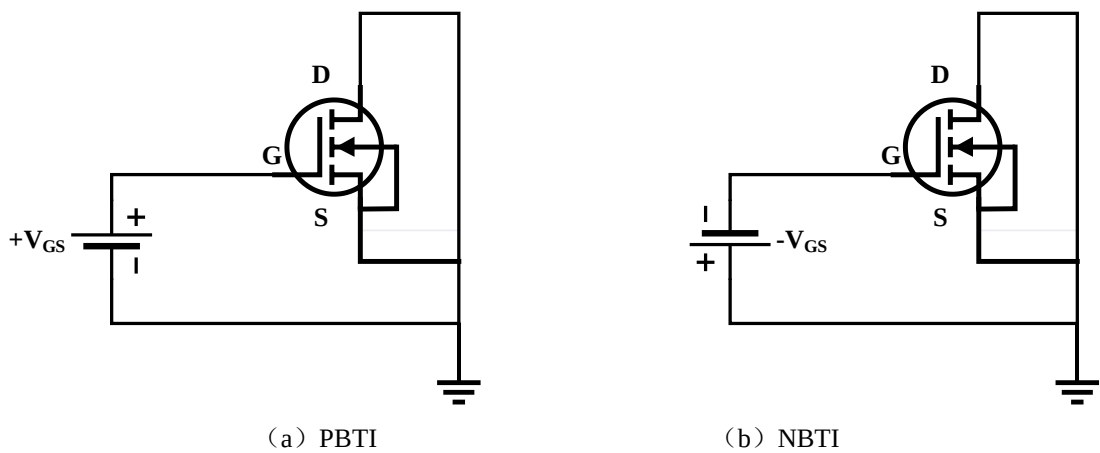


图 53 BTI 试验电路（MSM 法）

先测试确定 $V_{GS(th)}$ 初始值，温度为整个试验的测试温度。必要时获取其他电学特性，初期测量中可能发生阈值电压漂移，测量 $V_{GS(th)}$ 初期值时需要考虑将其影响最小化。

电学特性的变化通常与施加应力的时间倾向于对数乘积的关系，因此在对数时间坐标中取等间隔的点作为中期测量的时间点。考虑到 $V_{GS(th)}$ 的恢复，中期测量不进行其他电学特性的测量，必要时在其他的试验中进行。

考虑到测量期间 $V_{GS(th)}$ 的恢复现象，测量时间推荐控制在 10 s 以内，测量次数需要考虑最终试验时间和评估电学特性变化预期的测量次数。但存在多次中期测量促进阈值电压恢复的可能性，推荐对数时间轴中一个量级取 1 个点进行测量。

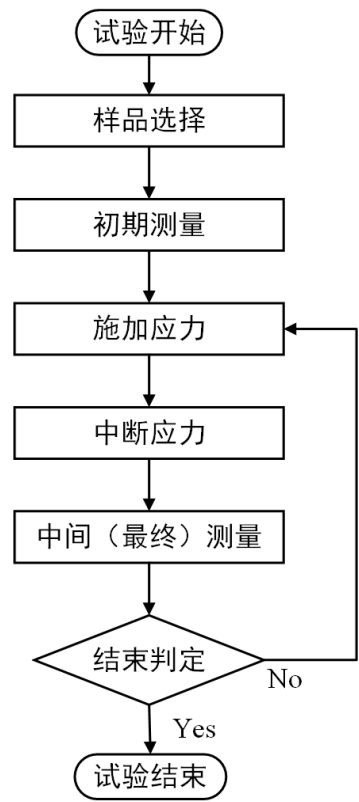


图 54 MSM 法试验流程

7.1.4.5.2 高速漏极电流测量法

a) 工作条件

这种方法是高速测量法的一种，通过缩短测量时间，在恢复过程的早期得到 $V_{GS(th)}$ 的漂移，由高速测量的漏极电流推算 $V_{GS(th)}$ 的变化。在 $V_{GS(th)}$ 漂移的恢复现象明显的情况下，推荐使用 MSM 和包含 MSM 的方法。

测试温度为样品的最大定额范围内，或者材料熔化的预期温度范围内，考虑 $V_{GS(th)}$ 漂移的最坏温度情况。如果最坏情况条件不确定，可以选取 3 个温度进行试验；测试样品可以是晶圆级或者封装级，测试时间为 10,000 s，封装级测试推荐采用更长时间。

电压越高阈值漂移速度越快，选取的测试电压应该为样品的最大额定电压，或者预期的最大驱动电压，必要时在最大额定电压范围内选取多个电压进行测试。

注：测试时间为阈值电压达到容许的最大漂移量为止，或由用户自行设定。测量时间不计算在内。

b) 测试电路

源极和漏极接地，PBTI 测试时栅-源之间接正电压，NBTI 测试时接负电压，测量时施加 V_{DS} 电压。

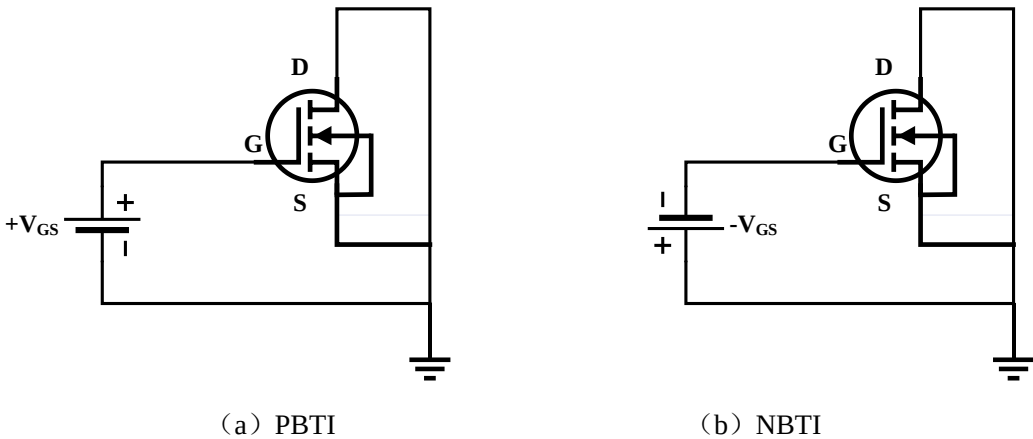


图 55 BTI 试验电路（高速漏极电流测量法）

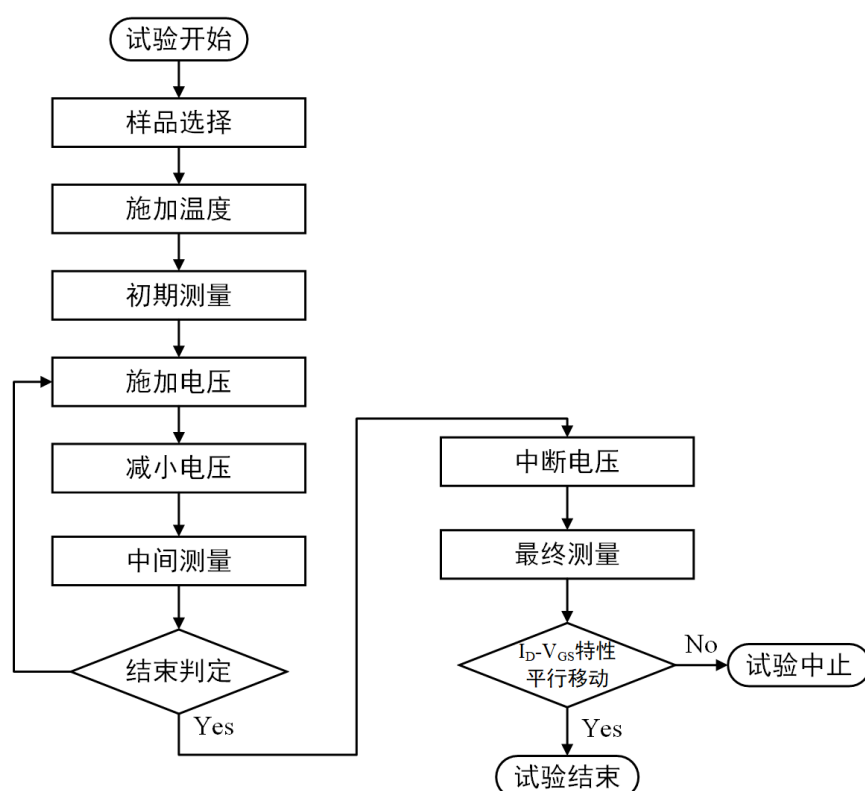


图 56 高速漏极电流测量法试验流程

电学特性的变化通常与施加应力的时间倾向于对数乘积的关系，因此在对数时间坐标中去等间隔的点作为中期测量的时间点。测量时需要考虑 V_{GS} 的范围，需要进行其他电学特性的测量时，尽可能在测量时 $V_{GS(th)}$ 不发生变化。

测量时保持试验温度，测量次数需要考虑最终试验时间和评估电学特性变化预期的测量次数。但存在多次中期测量促进阈值电压恢复的可能性，推荐对数时间轴中一个量级取 1 个点进行测量。

c) 方法说明

BTI 测试中，为了减轻恢复的影响，需要尽可能缩短测量需要的时间，试验方法如图 57 所示。测量时间在 10 ms 以内，测量得到的电流通过公式换算成阈值电压的漂移。换算方法因测定时的 $V_{GS(th)}$ 条件不同有所不同，如图 58 所示。

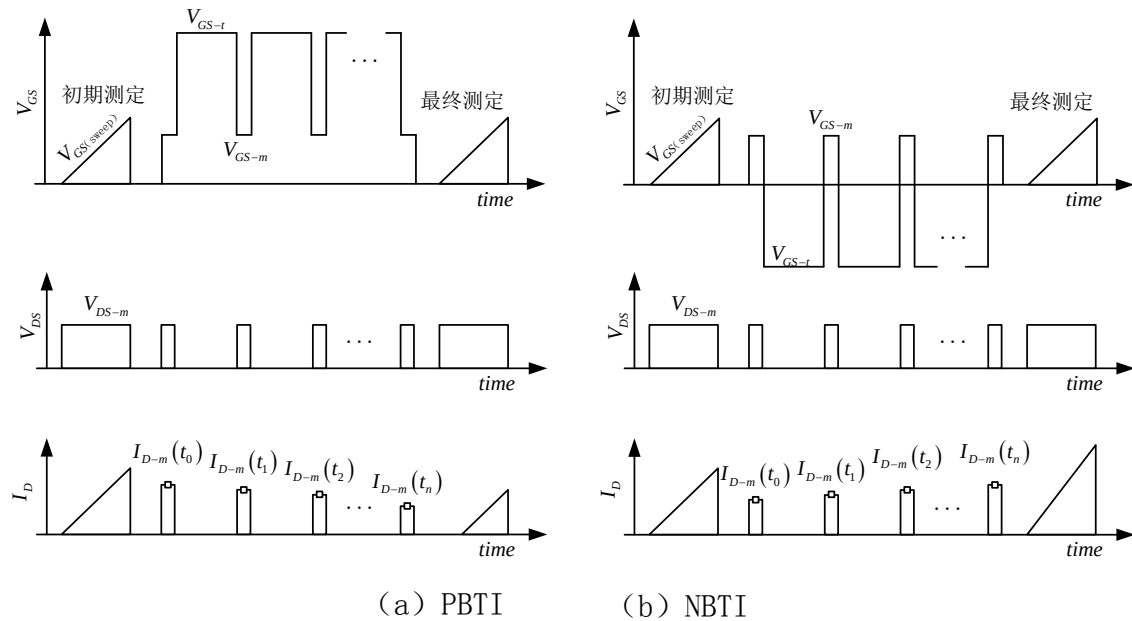


图 57 BTI 高速漏极电流测量法示意图

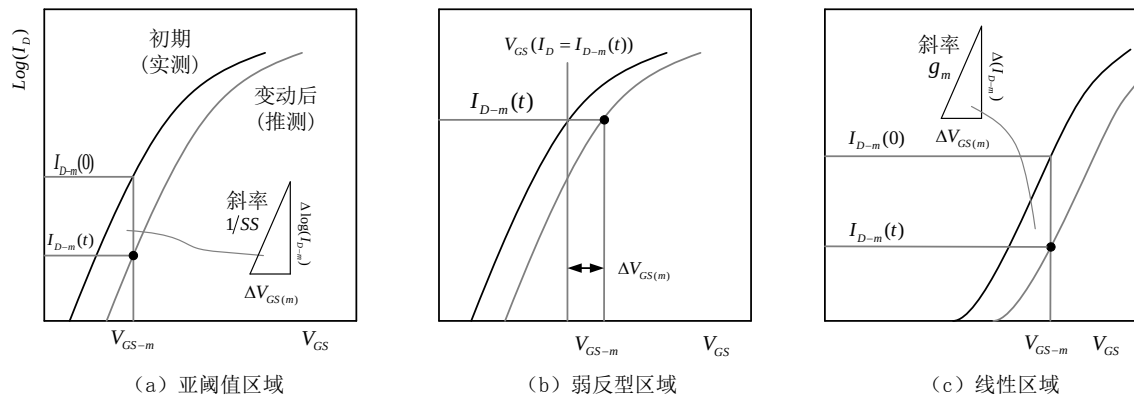


图 58 高速漏极电流测试中阈值电压漂移的计算方法

7.1.4.6 体二极管导通电压漂移测试

SiC 功率 MOSFET 的体二极管通电时, SiC 晶体内的缺陷会不断生长, 形成高阻区域, 导致导通电阻和导通压降上升。由于导通压降和导通电阻的上升与导通电流密度、导通时间和温度相关, 试验方法的不同得到的结果也不相同。

本试验方法适用于 n 沟道碳化硅 MOSFET 器件体二极管在热、电应力下导通下降漂移的试验方法。由于导通压降漂移并非物理上的损坏, 容许的漂移量根据不同的使用场景和用户需求并没有一致的标准, 失效的判定由具体情况和用户判断。

7.1.4.6.1 脉冲通电测试法

该测试方法适用于 SiC 功率 MOSFET 器件体二极管导通压降的评估, 由于该试验的导通电流很大, 建议使用封装级的样品进行, 能推测出样品的结温则更好。

a) 工作条件

测试温度要控制在样品的最大额定范围内以及封装材料容许的温度范围内，温度上升对试验有加速作用。试验中为防止自身发热导致温度过高，必要时需要充分的冷却技术确定其结温由环境温度决定。

大的导通电流对试验有加速作用，长的导通电流可能会导致器件自身发热使结温显著升高。测试电流采用方波脉冲电流，电流值在样品最大额定值范围内设定，必要时选取多个电流值进行试验。

由于其他测试条件的不同，测试时间自行设定。

b) 测试电路

漏极接地，源极施加脉冲电流，栅极和源极之间加负压确定栅极关断，消除沟道电流的影响。

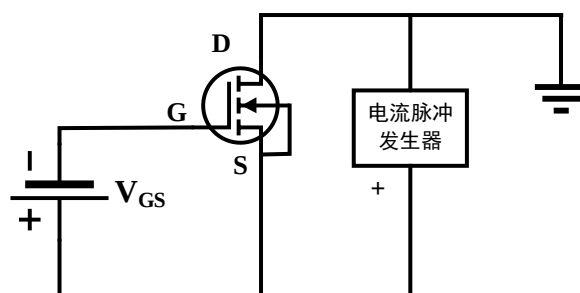


图 59 体二极管导通时的试验电路

c) 测试流程

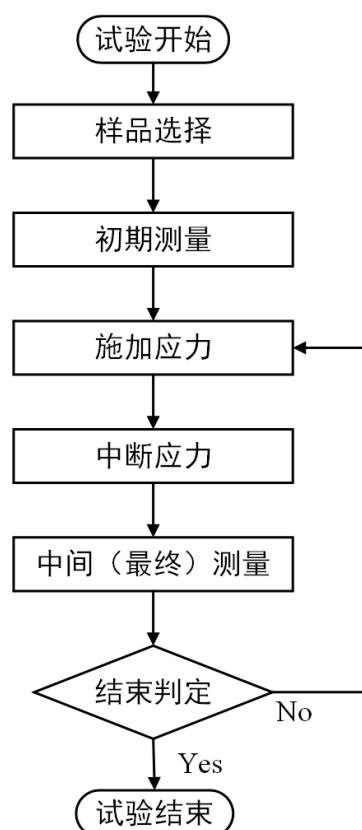


图 60 脉冲测试法试验流程

初期测试得到所需的电学特性，测试温度为常温或者特定用途需要的温度。

7.1.4.6.2 直流通电测试法

该测试方法适用于SiC功率MOSFET器件体二极管导通压降的评估。在不能采用脉冲电流测试法或者需要加速试验的测试中推荐使用。

a) 工作条件

测试温度要控制在样品的最大额定范围内以及封装材料容许的温度范围内，温度上升对试验有加速作用。试验中为防止自身发热导致温度过高，必要时需要充分的冷却技术确定其结温由环境温度决定。

大的导通电流对试验有加速作用，长的导通电流可能会导致器件自身发热使结温显著升高，根据其散热能力确定电流值，一直保持电流，电流值在样品最大额定值范围内设定，必要时选取多个电流值进行试验。

由于其他测试条件的不同，测试时间自行设定。

由于该试验的导通电流很大，建议使用封装级的样品进行，能推测出样品的结温则更好。

b) 测试电路

漏极接地，源极施加恒流信号，栅极和源极之间加负压确定栅极关断，消除沟道电流的影响。

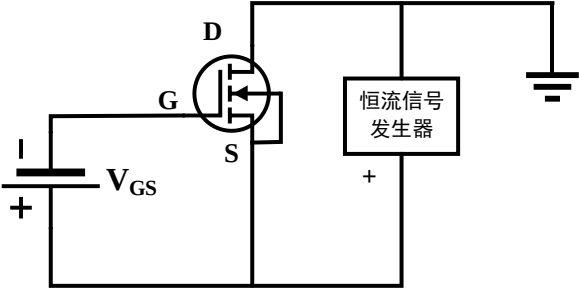


图 61 体二极管导通时的试验电路

测试流程参见图 60。

7.2 型式试验和例行试验

7.2.1 型式试验

型式试验基于抽样对新产品进行，以确定在器件参数表中给出的电、热额定值（极限值）和特性，并作为以后的例行试验试验范围的参考。全部或部分型式试验有时可从现行生产或交付的产品中抽样重复进行，以确认产品质量持续满足规定要求。应进行的最少的型式试验项目列于表 4。其中，某些项目是破坏性的。

7.2.2 例行试验

通常对现行生产或交付的产品进行 100 % 例行试验，以验证每一样品满足器件参数表中规定的额定值(极限值)和特性。

例行试验可分为几个器件试验组进行。应进行的最少的例行试验项目列于表4 ,除非供货商与采购商另有协议。

7.2.3 测量和测试方法

表5 MOSFET最少的型式试验和例行试验项目（适用时）

条号	项目	型式试验	例行试验
----	----	------	------

额定值试验		—	—
6.2.1.1	漏极-源极电压 V_{ds*}	X	X
6.2.1.2	栅极-源极电压 $\pm V_{gs*}$	X	X
6.2.1.4	最大断态漏极电流 (I_{ds}) ^d	X	—
6.2.1.5	漏极电流 (I_d)	X	X
6.2.1.6	漏极脉冲电流 I_{dm}	X	X
6.2.1.7	反向漏极电流(I_{dr})	X	X
6.2.1.8	峰值反向漏极电流 (I_{drm})	X	X
6.2.1.9	短路电流 (I_{DR})	—	—
6.2.1.10	关态电压的上升速率 ^e dv/dt	X	—
6.2.2.1	正向偏置安全工作区域 (FBSOA)	X	X
6.2.2.2	反向偏置安全工作区域 (RBSOA) ^a	X	—
6.2.2.3	短路安全工作区 (SCSOA)	X	—
6.2.3.1	重复雪崩能量 (E_{Ar}) ^b	X	X
6.2.3.2	非重复雪崩能量 (E_{as}) ^b	X	—
特性测量		—	—
6.3.1	漏极-源极的击穿电压 ($V_{(br)ds*}$)	X	X
6.3.3	漏极反偏电流 t (d.c.) (I_{dss} , I_{dsr} , I_{dsx})	X	X
6.3.4	栅极泄漏电流 (I_{gss})	X	X
6.3.2	栅极-源极截止电压 $V_{GS(off)}$ (B 型)	X	X
6.3.2	栅极-源极阈值电压 $V_{GS(th)}$ (C 型)	X	X
6.3.5	漏极-源极开通电阻 ($R_{DS(on)}$)	X	X
6.3.16	漏极-源极反向电压 (V_{dsr})	X	—

6.3.7	开关时间 ($t_{d(on)}$, t_r , $t_{d(off)}$, 和 t_f)	X	—
6.3.11	输入电容 C_{iss}	X	—
6.3.14	栅极内阻 R_g	X	—
6.3.12	共源短路输出电容 C_{oss}	X	—
6.3.13	共源短路反向转移电容 C_{rss}	X	—
6.10 ^a	正向跨导 g_{fs}	X	—
6.3.10	栅极总电荷 Q_g	X	—
	栅极阈值电荷 $Q_{GS(th)d}$	X	—
	平台栅极电荷 $Q_{gs(pl)}^d$	X	—
	栅极-漏极电荷 Gate drain charge Q_{gd}^d	X	—
6.3.15	MOSFET 的正向恢复时间 (t_{fr}) 和 MOSFET 的正向恢复电荷(Q_f)	X	X
6.18 ^a	结-壳热阻 ($R_{th(j-c)}$)	X	
6.18 ^a	结-壳瞬态热阻抗 ($Z_{th(j-c)}$)	X	X
耐久性和可靠性试验			—
7.1.4.1	高温阻断 (HTRB)	X	—
7.1.4.2	高温栅极偏 (HTGB)	X	—
7.1.4.3	高温栅极开关 (HTGS)	X	—
7.1.4.4	间歇工作寿命 (负载循环)	X	—
7.1.4.5	阈值电压漂移测试	X	—
7.1.4.6	体二极管导通电压漂移测试	X	—
^a IEC 60747-8 中的条款编号。 ^b 术语仅适用于雪崩型 MOSFET。 ^c 术语仅适用于非雪崩型 MOSFET。 ^d 术语应用于适用条款。			

