



中华人民共和国国家标准

GB/T 29332—2012/IEC 60747-9:2007

半导体器件 分立器件 第9部分：绝缘栅双极晶体管(IGBT)

Semiconductor devices—Discrete devices—
Part 9: Insulated-gate bipolar transistors (IGBT)

(IEC 60747-9:2007, IDT)

2012-12-31 发布

2013-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

版权声明

中国标准在线服务网(www.spc.org.cn)是中国标准出版社委托北京标科网络技术有限公司负责运营销售正版标准资源的网络服务平台,本网站所有标准资源均已获得国内外相关版权方的合法授权。未经授权,严禁任何单位、组织及个人对标准文本进行复制、发行、销售、传播和翻译出版等违法行为。版权所有,违者必究!



中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

半 导 体 器 件 分 立 器 件

第 9 部 分 : 绝 缘 栅 双 极 晶 体 管 (IGBT)

GB/T 29332—2012/IEC 60747-9:2007

*

中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行
北 京 市 朝 阳 区 和 平 里 西 街 甲 2 号 (100013)
北 京 市 西 城 区 三 里 河 北 街 16 号 (100045)

网 址 : www.gb168.cn

服 务 热 线 : 010-68522006

2013 年 5 月 第 一 版

*

书 号 : 155066 · 1-46864

版 权 专 有 侵 权 必 究

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 IGBT 的图形符号	1
3.2 一般术语	1
3.3 额定值和特性的术语 电压和电流	2
3.4 额定值和特性的术语 其他特性	4
4 文字符号	6
4.1 通则	6
4.2 补充的通用下标	6
4.3 文字符号	6
5 基本额定值和特性	7
5.1 额定值(极限值)	7
5.2 特性	8
6 测试方法	10
6.1 通则	10
6.2 额定值(极限值)试验	11
6.3 测量方法	19
7 接收和可靠性	34
7.1 一般要求	34
7.2 特殊要求	34
7.3 型式试验和例行试验	37
附录 A (规范性附录) 集电极-发射极击穿电压试验方法	39
附录 B (规范性附录) 在规定条件下,电感性负载关断电流试验方法	41
附录 C (规范性附录) 正偏安全工作区 FBSOA	43
附录 D (规范性附录) 管壳不破裂	47
参考文献	48
图 1 集电极-发射极电压 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX} 试验电路	11
图 2 栅极-发射极电压 $\pm V_{GES}$ 试验电路	12
图 3 集电极电流试验电路	13
图 4 集电极峰值电流试验电路	14
图 5 反偏安全工作区(RBSOA)试验电路	14

图 6	关断期间的栅极-发射极电压 V_{GE} 和集电极电流 I_C 波形	15
图 7	负载短路(SCSOA 1)时,安全工作脉冲宽度试验电路	16
图 8	负载短路(SCSOA 1)期间的栅极-发射极电压 V_{GE} 、集电极电流 I_C 和集电极电压 V_{CE} 波形	16
图 9	短路安全工作区 2(SCSOA 2)试验电路	17
图 10	SCSOA 2 期间的波形	18
图 11	集电极-发射极维持电压 $V_{CE^*_{sus}}$ 测量电路	19
图 12	集电极电流的运行轨迹	20
图 13	集电极-发射极饱和电压 $V_{CE_{sat}}$ 测量电路	21
图 14	栅极-发射极阈值电压基本测量电路	21
图 15	集电极截止电流测量电路	22
图 16	栅极漏电流测量电路	23
图 17	输入电容测量电路	24
图 18	输出电容测量电路	25
图 19	反向传输电容测量电路	26
图 20	栅极电荷测量电路	26
图 21	栅极电荷基本波形	27
图 22	短路栅极内阻测量电路	28
图 23	开通期间的各时间间隔和开通能量测量电路	29
图 24	开通期间的电流、电压波形	29
图 25	关断期间的各时间间隔和关断能量测量电路	30
图 26	关断期间的电流、电压波形	30
图 27	小测量电流 I_{C1} 下 V_{CE} 随温度变化和大电流 I_{C2} 加热被测器件 DUT 的测量电路	31
图 28	小测量电流 I_{C1} 下 V_{CE} 随管壳温度 T_c (外加热,即 $T_c = T_j$ 时)的典型变化	32
图 29	热阻和瞬态热阻抗测量电路(方法 2)	33
图 30	小测量电流 I_{C1} 下 $V_{GE(th)}$ 随管壳温度 T_c (外加热,即 $T_c = T_j$ 时)的典型变化	33
图 31	I_C 、 V_{GE} 和 T_c 与时间的关系	34
图 32	高温阻断试验电路	35
图 33	高温栅极偏置试验电路	36
图 34	间歇工作寿命试验电路	36
图 35	期望循环次数与温升 ΔT_j 的关系	37
图 A.1	集电极-发射极击穿电压试验电路	39
图 B.1	电感性负载关断电流试验电路	41
图 B.2	关断期间,集电极电流 I_C 和集电极电压 V_{CE} 波形	41
图 C.1	FBSOA 试验电路(方法 1)	43
图 C.2	ΔV_{CE} 与集电极-发射极电压 V_{CE} 的典型特性	44
图 C.3	典型 FBSOA	44
图 C.4	FBSOA 试验电路(方法 2)	45

图 C.5 闭锁模式运行波形 45

图 C.6 闭锁模式伏安特性 45

表 1 接收判定特性 11

表 2 耐久性和可靠性试验接收判定特性 35

表 3 最少的型式试验和例行试验项目(适用时) 37



前 言

《半导体器件 分立器件》系列国家标准的预计结构如下：

- 第 1 部分：总则(GB/T 17573—1998, idt IEC 60747-1:1983)；
- 第 2 部分：整流二极管(GB/T 4023—1997, eqv IEC 60747-2:1983 及其修正案 1:1992 和修正案 2:1993)；
- 第 3 部分：信号(包括开关)和调整二极管(GB/T 6571—1995, idt IEC 60747-3:1985)；
- 第 4 部分：微波器件(GB/T 20516—2006, IEC 60747-4:2001, IDT)；
- 第 5-1 部分：光电子器件 总则(IEC 60747-5-1:2002)；
- 第 6 部分：晶闸管(GB/T 15291—1994, eqv IEC 60747-6:1983 及其修正案 1:1991)；
- 第 7 部分：双极型晶体管(GB/T 4587—1994, idt IEC 60747-7:1988)；
- 第 8 部分：场效应晶体管(GB/T 4586—1994, idt IEC 60747-8:1984)；
- 第 9 部分：绝缘栅双极晶体管(IEC 60747-9:2007)；
- 第 10 部分：分立器件和集成电路总规范(GB/T 4589.1—2006, IEC 60747-10:1991, IDT)；
- 第 11 部分：分立器件分规范(GB/T 12560—1999, idt IEC 60747-11:1985)；
- 第 14-1 部分：半导体传感器 总则和分类(GB/T 20521—2006, IEC 60747-14-1:2000, IDT)；
- 第 15 部分：绝缘功率半导体器件(IEC 60747-15:2010)；
- 第 17 部分：基本绝缘和加强绝缘的磁性和电容性耦合(IEC/PAS 60747-17:2011)。

本标准为《半导体器件 分立器件》系列国家标准的第 9 部分。

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 IEC 60747-9:2007《半导体器件 分立器件 第 9 部分：绝缘栅双极晶体管》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 4023—1997 半导体器件 分立器件和集成电路 第 2 部分：整流二极管 (eqv IEC 60747-2:1983 及其修正案 1:1992 和修正案 2:1993)
- GB/T 15291—1994 半导体器件 第 6 部分：晶闸管 (eqv IEC 60747-6:1983 及其修正案 1:1991)
- GB/T 17573—1998 半导体器件 第 1 部分：总则 (idt IEC 60747-1:1983)

本标准做了下列编辑性修改和勘误：

- 3.2.5、3.2.6 和 3.2.7 三条术语的定义中，在文字“……端”后面增加“(电极)”二字；
- 结温的文字符号 T_{vj} 统一为 T_j ；
- 栅极-发射极电压的第二个下标统一为“e”；
- “规定条件”中，温度条件的位置统一为列项 1；
- 为突出被测(受试)器件，相应的 IGBT 用被测(受试)器件的英文缩略语 DUT 代替；
- 6.3.1.7 中，补充了遗漏的电压文字符号 V_{CEXsus} ；
- 在 6.3.6.3 中增加如下说明：
 - “其中， y_{ie} ——小信号共发射极短路输入导纳；
 - y_{oe} ——小信号共发射极短路输出导纳”；
- 6.3.6.5、6.3.7.5 和 6.3.8.5 中，补充了测量频率的文字符号 f ；
- 6.3.10.3 中，“ $|y_{ie}| \gg \omega C_1$ ”更正为“ $\omega C_1 \gg |y_{ie}|$ ”，“ $|y_{os}| \gg \omega C_2$ ”更正为“ $\omega C_2 \gg |y_{oe}|$ ”；

——图 30 图题中的“ I_{C2} ”更正为“ I_{C1} ”；

——A.4 中,列项 2 下面的三个列项按二级列项处理。

本标准由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本标准由全国半导体器件标准化技术委员会(SAC/TC 78)归口。

本标准起草单位:西安电力电子技术研究所、西安爱帕克电力电子有限公司、英飞凌科技(中国)有限公司、威海新佳电子有限公司、江苏宏微科技有限公司。

本标准主要起草人:蔚红旗、张立、陈子颖、乜连波、王晓宝、秦贤满。



半导体器件 分立器件

第 9 部分:绝缘栅双极晶体管(IGBT)

1 范围

本标准给出了绝缘栅双极晶体管(IGBT)的术语、文字符号、基本额定值和特性以及测试方法等产品特定要求。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 60747-1:2006 半导体器件 第 1 部分:总则(Semiconductor devices—Part 1:General)

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

IEC 60747-6 半导体器件 第 6 部分:晶闸管(Semiconductor devices—Part 6:Thyristors)

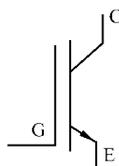
IEC 61340(所有部分) 静电(Electrostatics)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 IGBT 的图形符号

本标准采用如下图形符号:



注:本标准仅使用 N 沟道 IGBT 的图形符号。本标准也适用于 P 沟道器件,但必须使极性适宜。

3.2 一般术语

3.2.1

绝缘栅双极晶体管 insulated-gate bipolar transistor; IGBT

具有导电沟道和 PN 结,且流过沟道和结的电流由施加在栅极端和发射极端之间的电压产生的电场控制的晶体管。

注:施加集电极-发射极电压时,PN 结为正向偏置。

3.2.2

N 沟道 IGBT N-channel IGBT

具有一个或多个 N 型导电沟道的 IGBT。

3.2.3

P 沟道 IGBT P-channel IGBT

具有一个或多个 P 型导电沟道的 IGBT。

3.2.4

(IGBT 的)集电极电流 collector current (of an IGBT)

I_c

由 IGBT 开关(控制)的直流电流。

3.2.5

(IGBT 的)集电极端 collector terminal (of an IGBT)

(IGBT 的)集电极 collector (of an IGBT)

C

对于 N 沟道 IGBT,集电极电流从外部电路流入的那个端(电极);对于 P 沟道 IGBT,集电极电流由其流出至外部电路的那个端(电极)。

3.2.6

(IGBT 的)发射极端 emitter terminal (of an IGBT)

(IGBT 的)发射极 emitter (of an IGBT)

E

对于 N 沟道 IGBT,集电极电流由其流出至外部电路的那个端(电极);对于 P 沟道 IGBT,集电极电流从外部电路流入的那个端(电极)。

3.2.7

(IGBT 的)栅极端 gate terminal (of an IGBT)

(IGBT 的)栅极 gate (of an IGBT)

G

为控制集电极电流,相对于发射极端(电极)施加电压的那个端(电极)。

3.3 额定值和特性的术语 电压和电流

3.3.1

集电极-发射极(直流)电压 collector-emitter (d. c.) voltage

集电极与发射极间的直流电压。

3.3.2

栅极-发射极短路时的集电极-发射极电压 collector-emitter voltage with gate-emitter short-circuited

V_{CES}

栅极-发射极短路和集电极电流为规定的低值(绝对值)时的集电极-发射极电压。

3.3.3

集电极-发射极维持电压 collector-emitter sustaining voltage

V_{CE^*sus}

对于栅极端和发射极端间的规定接法,在相对较大的集电极电流下的集电极-发射极击穿电压。在

该集电极电流下,击穿电压对集电极电流的变化相对较不敏感。

注 1: 栅极端和发射极端间的规定接法以文字符号的第三个下标标示(参见 IEC 60747-7:2000 中的 4.1.2)。

注 2: 需要时,为标示栅极端和发射极端间的特定接法,在基本术语中增加经认可的合适的术语。例如,栅极-发射极短路时的集电极-发射极维持电压 V_{CESsus} 。

注 3: 如果所用的文字符号意思明确,基本术语可缩短。例如,集电极-发射极维持电压 V_{CERsus} 。

注 4: 此术语对于高压器件(例如 4 kV 以上)是重要的。

3.3.4

集电极-发射极击穿电压 collector-emitter breakdown voltage

$V_{(BR)CES}$

栅极-发射极短路时,集电极与发射极间的电压。超过此电压,集电极电流急剧增加。

3.3.5

集电极-发射极饱和电压 collector-emitter saturation voltage

V_{CEsat}

在集电极电流与栅极-发射极电压基本无关的栅极-发射极电压条件下的集电极-发射极电压。

3.3.6

栅极-发射极(直流)电压 gate-emitter (d. c.) voltage

栅极与发射极间的直流电压。

3.3.7

栅极-集电极(直流)电压 gate-collector (d. c.) voltage

栅极与集电极间的直流电压。

3.3.8

栅极-发射极阈值电压 gate-emitter threshold voltage

$V_{GE(th)}$

集电极电流为规定的低值(绝对值)时的栅极-发射极电压。

3.3.9

静电放电电压 electrostatic discharge voltage

施加到栅极端而不破坏绝缘层的电压。

3.3.10

集电极截止电流 collector cut-off current

栅极断态和规定的集电极-发射极电压(低于击穿区)时的集电极电流。

3.3.11

集电极电流 collector current

流过集电极的电流。

3.3.12

尾部电流 tail current

I_{CZ}

在尾部时间期间的集电极电流。

3.3.13

栅极漏电流 gate leakage current

I_{GES}

集电极端与发射极端短路时和规定的栅极-发射极电压条件下,流入栅极端的漏电流。

3.3.14

安全工作区 **safe operating area**

SOA

集电极电流与集电极-发射极电压构成的、IGBT 在其中能开通和关断而不失效的区域。

3.3.15

正偏安全工作区 **forward bias safe operating area**

FBSOA

集电极电流与集电极-发射极电压构成的、IGBT 在其中能开通并处于通态而不失效的区域。

3.3.16

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

RBSOA

集电极电流与集电极-发射极电压构成的、IGBT 在其中能关断而不失效的区域。

3.3.17

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

SCSOA

短路持续时间与集电极-发射极电压构成的、IGBT 在其中能开通和关断而不失效的区域。

3.4 额定值和特性的术语 其他特性

3.4.1

输入电容 **input capacitance**

C_{ies}

集电极端对发射极端交流短路时,栅极端和发射极端之间的电容。

3.4.2

输出电容 **output capacitance**

C_{oes}

栅极端对发射极端交流短路时,集电极端和发射极端之间的电容。

3.4.3

反向传输电容 **reverse transfer capacitance**

C_{res}

集电极端和栅极端之间的电容。

3.4.4

栅极电荷 **gate charge**

Q_G

栅极-发射极电压从规定的低值上升到规定的高值所需要的电荷。

3.4.5

栅极内阻 **internal gate resistance**

r_g

栅极内部串联电阻。

3.4.6

(单脉冲)开通能量 **turn-on energy (per pulse)**

E_{on}

单脉冲集电极电流开通期间,IGBT 内部耗散的能量。

注：周期性脉冲条件下对应的开通耗散功率由 E_{on} 与脉冲频率相乘得到。

3.4.7

(单脉冲)关断能量 **turn-off energy (per pulse)**

E_{off}

单脉冲集电极电流关断时间和尾部时间期间,IGBT 内部耗散的能量。

注：周期性脉冲条件下对应的关断耗散功率由 E_{off} 与脉冲频率相乘得到。

3.4.8

开通延迟时间 **turn-on delay time**

$t_{d(on)}; t_d$

IGBT 从断态向通态转换期间,输入端电压脉冲起始点与集电极电流上升起始点之间的时间间隔。

注：通常,在输入脉冲幅值的 10% 和输出脉冲幅值的 10% 两点测定该时间。

3.4.9

上升时间 **rise time**

t_r

IGBT 从断态向通态转换期间,集电极电流上升分别达到规定的下限值瞬间和上限值瞬间之间的时间间隔。

注：通常,下限值和上限值分别为脉冲幅值的 10% 和 90%。

3.4.10

开通时间 **turn-on time**

t_{on}

开通延迟时间与上升时间之和。

3.4.11

关断延迟时间 **turn-off delay time**

$t_{d(off)}; t_s$

IGBT 从通态向断态转换时,维持 IGBT 处于通态的输入端电压脉冲终点与集电极电流下降起始点之间的时间间隔。

注：通常,在输入脉冲幅值的 90% 和输出脉冲幅值的 90% 两点测定该时间。

3.4.12

下降时间 **fall time**

t_f

IGBT 从通态向断态转换期间,集电极电流下降分别达到规定的上限值瞬间和下限值瞬间之间的时间间隔。

注：通常,上限值和下限值分别为脉冲幅值的 90% 和 10%。

3.4.13

关断时间 **turn-off time**

t_{off}

关断延迟时间与下降时间之和。

3.4.14

尾部时间 **tail time**

t_z

从关断时间终点到集电极电流已经下降至其 2% 或较低的规定值瞬间的时间间隔。

4 文字符号

4.1 通则

IEC 60747-1:2006 的第 4 章适用。

4.2 补充的通用下标

C, c	集电极
E, e	发射极
G, g	栅极
sat	饱和
th	阈值
Z, z	尾部
S	端子短路
R	端子接电阻
X	端子接规定的栅极-发射极电压
sus	维持

4.3 文字符号

名 称	文字符号
4.3.1 电压	
集电极-发射极电压	V_{CE}
栅极-发射极短路时,集电极-发射极电压	V_{CES}
集电极-发射极维持电压	V_{CE}^{*sus}
栅极-发射极短路时,集电极-发射极击穿电压	$V_{(BR)CES}$
集电极-发射极饱和电压	V_{CEsat}
栅极-发射极电压	V_{GE}
集电极-发射极短路时,栅极-发射极电压	V_{GES}
栅极-发射极阈值电压	$V_{GE(th)}$
规定栅极-发射极电阻时,集电极-栅极电压	V_{CGR}
4.3.2 电流	
集电极电流	I_C
集电极峰值电流	I_{CM}
集电极重复峰值电流	I_{CRM}
栅极-发射极短路时,集电极截止电流	I_{CES}
尾部电流	I_{CZ}

续表

名 称	文字符号
栅极电流	I_G
集电极-发射极短路时,栅极漏电流	I_{GES}
4.3.3 其他电物理量	
输入电容	C_{ies}
输出电容	C_{oes}
反向传输电容	C_{res}
栅极电荷	Q_G
栅极内阻	r_g
开通耗散功率	P_{on}
开通能量	E_{on}
关断耗散功率	P_{off}
关断能量	E_{off}
通态耗散功率	P_{cond}
通态能量	E_{cond}
总耗散功率	P_{tot}
4.3.4 时间	
尾部时间	t_z
4.3.5 热物理量	
结-壳热阻	$R_{th(j-c)}$
结-壳瞬态热阻抗	$Z_{th(j-c)}$

5 基本额定值和特性

5.1 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(适用时)。

5.1.1 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j

最大值和最小值。

5.1.2 贮存温度 T_{stg}

最大值和最小值。

5.1.3 栅极-发射极短路时的集电极-发射极电压 V_{CES}

最大值。

注:此额定值不宜低于 $V_{(BR)CES}$ (见 5.2.1)。

5.1.4 集电极-发射极短路时的栅极-发射极电压 V_{GES}

正、负极性的最大值。

5.1.5 集电极连续电流 I_C

最大值。

5.1.6 集电极重复峰值电流 I_{CRM}

在规定的脉冲持续时间和占空比条件下,多个矩形脉冲的最大值。

5.1.7 集电极不重复峰值电流 I_{CSM}

在规定的脉冲持续时间条件下,一个矩形脉冲的最大值。

5.1.8 总耗散功率 P_{tot}

最大值。适用时,给出降额曲线。

5.1.9 最大安全工作区

表示在管壳温度 25 °C、直流电流和各种脉冲持续时间条件下,开通后的最大额定集电极电流 I_C 与开通前和开通期间集电极-发射极电压 V_{CE} 关系的区域的图。即使在最佳冷却条件下,也不应超过最大额定集电极电流 I_C 。

5.1.10 最大反偏安全工作区 **RBSOA**

表示在规定条件下,IGBT 在关断期间的短时间内能同时承受集电极电流 I_C 和集电极-发射极电压 V_{CE} 而不失效的区域的图。

5.1.11 最大短路安全工作区 **SCSOA**

由短路持续时间 t_{psc} 和负载短路条件下不可超过的集电极-发射极电压 V_{CE} 一对量值给出的区域的图。短路电压源,器件可再次开通和关断而不失效。

5.1.12 最大端子电流(适用时) I_{IRMS}

流过主端子电流的最大方均根值。

5.1.13 安装力 F

适用时,最大值和最小值。

5.1.14 安装力矩 M

适用时,最大值和最小值。

5.2 特性

特性应在 $T_j = 25\text{ °C}$ (另有规定除外)和另一规定温度下给出。

5.2.1 集电极-发射极击穿电压 $V_{(BR)CES}$

在栅极-发射极短路时和规定的集电极电流条件下的最小值。

5.2.2 集电极-发射极维持电压 $V_{CE(sus)}$

如适用,在规定的集电极电流和栅极条件下的最小值。

5.2.3 集电极-发射极饱和电压 $V_{CE(sat)}$

在规定的栅极电压和集电极电流条件下的最大值。

5.2.4 栅极-发射极阈值电压 $V_{GE(th)}$

在规定的集电极-发射极电压和集电极电流条件下的最小值和最大值。

5.2.5 集电极截止电流 I_{CE}

在栅极端和发射极端间的规定接法和规定的集电极-发射极电压条件下的最大值。

5.2.6 栅极漏电流 I_{GES}

在最高额定栅极-发射极电压条件下的最大值。

5.2.7 电容

在规定的集电极-发射极电压和测量频率下的下述典型值。

5.2.7.1 输入电容 C_{ies}

在规定的偏置条件和规定的测量频率下,且输出交流短路,共发射极小信号下的输入电容典型值。

5.2.7.2 输出电容 C_{oes}

在规定的偏置条件和规定的测量频率下,且输入交流短路,共发射极小信号下的输出电容典型值。

5.2.7.3 反向传输电容 C_{res}

在规定的偏置条件和规定的测量频率下,共发射极小信号下的反向传输电容典型值。

5.2.8 栅极电荷 Q_G

在规定的栅极-发射极电压、开通前集电极-发射极电压和开通后集电极电流条件下的典型值。

5.2.9 栅极内阻 r_g

在规定的栅极-发射极电压、集电极-发射极电压和频率下,集电极端对发射极端交流短路时的最大值和(或)典型值。

5.2.10 开通能量 E_{on}

在下列规定条件下的单脉冲最大值:

- 开通前的集电极-发射极电压;
- 开通后的集电极电流;
- 负载条件;
- 栅极-发射极电压;
- 栅极-发射极电路中的电阻;
- 环境温度、管壳温度或结温。

5.2.11 关断能量 E_{off}

在下列规定条件下的单脉冲最大值:

- 关断前的集电极电流;
- 关断后的集电极-发射极电压;
- 负载条件;
- 栅极-发射极电压;
- 栅极-发射极电路中的电阻;
- 环境温度、管壳温度或结温。

5.2.12 开关时间

5.2.12.1 开通延迟时间 $t_{d(on)}$ 和上升时间 t_r

在下列规定条件下的最大值:

- 开通前的集电极-发射极电压;
- 开通后的集电极电流;
- 负载条件;
- 栅极-发射极电压;
- 栅极-发射极电路中的电阻。

5.2.12.2 关断延迟时间 $t_{d(off)}$ 、下降时间 t_f 和尾部时间 t_z

在具有续流二极管和下列规定条件下的最大值:

- 关断后的集电极-发射极电压;
- 关断前的集电极电流;
- 负载条件;
- 栅极-发射极电压;
- 栅极-发射极电路中的电阻。

5.2.13 结-壳热阻 $R_{th(j-c)}$

IGBT 管壳额定时,最大值。

5.2.14 结-环境热阻 $R_{th(j-a)}$

IGBT 环境额定时,最大值。

5.2.15 结-壳瞬态热阻抗 $Z_{th(j-c)}$

IGBT 管壳额定时,表示瞬态热阻抗最大值与耗散功率阶跃变化后的时间的曲线图或解析式。

5.2.16 结-环境瞬态热阻抗 $Z_{th(j-a)}$

IGBT 环境额定时,表示瞬态热阻抗最大值与耗散功率阶跃变化后的时间的曲线图。

6 测试方法

6.1 通则

以下电路图中给出的极性适用于 N 沟道器件。通过改变仪表、发生器和电源的极性,则能适用于

P 沟道器件。IEC 61340 给出的操作注意事项和 IEC 60747-1:2006 给出的测量方法程序适用。

6.2 额定值(极限值)试验

经下列试验后,按表 1 规定确认 IGBT 特性。

表 1 接收判定特性

特性	接收判据
I_{CES}	$I_{CES} < USL$
I_{GES}	$I_{GES} < USL$
V_{CESat}	$V_{CESat} < USL$
$V_{GE(th)}$	$LSL < V_{GE(th)} < USL$

注: USL——规范上限值;LSL——规范下限值。

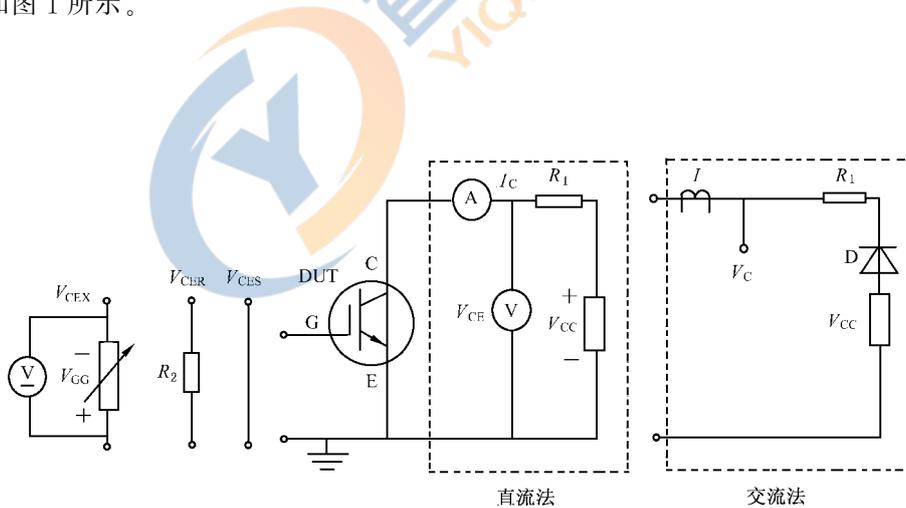
6.2.1 集电极-发射极电压 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX}

6.2.1.1 目的

在规定条件下,检验 IGBT 承受额定集电极-发射极电压 V_{CES} 、 V_{CER} 或 V_{CEX} 。

6.2.1.2 电路图

电路图如图 1 所示。



图中:

DUT——受试 IGBT。

图 1 集电极-发射极电压 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX} 试验电路

6.2.1.3 电路说明

V_{CC} 和 V_{GG} 是电压源。 R_1 是电路保护电阻器。

6.2.1.4 试验程序

按图 1 电路,有两种测试方法,即直流法和交流法。

栅极-发射极间应设置为规定条件。设定集电极-发射极电压为规定值。

6.2.1.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ;
- 对于 V_{CEX} : 栅极-发射极电压 $-V_{GE}$;
- 对于 V_{CER} : 连接在栅极端和发射极端间的电阻器;
- 对于 V_{CES} : 栅极端和发射极端间短路。

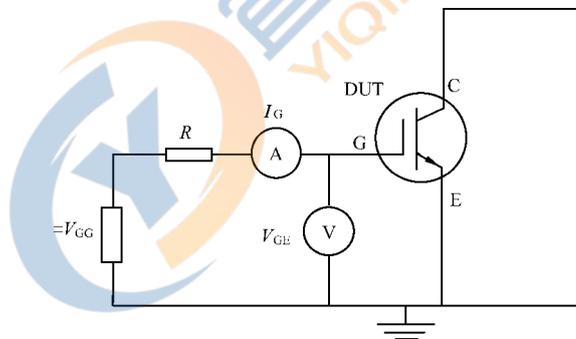
6.2.2 集电极-发射极短路时的栅极-发射极电压 $\pm V_{GES}$

6.2.2.1 目的

在规定条件下,检验 IGBT 承受额定栅极-发射极电压 $\pm V_{GE}$ 。

6.2.2.2 电路图

电路图如图 2 所示。



图中:

DUT——受试 IGBT。

图 2 栅极-发射极电压 $\pm V_{GES}$ 试验电路

6.2.2.3 电路说明

V_{GG} 是电压源。 R 是电路保护用低值电阻器。

6.2.2.4 试验程序

设定栅极-发射极电压 V_{GE} 为规定值。

6.2.2.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 栅极-发射极漏电流 I_{GES} ；
- 集电极端和发射极端间短路。

6.2.3 最大集电极电流 I_C

6.2.3.1 目的

在规定条件下,检验 IGBT 的集电极电流能力不低于最大额定值 I_C 。

6.2.3.2 电路图

电路图如图 3 所示。

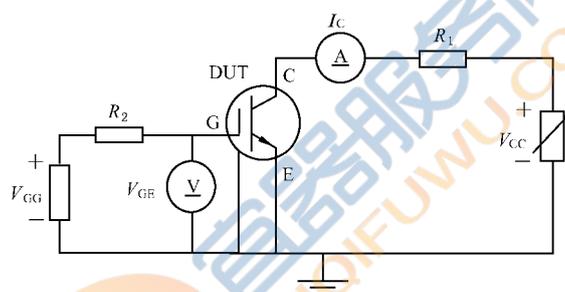


图 3 集电极电流试验电路

6.2.3.3 电路说明

V_{CC} 和 V_{GG} 是电压源。 R_1 是电路保护电阻器。

6.2.3.4 试验程序

设定温度(环境温度或管壳温度)和栅极-发射极电压为规定值并保持在该值。增加电源电压 V_{CC} 至 I_C 达到规定值,并达到热平衡。

6.2.3.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c ；
- 集电极电流 I_C ；
- 栅极-发射极电压 V_{GE} 。

6.2.4 最大集电极峰值电流 I_{CM}

6.2.4.1 目的

在规定条件下,检验 IGBT 的集电极电流能力不低于最大额定值 I_{CM} 。

6.2.4.2 电路图

电路图如图 4 所示。

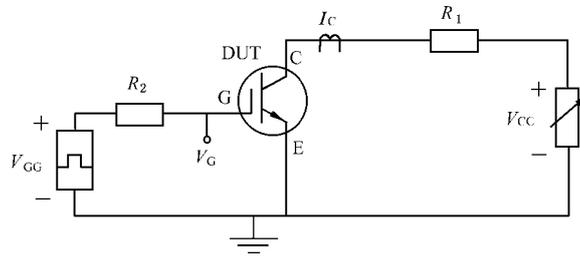


图 4 集电极峰值电流试验电路

6.2.4.3 电路说明

V_{CC} 是电压源。 V_{GG} 是栅极脉冲发生器。 R_1 是电路保护电阻器。

6.2.4.4 试验程序

设定温度(环境温度、管壳温度或结温)和栅极-发射极电压为规定值并保持在该值。增加电源电压 V_{CC} 至 I_C 达到规定值。

6.2.4.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 集电极电流 I_{CM} ；
- 栅极-发射极电压(脉冲宽度和占空比)。

6.2.5 最大反偏安全工作区 RBSOA

6.2.5.1 目的

检验 IGBT 在 RBSOA 中可靠工作而不失效。

6.2.5.2 电路图和波形

电路图和波形分别如图 5 和图 6 所示。

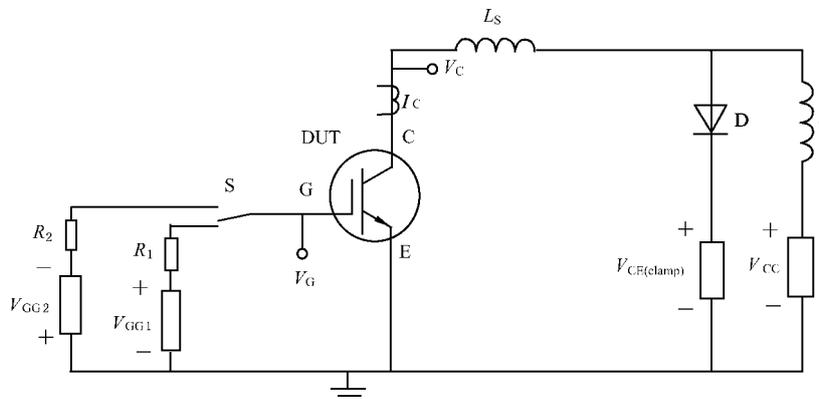
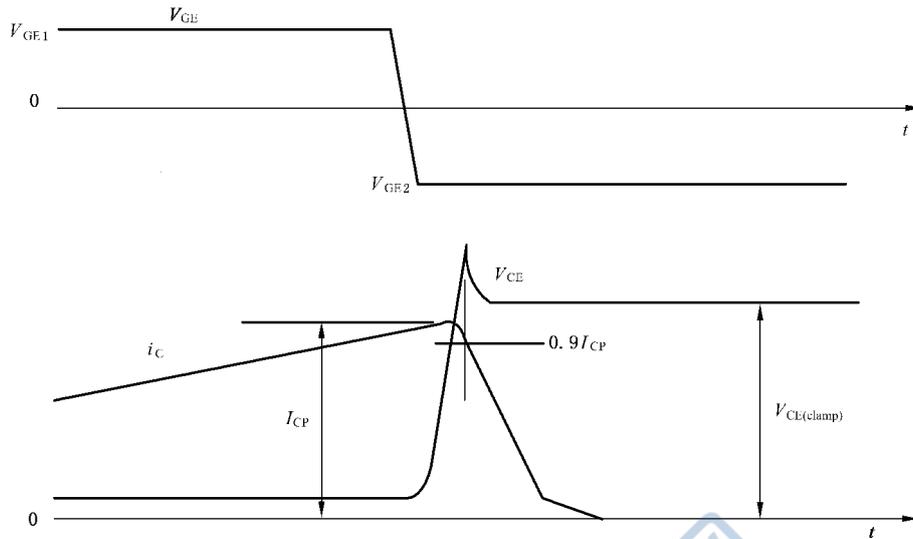


图 5 反偏安全工作区(RBSOA)试验电路

图6 关断期间的栅极-发射极电压 V_{GE} 和集电极电流 I_C 波形

6.2.5.3 电路说明和要求

负载电感 L 应足够大,以保持规定的 I_C 和 $V_{CE(clamp)}$ 施加于受试器件 DUT(至少在整个下降时间 t_f 和尾部时间 t_z)。 V_{CC} 是提供通态集电极电流 I_C 的低压电源。 $V_{CE(clamp)}$ 应能承载等于 I_C 的反向电流且保持在规定值。因而,可采用在规定的 V_{CE} 时能提供特定 I_C 且带有与电感器 L 并联的续流二极管 D 的单独电源。 R_1 和 R_2 是电路保护电阻器。 L_s 是表征允许的最大无钳位杂散电感的电感器。

6.2.5.4 试验程序

受试器件 DUT 在规定的 I_C 关断。监测 V_{CE} 和 I_C 。 DUT 必须关断 I_C 并承受 $V_{CE} = V_{CE(clamp)}$ 。

注: 集电极-发射极峰值电压 $V_{CEM} < V_{(BR)CE^*}$ 。

6.2.5.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 集电极电流 I_C ;
- 栅极-发射极电压 V_{GE1} 和 V_{GE2} ;
- 集电极-发射极电压 $V_{CE(clamp)}$;
- 单脉冲或脉冲重复率;
- 电感 L ;
- 无钳位的杂散电感 L_s ;
- 栅极电阻器 R_1 和 R_2 。

6.2.6 最大短路安全工作区 SCSOA

6.2.6.1 目的

检验 IGBT 在负载短路条件下可靠运行而不失效。

可能有两种负载短路情况:一种是负载短路时开通 IGBT,另一种是 IGBT 处于通态 ($V_{CE} = V_{CEsat}$)

时负载短路。应对两种负载短路进行试验。

6.2.6.2 最大短路安全工作区 1 SCSOA 1

6.2.6.2.1 电路图和波形

电路图和波形分别如图 7 和图 8 所示。

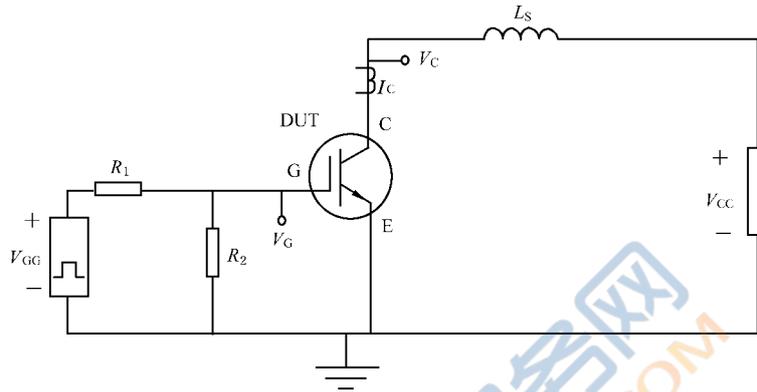


图 7 负载短路(SCSOA 1)时,安全工作脉冲宽度试验电路

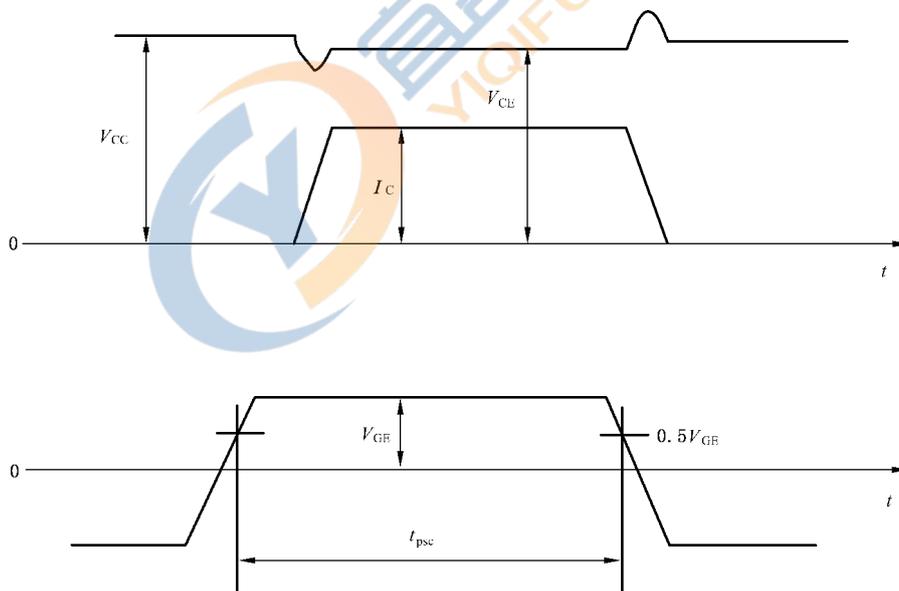


图 8 负载短路(SCSOA 1)期间的栅极-发射极电压 V_{GE} 、集电极电流 I_C 和集电极电压 V_{CE} 波形

6.2.6.2.2 电路说明

L_s 表征允许的最大杂散电感。它应足够低,以使在栅极脉冲宽度 t_{psc} 的第一个 25% 内即达到最大

短路电流。

6.2.6.2.3 试验程序

设定温度为规定值。施加规定的断态栅极-发射极电压。设定集电极-发射极电压为规定值。施加规定的栅极-发射极通态脉冲。

监测 I_C 、 V_{CE} 和 V_{GE} ，以观察受试器件 DUT 是否正确地开通和关断。

6.2.6.2.4 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 集电极-发射极电压 $V_{CE} = V_{CC}$ ；
- 通态和断态时的栅极-发射极电压 V_{GE} ；
- 栅极脉冲宽度 t_{psc} ；
- 栅极电阻器 R_1 和 R_2 ；
- 无钳位的杂散电感 L_s 。

6.2.6.3 最大短路安全工作区 2 SCSOA 2

6.2.6.3.1 工作特点

由于集电极-发射极电压 V_{CE} 的变化率 dV_{CE}/dt ，栅极电压从栅极-发射极电压 V_{GE} 增加。这引起集电极电流的快速增加和高峰值能量，如图 10 所示。

6.2.6.3.2 电路图和波形

电路图和波形分别如图 9 和图 10 所示。

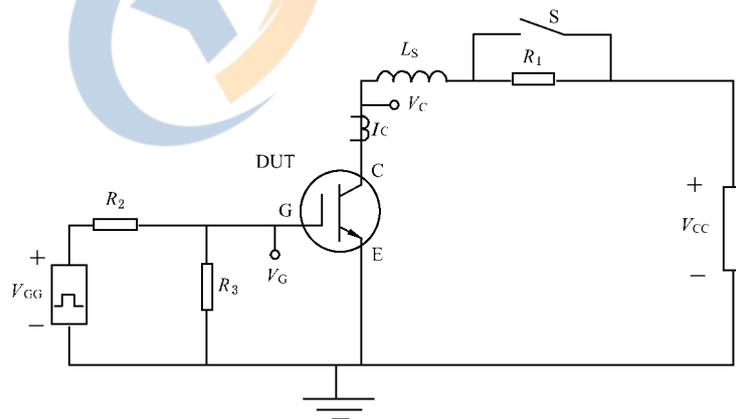


图 9 短路安全工作区 2(SCSOA 2)试验电路

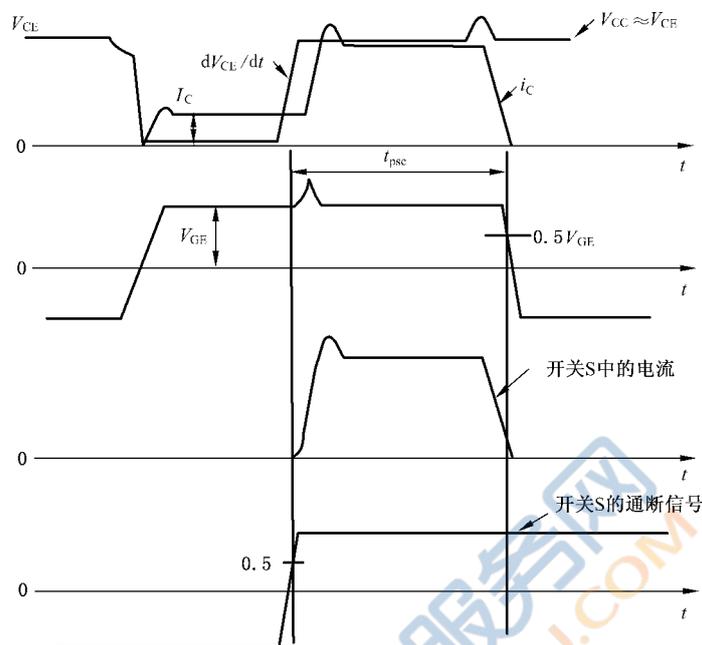


图 10 SCSOA 2 期间的波形

6.2.6.3.3 电路说明

L_s 是表征允许的最大无钳位杂散电感的电感器。开关 S 的阻抗应比受试器件 DUT 低得多,且载流能力应显著大于要求的 DUT 短路电流,其型号或特性应予规定。

6.2.6.3.4 试验程序

设定温度为规定值。施加规定的断态栅极-发射极电压。设定集电极-发射极电压为规定值。施加规定的栅极-发射极通态脉冲。

监测 I_C 、 V_{CE} 、 V_{GE} 和开关 S 的通断信号,以观察受试器件 DUT 是否正确地开通和关断。

6.2.6.3.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 短路前的集电极电流 $I_C (= V_{CC}/R_1)$;
- 集电极-发射极电压 $V_{CE} \approx V_{CC}$;
- 通态和断态时的栅极-发射极电压 V_{GE} ;
- 栅极脉冲宽度 t_{psc} ;
- 栅极电阻器 R_2 和 R_3 ;
- 无钳位的杂散电感 L_s ;
- 如有限制,开关 S 的型号或特性。

6.3 测量方法

6.3.1 集电极-发射极维持电压 V_{CE^*sus}

6.3.1.1 目的

在规定条件下,通过测量确保 IGBT 的集电极-发射极维持电压不低于最大规定值 V_{CE^*sus} 。

6.3.1.2 电路图

电路图如图 11 所示。

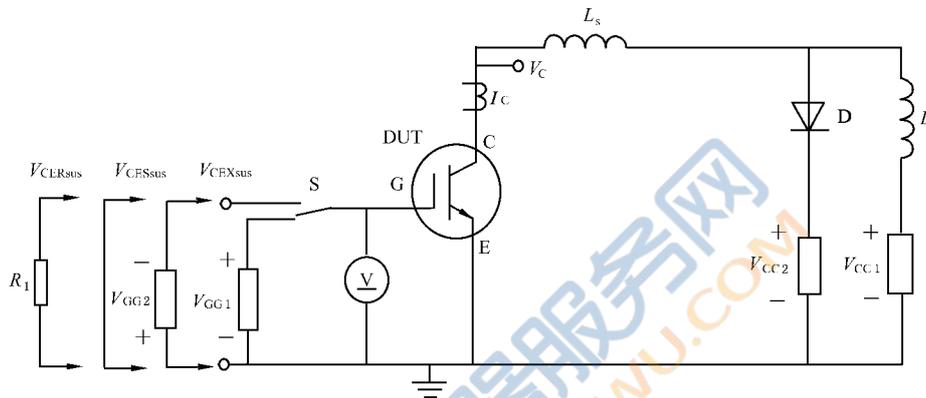


图 11 集电极-发射极维持电压 V_{CE^*sus} 测量电路

6.3.1.3 电路说明和要求

被测器件 DUT 在脉冲条件下工作在饱和状态。

由于电感器 L , 关断栅极电压使 DUT 经过一个电流-电压周期的扫描。

电源 V_{CC1} 是可调的, 以使集电极电流设定为规定值。

图 11 中, 可调电压源 V_{CC2} 与串联二极管构成电压钳位单元用以限制电压 V_{CE} 。 V_{CC2} 设定为期望的 V_{CE^*sus} 。

负载电感 L 的最小值可在详细规范中给出, 也可由式(1)计算:

$$L_{min} = (V_{CC2} - V_{CC1}) \times t_{off} / 0.1 I_C \quad \dots\dots\dots (1)$$

这保证 I_C 在 t_{off} 期间的减少量不超过 10%。

6.3.1.4 测量程序

调整钳位单元工作在规定的最小值 V_{CE^*sus} 。 当电压 V_{CC1} 设定为零时, 调整 V_{GE} , 使电流 I_C 在 V_{CE} 饱和的条件下能达到规定值(图 12 中的 A 点)。

逐渐增加 V_{CC1} 至电流 I_C 达到对应于期望的 V_{CE^*sus} (图 12 中的 B 点)。 因此, 周期开始时的电流可达到略高于规定电流 I_C 的值 I_0 (图 12 中的 A' 点)。

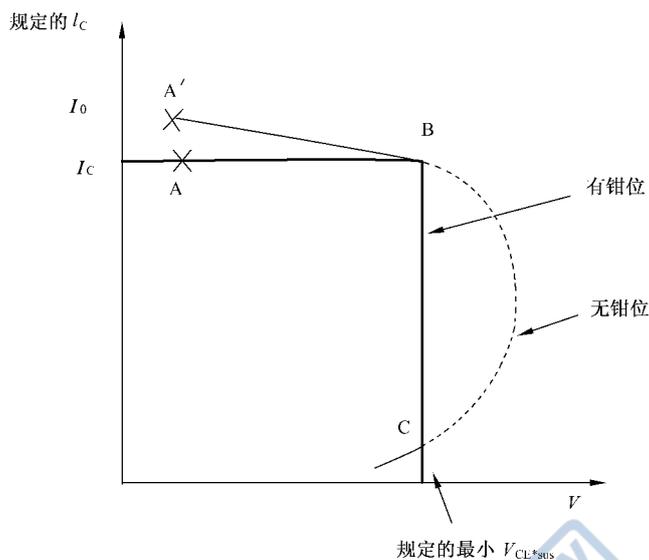


图 12 集电极电流的运行轨迹

6.3.1.5 注意事项

初步试验时,应通过降低钳位单元 V_{CC2} 的电压验证其钳位作用。然后,钳位单元应调整到对应于电流 I_C 规定值的 V_{CE} 期望值(图 12 中的 B 点)。

6.3.1.6 要求

- 轨迹由 B 点向 C 点移动而不越过直线 BC 的左侧时,被测器件 DUT 符合要求;
- 未使用钳位单元时,如轨迹在 B 点附近有效地改变走向(如图 12 所示),被测器件 DUT 符合要求。

6.3.1.7 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 集电极电流 I_C ;
- 最低维持电压 V_{CERsus} 、 V_{CESsus} 、 V_{CEXsus} ;
- 负载电感 L (适用时);
- 无钳位的杂散电感 L_s ;
- 栅极电压脉冲发生器 V_G 的频率(如不是 50 Hz);
- 栅极电阻器 R_1 (如有);
- 栅极-发射极电压 V_{GE1} 和 V_{GE2} 。

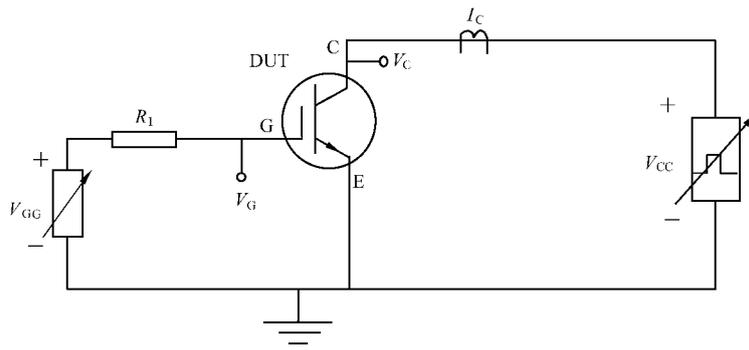
6.3.2 集电极-发射极饱和电压 V_{CEsat}

6.3.2.1 目的

在规定条件下,测量 IGBT 的集电极-发射极饱和电压。

6.3.2.2 电路图

电路图如图 13 所示。

图 13 集电极-发射极饱和电压 V_{CEsat} 测量电路

6.3.2.3 电路说明

V_{GG} 是电压源。 V_{CC} 提供不产生显著热量的窄脉冲集电极电流。

6.3.2.4 注意事项

测量期间,被测器件 DUT 中不应产生显著的热耗散。

6.3.2.5 测量程序

设定温度为规定值,该值与栅极-发射极电压和集电极电流规定值适应。测量集电极-发射极饱和电压 $V_{CE} = V_{CEsat}$ 。

6.3.2.6 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 栅极-发射极电压 V_{GE} ;
- 集电极电流 I_c 。

6.3.3 栅极-发射极阈值电压 $V_{GE(th)}$

6.3.3.1 目的

在规定条件下,测量 IGBT 的栅极-发射极阈值电压。

6.3.3.2 电路图

电路图如图 14 所示。

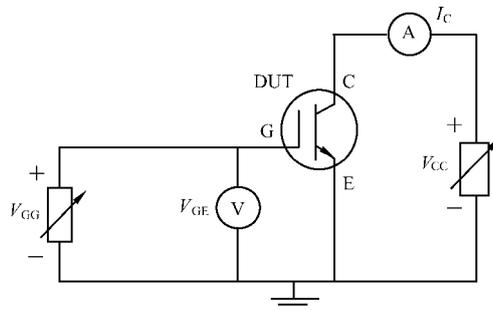


图 14 栅极-发射极阈值电压基本测量电路

6.3.3.3 电路说明

V_{CC} 和 V_{GG} 是电压源。

6.3.3.4 测量程序

设定温度和集电极-发射极电压 V_{CE} 为规定值。增加栅极-发射极电压 V_{GE} 至集电极电流 I_C 达到规定值。测量该电流下的栅极-发射极电压。

6.3.3.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ；
- 集电极电流 I_C 。

6.3.4 集电极截止电流 I_{CES} 、 I_{CER} 、 I_{CEX}

6.3.4.1 目的

在规定的条件下，测量IGBT的集电极截止电流。

6.3.4.2 电路图

电路图如图15所示。

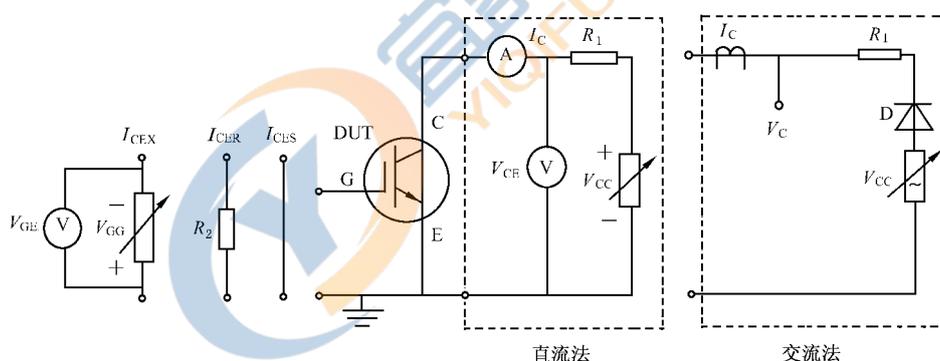


图15 集电极截止电流测量电路

6.3.4.3 电路说明

V_{CC} 和 V_{GG} 是电压源。 R_1 是电路保护电阻器。

6.3.4.4 测量程序

如图15所示，有两种方法，即直流法和交流法。

设定温度为规定值。增加电压 V_{CE} 至达到其规定值。通过电流表或电流探头读出截止电流 I_{CES} 、 I_{CER} 或 I_{CEX} 。

6.3.4.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；

- 对于交流法:50 Hz 或 60 Hz(另有规定除外)电压源 V_{CC} ;
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ;
- 对于 I_{CER} :连接在栅极端与发射极端间的电阻器 R_2 ;
- 对于 I_{CES} :栅极端与发射极端间短路;
- 对于 I_{CEX} :栅极-发射极电压 V_{GE} 。

6.3.5 栅极漏电流 I_{GES}

6.3.5.1 目的

在集电极-发射极短路条件下,测量 IGBT 的栅极-发射极漏电流。

6.3.5.2 电路图

电路图如图 16 所示。

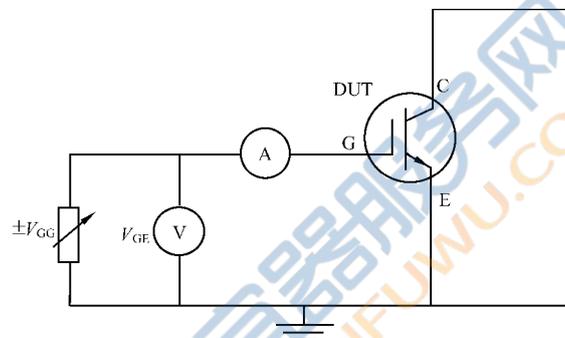


图 16 栅极漏电流测量电路

6.3.5.3 电路说明

V_{GG} 是电压源。

6.3.5.4 测量程序

将集电极端与发射极端短路。设定栅极-发射极电压为规定值。测量栅极-发射极漏电流。

6.3.5.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 栅极-发射极电压 V_{GE} 。

6.3.6 输入电容 C_{ies}

6.3.6.1 目的

在规定的条件下,测量 IGBT 的输入电容。

6.3.6.2 电路图

电路图如图 17 所示。

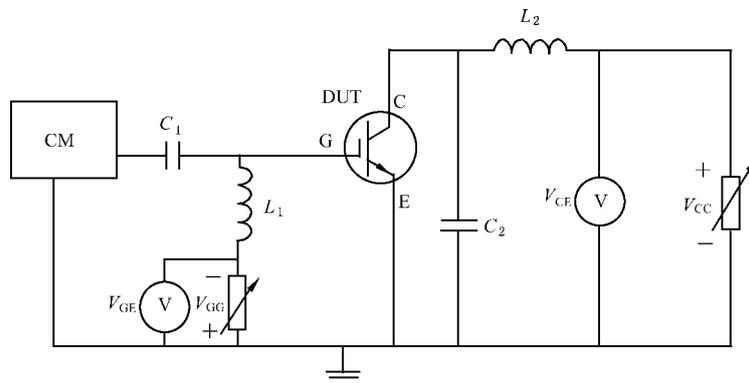


图 17 输入电容测量电路

6.3.6.3 电路说明和要求

CM 是电容表。 V_{CC} 和 V_{GG} 是可调直流电源。电容器 C_1 、 C_2 对测量频率呈现短路。电感器 L_1 、 L_2 用于消除直流电源对测量信号的影响，且满足下列条件：

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

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

其中， y_{ie} ——小信号共发射极短路输入导纳；

y_{oe} ——小信号共发射极短路输出导纳。

6.3.6.4 测量程序

未接入被测器件 DUT 时，将电容表设定为规定的频率。然后，接入 DUT。分别设定温度、栅极-发射极电压 V_{GE} 和集电极-发射极电压 V_{CE} 为规定值。电容 C_{ies} 能在电容表上读出。

6.3.6.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ；
- 栅极-发射极电压 V_{GE} ；
- 测量频率 f 。

6.3.7 输出电容 C_{oes}

6.3.7.1 目的

在规定条件下，测量 IGBT 的输出电容。

6.3.7.2 电路图

电路图如图 18 所示。

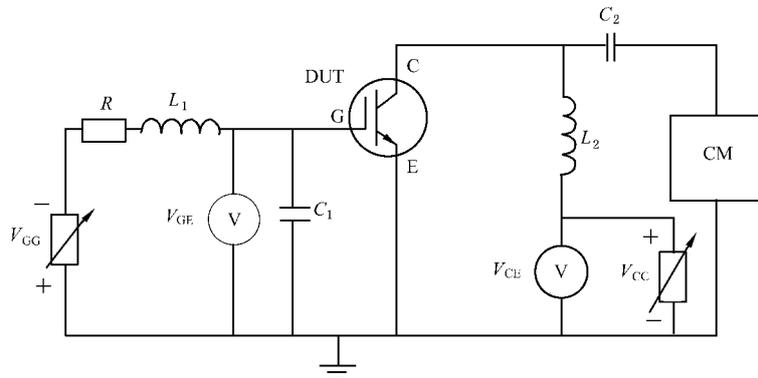


图 18 输出电容测量电路

6.3.7.3 电路说明和要求

CM 是电容表。 V_{CC} 和 V_{GG} 是可调直流电源。电容器 C_1 、 C_2 对测量频率呈现短路。电感器 L_1 、 L_2 用于消除直流电源对测量信号的影响,且满足下列条件:

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

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

6.3.7.4 测量程序

未接入被测器件 DUT 时,将电容表设定为规定的频率。然后,接入 DUT。分别设定温度、栅极-发射极电压 V_{GE} 和集电极-发射极电压 V_{CE} 为规定值。电容 C_{oes} 能在电容表上读出。

6.3.7.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ;
- 栅极-发射极电压 V_{GE} ;
- 测量频率 f 。

6.3.8 反向传输电容 C_{res}

6.3.8.1 目的

在规定条件下,测量 IGBT 的反向传输电容。

6.3.8.2 电路图

电路图如图 19 所示。

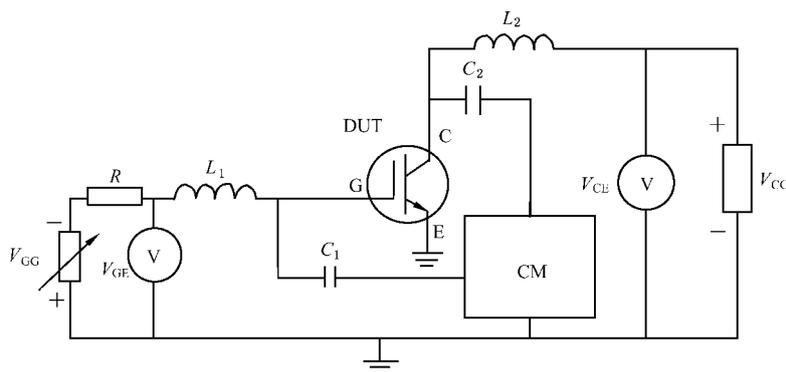


图 19 反向传输电容测量电路

6.3.8.3 电路说明和要求

CM 是电容表。V_{CE} 和 V_{GG} 是可调直流电源。电容器 C₁、C₂ 对测量频率构成充分的短路。电阻器 R 的值不应太大。电感器 L₁ 和 L₂ 用于消除直流电源对测量信号的影响。

6.3.8.4 测量程序

未接入被测器件 DUT 时,将电容表设定为规定的频率。然后,接入 DUT。分别设定温度、栅极-发射极电压 V_{GE} 和集电极-发射极电压 V_{CE} 为规定值。电容 C_{res} 能在电容表上读出。

6.3.8.5 规定条件

- 环境温度 T_a、管壳温度 T_c 或结温 T_j;
- 集电极-发射极电压 V_{CE};
- 栅极-发射极电压 V_{GE};
- 测量频率 f。

6.3.9 栅极电荷 Q_G

6.3.9.1 目的

在规定条件下,测量 IGBT 的栅极电荷。

6.3.9.2 电路图和波形

电路图和波形分别如图 20 和图 21 所示。

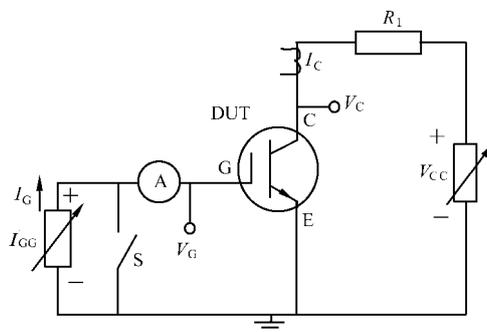


图 20 栅极电荷测量电路

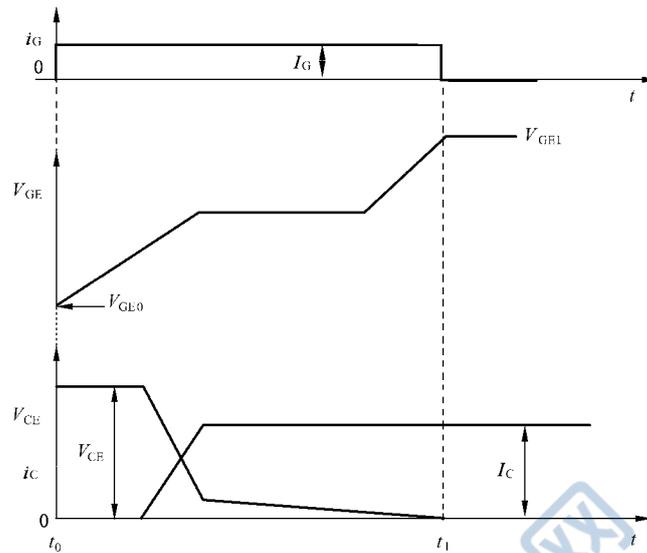


图 21 栅极电荷基本波形

6.3.9.3 电路说明

V_{CC} 是电压源。 R_1 是电路保护电阻器。

6.3.9.4 测量程序

在栅极施加恒定电流 I_G 至栅极-发射极电压 V_{GE} 达到其规定值。监测零点 t_0 至 t_1 时的集电极-发射极电压 V_{CE} 和栅极-发射极电压 V_{GE} 。栅极总电荷由式(2)计算：

$$Q_G = \int_{t_0}^{t_1} i_G(t) dt = I_G(t_1 - t_0) \dots\dots\dots(2)$$

6.3.9.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 集电极电流 I_C ；
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ；
- t_0 时的栅极-发射极电压 V_{GE0} 和 t_1 时的 V_{GE1} 。

6.3.10 栅极内阻 r_g

6.3.10.1 目的

在规定条件下,测量 IGBT 的栅极内阻。

6.3.10.2 电路图

电路图如图 22 所示。

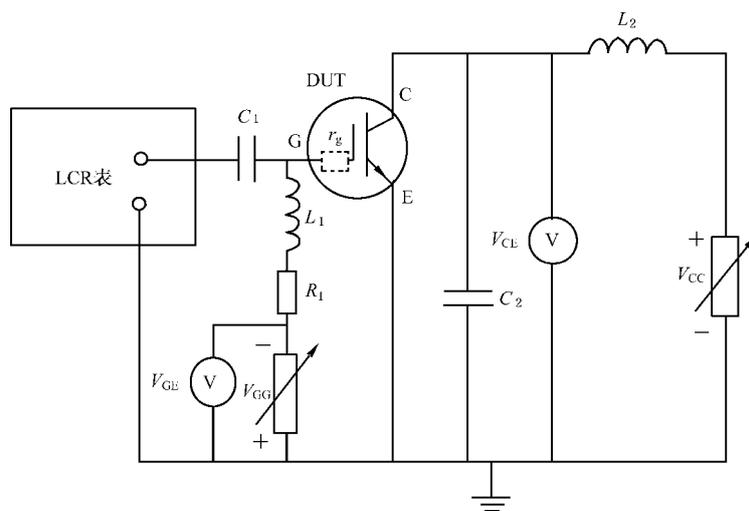


图 22 短路栅极内阻测量电路

6.3.10.3 电路说明和要求

为实现零位法,使用 LCR 表。在测量频率下, C_2 应远大于 C_{oes} , ωC_1 远大于 $|y_{ie}|$ 。电感器 L_1 、 L_2 的阻抗应足够高,以便调整电桥进行补偿。

$$\begin{aligned} 1/\omega L_1 &\ll |y_{ie}| \text{ 和 } \omega C_1 \gg |y_{ie}| \\ 1/\omega L_2 &\ll |y_{oe}| \text{ 和 } \omega C_2 \gg |y_{oe}| \end{aligned}$$

6.3.10.4 测量程序

设定集电极-发射极电压 V_{CE} 和栅极-发射极电压 V_{GE} 为规定值。用 LCR 表的串联电容/电阻模式测量栅极内阻 r_g 。

6.3.10.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ;
- 栅极-发射极电压 V_{GE} ;
- 测量频率 f 。

6.3.11 开通期间的各时间间隔 ($t_{d(on)}$ 、 t_r 、 t_{on}) 和开通能量 E_{on}

6.3.11.1 目的

在感性负载和规定条件下,测量 IGBT 的开通期间的各时间间隔 $t_{d(on)}$ 、 t_r 、 t_{on} 和开通能量 E_{on} 。

6.3.11.2 电路图和波形

电路图和波形分别如图 23 和图 24 所示。

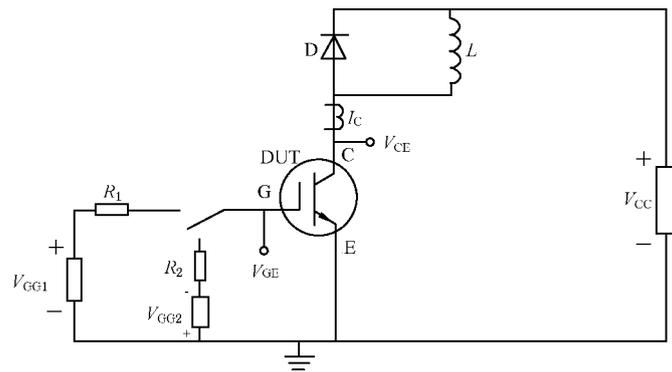


图 23 开通期间的各时间间隔和开通能量测量电路

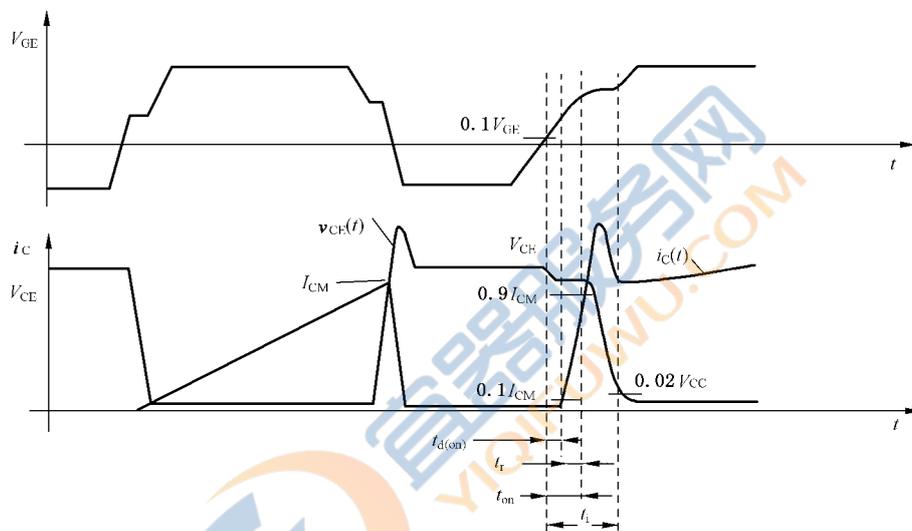


图 24 开通期间的电流、电压波形

6.3.11.3 电路说明和要求

D 是电感器 L 的续流二极管。

6.3.11.4 测量程序

设定电源 V_{GG1} 、 V_{GG2} 和 V_{CC} 为规定值。

开通和关断被测器件 DUT 两次，观测其第二次开通。在第一个脉冲期间，集电极电流 I_C 达到其规定值。电感 L 应足够大，以保证集电极电流 I_C 在续流期间保持恒定。同时监测集电极电流 I_C 、栅极-发射极电压 V_{GE} 和集电极-发射极电压 V_{CE} 。

开通能量 E_{on} 为 $V_{CE} \times I_C \times dt$ 的积分。积分时间 t_i 自栅极-发射极电压 V_{GE} 上升至其 10% 的时刻起，至规定的集电极-发射极电压 V_{CE} 低值 (电源电压 V_{CC} 的 2%) 的时刻止。

开通耗散功率为开关频率与由积分确定的单脉冲开通能量的乘积。

6.3.11.5 规定条件

- 被测器件 DUT 和续流二极管 D 的环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 电源电压 V_{CC} ；
- 临近第一次关断前的集电极电流 I_{CM} ；

- 开通前的栅极-发射极电压 $-V_{GE}$ 和开通后的栅极-发射极电压 $+V_{GE}$ ；
- 栅极电阻器 R_1 ($R_{G(on)}$)；
- 续流二极管 D 的特性。

注：如果续流二极管与 IGBT 封装在同一个外壳中，则应选择相同的续流二极管用于测量电路。

6.3.12 关断期间的各时间间隔 ($t_{d(off)}$ 、 t_f 、 t_{off} 、 t_Z) 和关断能量 E_{off}

6.3.12.1 目的

在感性负载和规定条件下，测量 IGBT 的关断期间的各时间间隔 ($t_{d(off)}$ 、 t_f 、 t_{off} 、 t_Z) 和关断能量 E_{off} 。

6.3.12.2 电路图和波形

电路图和波形分别如图 25 和图 26 所示。

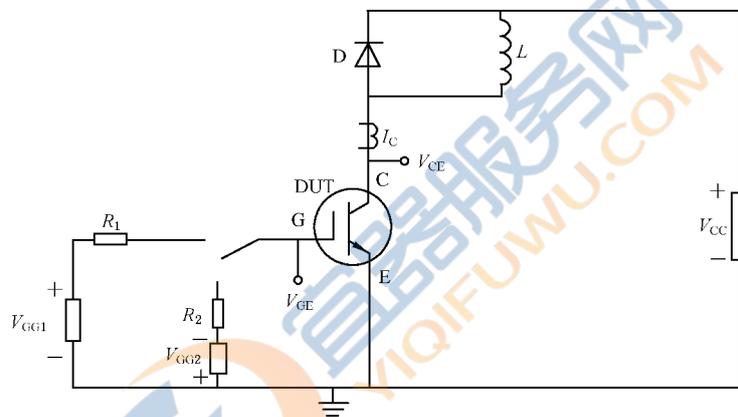


图 25 关断期间的各时间间隔和关断能量测量电路

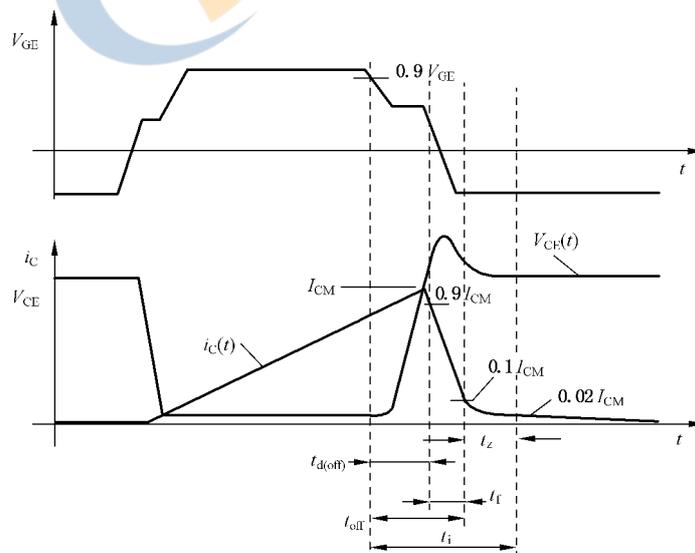


图 26 关断期间的电流、电压波形

6.3.12.3 电路说明和要求

D 是电感器 L 的续流二极管。

6.3.12.4 测量程序

设定电源 V_{GG1} 、 V_{GG2} 和 V_{CC} 为规定值。

被测器件 DUT 最短开通脉冲持续时间必须保证 DUT 完全饱和。同时监测集电极电流 I_C 、栅极-发射极电压 V_{GE} 和集电极-发射极电压 V_{CE} 。

关断能量 E_{off} 为 $V_{CE} \times I_C \times dt$ 的积分。积分时间 t_i 自栅极-发射极电压 V_{GE} 下降至其 90% 的时刻起,至规定的集电极电流 I_C 低值(关断前 I_C 的 2%)的时刻止。

关断耗散功率为开关频率与由积分确定的单脉冲关断能量的乘积。

6.3.12.5 规定条件

- 被测器件 DUT 和续流二极管 D 的环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 电源电压 V_{CC} ;
- 关断前的集电极电流 I_{CM} ;
- 关断前的栅极-发射极电压 $+V_{GE}$ 和关断后的栅极-发射极电压 $-V_{GE}$;
- 栅极电阻器 R_2 ($R_{G(off)}$)。

6.3.13 结-壳热阻 $R_{th(j-c)}$ 和结-壳瞬态热阻抗 $Z_{th(j-c)}$

6.3.13.1 方法 1(采用小电流的集电极-发射极电压作为热敏参数)

6.3.13.1.1 目的

测量 IGBT 的结-壳热阻和(或)结-壳瞬态热阻抗。

测量分两步进行:

- a) 确定小测量电流下的集电极-发射极电压温度系数;
- b) 测量被测器件 DUT 对内部耗散功率阶跃变化的响应特性。

6.3.13.1.2 电路图

电路图如图 27 所示。

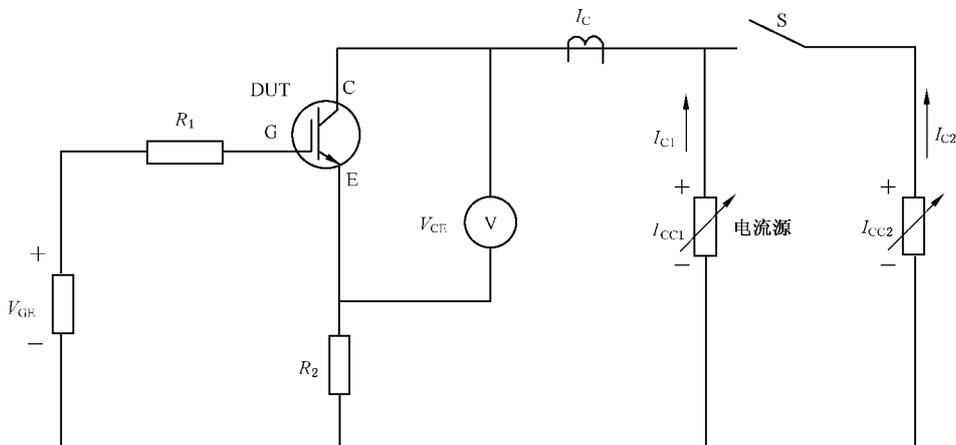


图 27 小测量电流 I_{C1} 下 V_{CE} 随温度变化和大电流 I_{C2} 加热被测器件 DUT 的测量电路

6.3.13.1.3 电路说明和要求

电流源 I_{CC1} 提供集电极直流小电流 I_{C1} , I_{C1} 恰好足以使集电极-发射极电压 V_{CE} 超过其饱和值。电子功率开关 S 提供叠加在 I_{C1} 之上的高值集电极电流 I_{C2} 。切断 I_{C2} 后,被测器件 DUT 返回到 I_{C1} 流通状态。

R_2 是测量电流的电阻器,可采用其他任何适当的电流探头替代。

6.3.13.1.4 测量程序

a) 确定小测量电流 I_{C1} 下的集电极-发射极电压 V_{CE} 温度系数 α_{VCE} (见图 28)

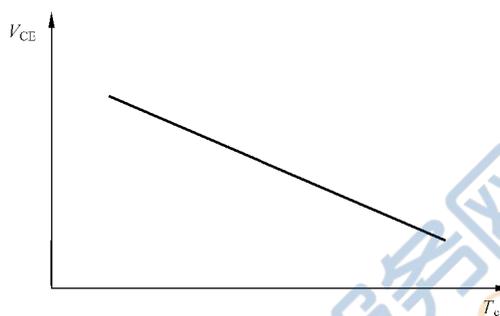


图 28 小测量电流 I_{C1} 下 V_{CE} 随管壳温度 T_c (外加热,即 $T_c = T_j$ 时) 的典型变化

将被测器件 DUT 置于加热箱或惰性液体中,依次加热至温度 T_1 和 T_2 。测量前必须达到热平衡。在温度 T_1 ,对应测量电流 I_{C1} 的集电极-发射极电压为 V_{CE1} 。在较高温度 T_2 ,则为 V_{CE2} 。温度系数 α_{VCE} 由式(3)计算:

$$\alpha_{VCE} = (V_{CE1} - V_{CE2}) / (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots (3)$$

b) 测量被测器件 DUT 对内部耗散功率阶跃变化的响应特性

将被测器件 DUT 固定在适当的散热器上。测量管壳温度 T_{c1} 。在温度 T_{c1} ,测量电流 I_{C1} 产生的集电极-发射极电压 V_{CE3} 。接通功率开关 S,高值集电极电流 I_{C2} 流通。当建立起热平衡时,测量 $T_c =$ 恒定值 $= T_{c2}$ 和 $V_{CE} = V_{CE4}$ 。这时,切断 I_{C2} ,且紧接着测量对应 I_{C1} 的集电极-发射极电压 V_{CE5} 。则在该瞬间有式(4)和式(5):

$$T_j = T_{c1} + (V_{CE3} - V_{CE5}) / \alpha_{VCE} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R_{th(j-c)} = (T_j - T_{c2}) / (V_{CE4} \times I_{C2}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

如要测定瞬态热阻抗 $Z_{th(j-c)}$,则记录切断 I_{C2} 后的冷却期间内,在 I_{C1} 下的 V_{CE} 和 T_c 随时间的变化。 $Z_{th(j-c)}$ 的值由式(5)逐点计算得到。

6.3.13.1.5 规定条件

——测量管壳温度的基准点。

6.3.13.2 方法 2(采用栅极-发射极阈值电压作为热敏参数)

6.3.13.2.1 目的

测量 IGBT 的结-壳热阻和(或)结-壳瞬态热阻抗(方法 2)。

测量分两步进行:

- a) 确定小测量电流下的栅极-发射极电压温度系数 C_T ;
- b) 测量被测器件 DUT 对内部耗散功率阶跃变化的响应特性。

6.3.13.2.2 电路图

电路图如图 29 所示。

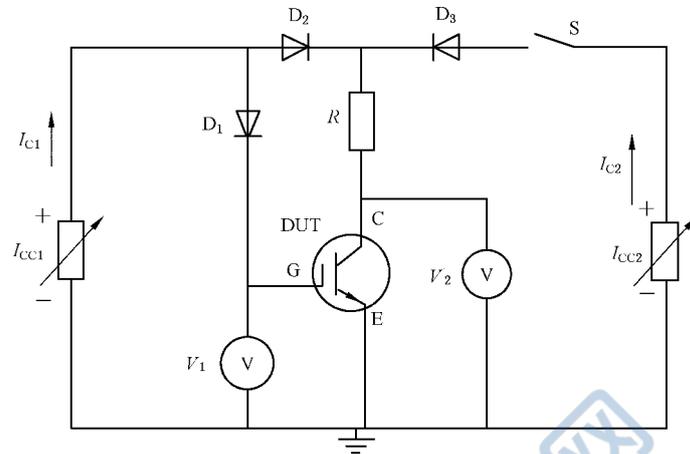


图 29 热阻和瞬态热阻抗测量电路(方法 2)

6.3.13.2.3 电路说明和要求

S 是电子功率开关。 I_{CC1} 是可调电流源，它在开关 S 断开时提供使栅极-发射极电压达到阈值电压 $V_{GE(th)}$ 的集电极直流小电流 I_{C1} 。 I_{CC2} 是在开关 S 接通时提供高值集电极电流 I_{C2} 的可调电流源。电流 I_{C2} 应足够大，以使 $I_C = I_{C1} + I_{C2}$ 达到其额定值。 D_1 、 D_2 和 D_3 是隔离二极管。 V_1 和 V_2 是直流电压表。 R 是测量电流的电阻器，可采用其他任何适当的电流探头替代。

6.3.13.2.4 测量程序

- a) 确定小测量电流 I_{C1} 下的栅极-发射极电压 $V_{GE(th)}$ 温度系数 C_T (见图 30)

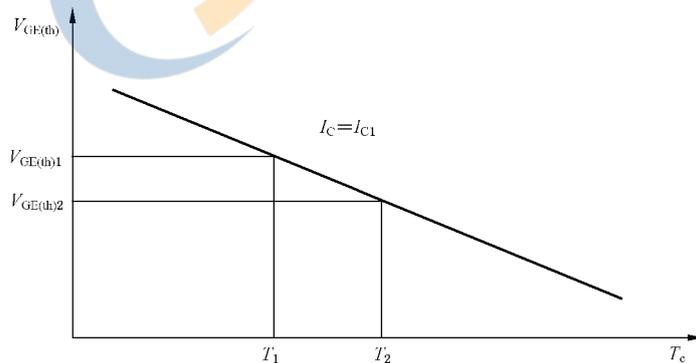


图 30 小测量电流 I_{C1} 下 $V_{GE(th)}$ 随管壳温度 T_c (外加热, 即 $T_c = T_j$ 时) 的典型变化

将被测器件 DUT 置于加热箱或惰性液体中，依次加热至温度 T_1 和 T_2 ($T_2 > T_1$)。测量前必须达到热平衡。在温度 T_1 ，测量电流 I_{C1} 下的栅极-发射极阈值电压 $V_{GE(th)1}$ 。在温度 T_2 ，则为 $V_{GE(th)2}$ 。温度系数 C_T 由式(6)计算：

$$C_T = |(V_{GE(th)1} - V_{GE(th)2}) / (T_2 - T_1)| \quad (\text{V/K}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

- b) 测量被测器件 DUT 对内部耗散功率阶跃变化的响应特性(见图 31)

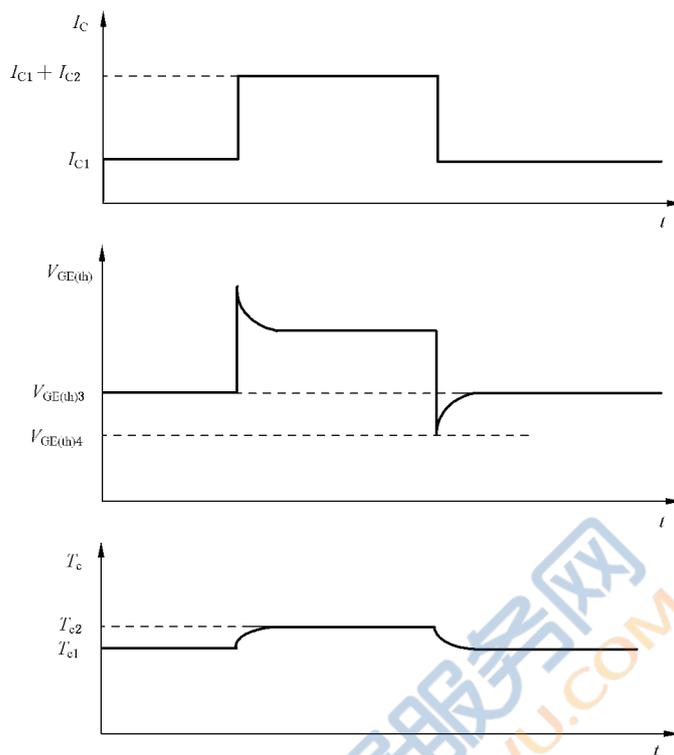


图 31 I_C 、 V_{GE} 和 T_c 与时间的关系

将被测器件 DUT 固定在适当的散热器上。测量管壳温度 T_{c1} 。在温度 T_{c1} ，测量电流 I_{C1} 产生的栅极-发射极阈值电压 $V_{GE(th)3}$ 。接通开关 S，高值集电极电流 I_{C2} 流通。当建立起热平衡时，测量 $T_c =$ 恒定值 = T_{c2} 和 V_{CE} 。这时，切断 I_{C2} ，且紧接着测量对应 I_{C1} 的栅极-发射极阈值电压 $V_{GE(th)4}$ 。则有式(7)和式(8)：

$$T_j = T_{c1} + (V_{GE(th)3} - V_{GE(th)4}) / C_T \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R_{th(j-c)} = (T_j - T_{c2}) / (V_{CE} \times I_{C2}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

如要测定瞬态热阻抗 $Z_{th(j-c)}$ ，则记录切断 I_{C2} 后的冷却期间内，在 I_{C1} 下的 V_{CE} 和 T_c 随时间的变化。 $Z_{th(j-c)}$ 的值用以上公式逐点计算得到。

6.3.13.2.5 规定条件

——测量管壳温度的基准点。

7 接收和可靠性

7.1 一般要求

IEC 60747-1:2006 的 7.2 适用。
 耐久性试验的试验时间应在详细规范中给出。

7.2 特殊要求

7.2.1 耐久性和可靠性试验

耐久性试验从图 32~图 34 中选择。
 评估极限值的一些试验方法见附录 A~附录 D。

7.2.2 耐久性和可靠性试验条件

试验条件和试验电路如图 32~图 34 所述。详细规范将给出适用的试验。

7.2.3 耐久性和可靠性试验的接收判定特性和接收判据

接收判定特性、接收判据和测量条件列于表 2。

注：由于某些失效机理引起的特性变化可完全或部分地被其他测量的影响掩盖，宜以表 1 列出的顺序测量特性。这些特性通常在公开的详细规范中给出。它们可能超出初始产品试验规定值。

表 2 耐久性和可靠性试验接收判定特性

特 性	接收判据	测量条件
I_{CES}	$<USL$	规定的 V_{CE}
I_{GES}	$<USL$	规定的 V_{GE}
$V_{GE(th)}$	$>LSL$ $<USL$	规定的 V_{CE} 和 I_C
V_{CEsat}	$<USL$	规定的 I_C
R_{th}	$<USL$	规定的 I_C

注：USL——规范上限值；LSL——规范下限值。

7.2.4 试验出现差错时的处理

使用不准确的或故障试验设备得到的试验结果不应用于器件的评估。

7.2.5 耐久性和可靠性试验及其试验方法

7.2.5.1 高温阻断(HTRB)

7.2.5.1.1 工作条件

电压：优先采用 $80\%V_{CESmax}$ 或 $80\%V_{CEXmax}$ ；

温度：规定值，优先采用最高结温 $T_{j(max)}$ 或 $T_c = T_{stg(max)} - 5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

7.2.5.1.2 试验电路

电路图如图 32 所示。

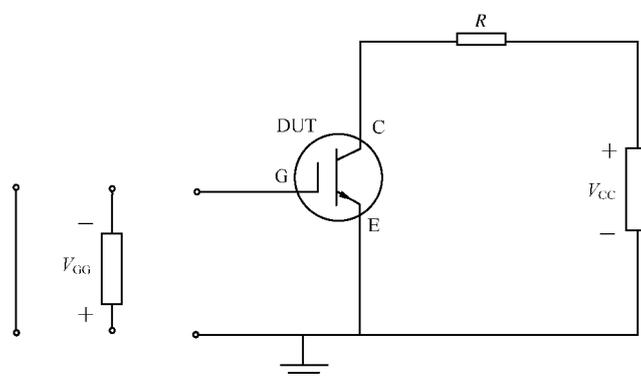


图 32 高温阻断试验电路

7.2.5.2 高温栅极偏置

7.2.5.2.1 工作条件

电压: 优先采用直流 V_{GESmax} 规定值的 80% ;
 温度: 优先采用最高结温 $T_{j(max)}$ 或 $T_c = T_{stg(max)} - 5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

7.2.5.2.2 试验电路

电路图如图 33 所示。

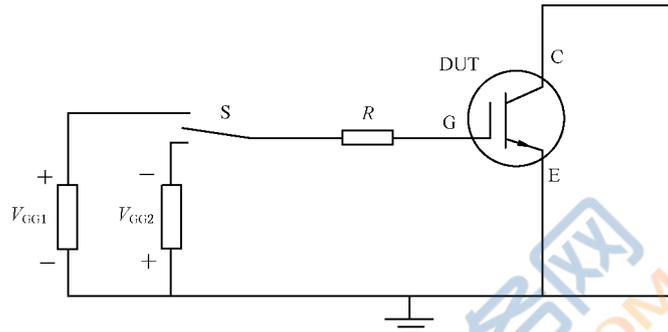


图 33 高温栅极偏置试验电路

7.2.5.3 间歇工作寿命(负载循环)

7.2.5.3.1 工作条件

电流: 规定值;
 温升: ΔT_j , 按规定;
 栅极-发射极电压 V_{GE} : 规定值;
 管壳温度: 方法 1: $T_c = \text{常数}$;
 方法 2: T_c 随 T_j 变化;
 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。

7.2.5.3.2 试验电路

电路图如图 34 所示。期望循环次数与温升 ΔT_j 的关系见图 35。

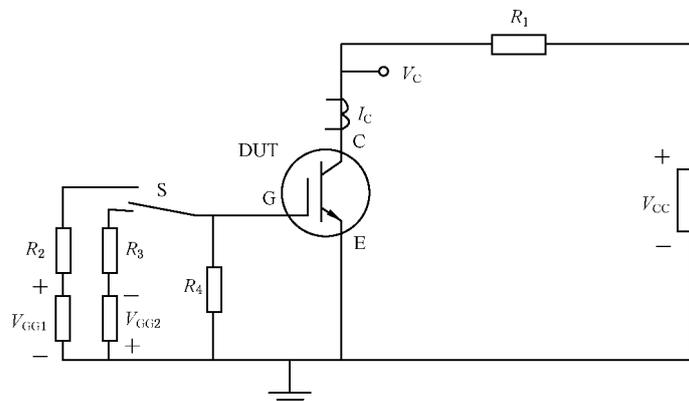


图 34 间歇工作寿命试验电路

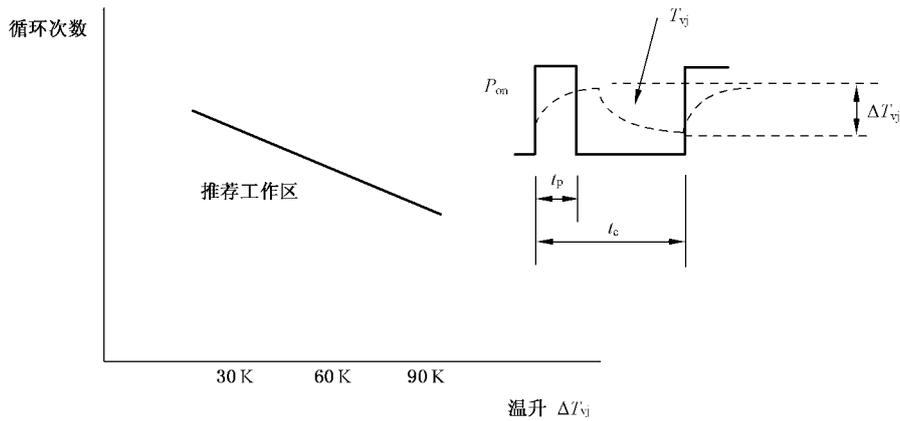


图 35 期望循环次数与温升 ΔT_j 的关系

7.3 型式试验和例行试验

7.3.1 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 3。其中,某些项目是破坏性的。

7.3.2 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 3,除非供货商与采购商另有协议。

表 3 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	集电极-发射极电压 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX}	×	×
6.2.2	栅极-发射极电压 $\pm V_{GES}$	×	
6.2.3	集电极电流 I_C	×	
6.2.4	集电极峰值电流 I_{CM}	×	
6.2.5	反偏安全工作区 RBSOA	×	
6.2.6	短路安全工作区 SCSOA	×	
特性测量			
6.3.1	集电极-发射极维持电压 $V_{CE * sus}$	×	
6.3.2	集电极-发射极饱和电压 V_{CEsat}	×	×

表 3 (续)

条号	项 目	型式试验	例行试验
6.3.3	栅极-发射极阈值电压 $V_{GE(th)}$	×	×
6.3.4	集电极-发射极截止电流 I_{CES} 、 I_{CER} 、 I_{CEX}	×	×
6.3.5	栅极漏电流 I_{GES}	×	×
6.3.6	输入电容 C_{ies}	×	
6.3.7	输出电容 C_{oes}	×	
6.3.8	反向传输电容 C_{res}	×	
6.3.11	开通期间的各时间间隔 ($t_{d(on)}$ 、 t_r 、 t_{on}) 和开通能量 E_{on}	×	
6.3.12	关断期间的各时间间隔 ($t_{d(off)}$ 、 t_f 、 t_{off} 、 t_Z) 和关断能量 E_{off}	×	
6.3.13	结-壳热阻 $R_{th(j-c)}$ 和结-壳瞬态热阻抗 $Z_{th(j-c)}$	×	
耐久性和可靠性试验			
7.2.5.1	高温阻断 HTRB	×	
7.2.5.2	高温栅极偏置	×	
7.2.5.3	间歇工作寿命(负载循环)	×	

附录 A

(规范性附录)

集电极-发射极击穿电压试验方法

A.0 引言

以下试验或测量可能超过规定的额定值,受试 IGBT 可能出现特性变化或损坏。然而,为评估极限值,本附录给出这些试验或测量。以数据形式给出特性的信息时,测量应在规定的限制条件下进行。

A.1 目的

检验用于评估耐久性试验期间 IGBT 特性变化或降额的集电极-发射极击穿电压。

A.2 电路图

电路图如图 A.1 所示。

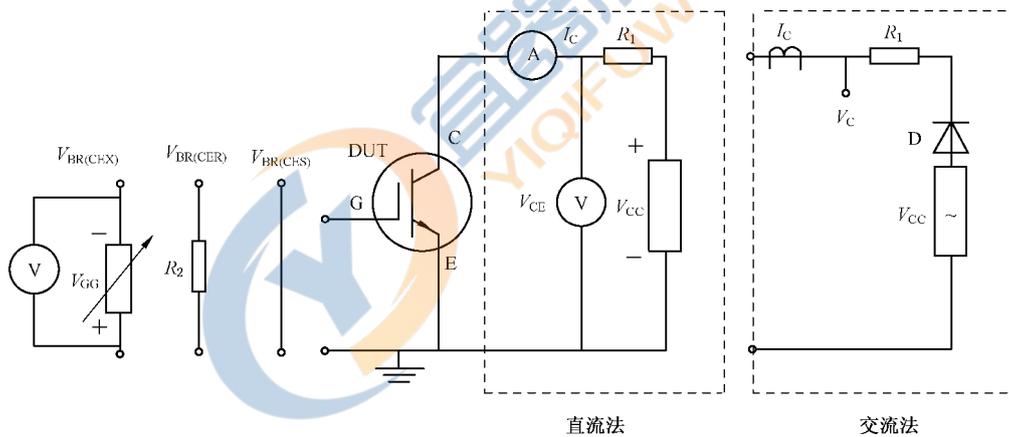


图 A.1 集电极-发射极击穿电压试验电路

A.3 试验程序

按图 A.1,有两种方法,即直流法和交流法。

设定温度为规定值。在规定的 T_a 、 T_c 或 T_j 和栅极-发射极条件下,增加电压 V_{CE} 至集电极电流急剧上升。试验后,确认表 1 给出的受试器件 DUT 接收判据。

A.4 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 栅极-发射极偏置;

- 对于 $V_{(BR)CEX}$: 栅极-发射极电压 V_{GE} ;
- 对于 $V_{(BR)CER}$: 栅极端和发射极端间连接的电阻器 R_2 ;
- 对于 $V_{(BR)CES}$: 栅极端和发射极端间短路。



附录 B

(规范性附录)

在规定条件下,电感性负载关断电流试验方法

B.0 引言

以下试验或测量可能超过规定的额定值,受试 IGBT 可能出现特性变化或损坏。然而,为评估极限值,本附录给出这些试验或测量。以数据形式给出特性的信息时,测量应在规定的限制条件下进行。

B.1 目的

在规定条件下,检验 IGBT 电感性负载关断电流。

B.2 电路图和波形

电路图和波形分别如图 B.1 和图 B.2 所示。

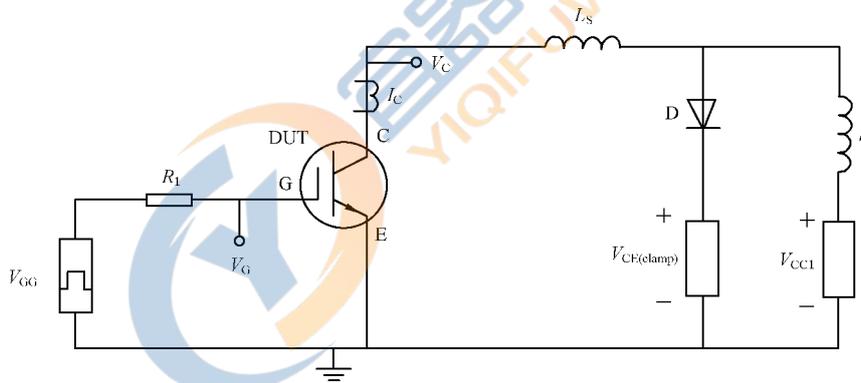
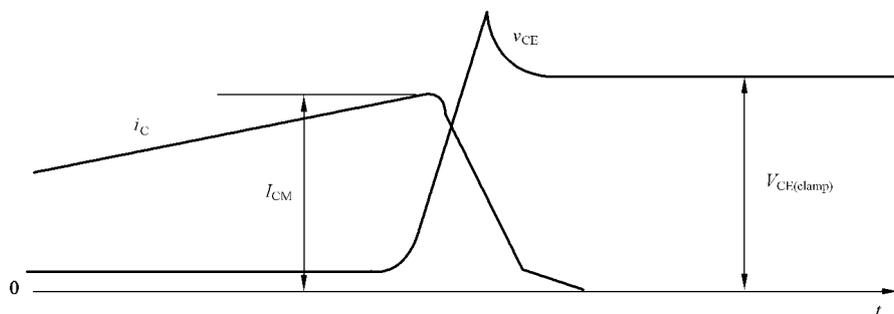


图 B.1 电感性负载关断电流试验电路

图 B.2 关断期间,集电极电流 I_C 和集电极电压 V_{CE} 波形

B.3 电路说明和要求

负载电感 L 应足够大,以使在下降时间 t_f 以及尾部时间 t_z 开始前对受试器件 DUT 施加 $V_{CE(\text{clamp})}$ 。

B.4 试验程序

增加 I_C 至在规定的 V_{CE} 下出现关断失败。监测 V_{CE} 和 I_C 。

B.5 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ;
- 栅极-发射极反向电压 $-V_{GE}$;
- 集电极-发射极电压 $V_{CE(\text{clamp})}$;
- 单脉冲或脉冲重复率;
- 电感 L ;
- 栅极电阻器 R_1 ;
- 无钳位的杂散电感 L_s 。

注:对于大尺寸器件,应考虑其封装的杂散电感量。



附 录 C
(规范性附录)
正偏安全工作区 FBSOA

C.0 引言

以下试验或测量可能超过规定的额定值,受试 IGBT 可能出现特性变化或损坏。然而,为评估极限值,本附录给出这些试验或测量。以数据形式给出特性的信息时,测量应在规定的限制条件下进行。

C.1 目的

检验线性应用时,IGBT 在 FBSOA 中可靠工作而不失效。仅当器件能用于线性模式时才规定 FBSOA。开关应用时,对 IGBT 的 FBSOA 不要求。

C.2 方法 1

方法 1 是通过测量热阻确定 FBSOA(从窄脉冲至直流工作方式),与双极晶体管的方法相同。

C.2.1 电路图

电路图如图 C.1 所示。

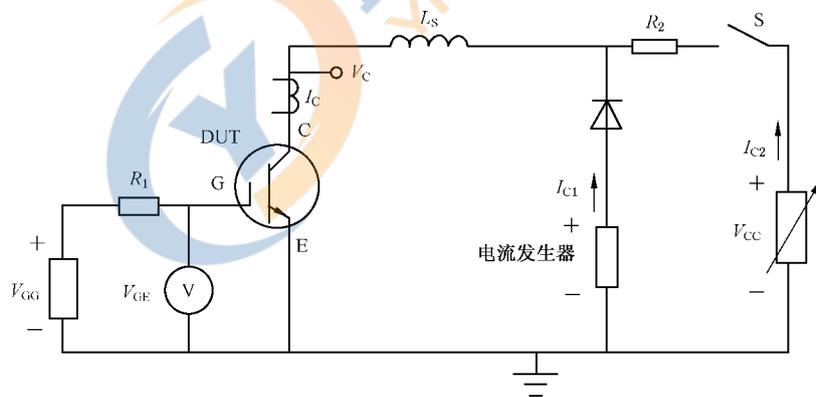


图 C.1 FBSOA 试验电路(方法 1)

C.2.2 试验程序

对于给定的 I_{C2} 和 t_p ,增加集电极-发射极电压 V_{CE} 时,其变化量 ΔV_{CE} 也增加。在某一 V_{CE} 值时, ΔV_{CE} 快速增加,这就是二次击穿开始的迹象。进一步增加 ΔV_{CE} 可使受试器件 DUT 发生二次击穿并可使其损坏。这些现象示于图 C.2。FBSOA 按低于 ΔV_{CE} 上升点条件的值规定。

试验后,确认表 1 给出的 DUT 接收判据。

对于给定的 V_{CE} ,改变高值电流 I_{C2} 的大小也会得到相同结果。

图 C.3 表示在规定的 I_C 和 V_{CE} 最大值范围内,不同 t_p 的典型 FBSOA。

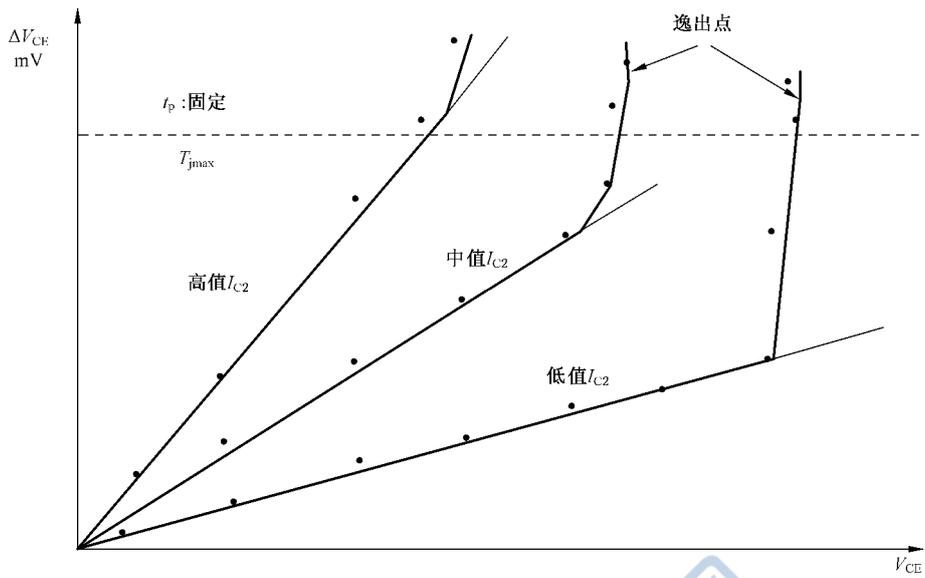
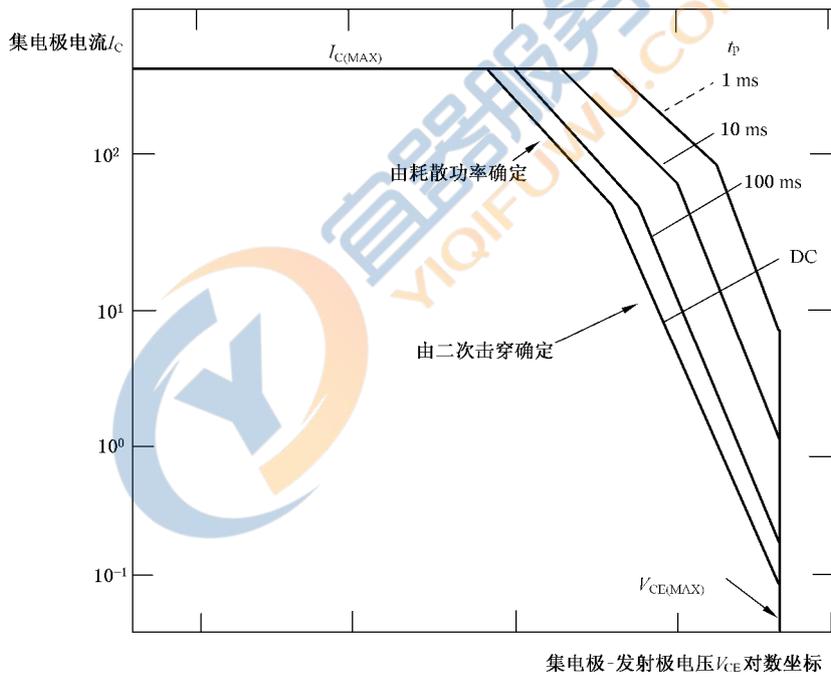


图 C.2 ΔV_{CE} 与集电极-发射极电压 V_{CE} 的典型特性



集电极-发射极电压 V_{CE} 对数坐标

图 C.3 典型 FBSOA

C.2.3 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 集电极电流 I_C ；
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ；
- 脉冲宽度 t_p ；
- 单脉冲或重复率；
- 无错位的杂散电感 L_s 。

C.3 方法 2

方法 2 是检验刚好低于闭锁模式工作的工作点。

C.3.1 电路图

图 C.4 给出了方法 2 的试验电路。

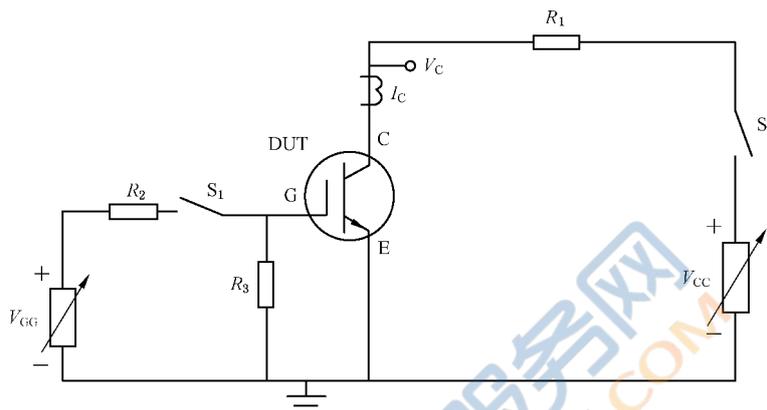


图 C.4 FBSOA 试验电路(方法 2)

C.3.2 试验程序和注意事项

增加 V_{GG} 的值至达到规定的集电极电流。 V_{CC} 的值应保持在不出闭锁模式的区域内(见图 C.5)。闭锁模式示于图 C.6。通过增加 V_{CC} 的值,工作点从 P_1 移向 P_m 。经过 P_m 后,出现闭锁的起始点 P_s 。在规定的 I_C 、 V_{CE} 和脉冲宽度 t_p 条件下试验 FBSOA。

受试器件 DUT 在闭锁模式中工作可能损坏。

试验后,确认表 1 给出的接收判据。

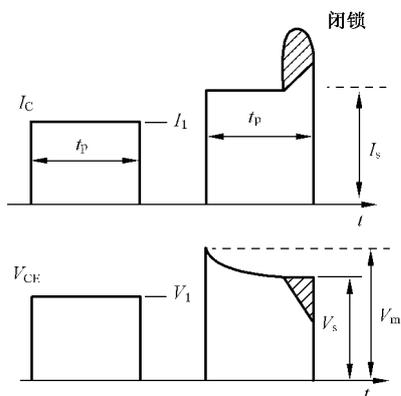


图 C.5 闭锁模式运行波形

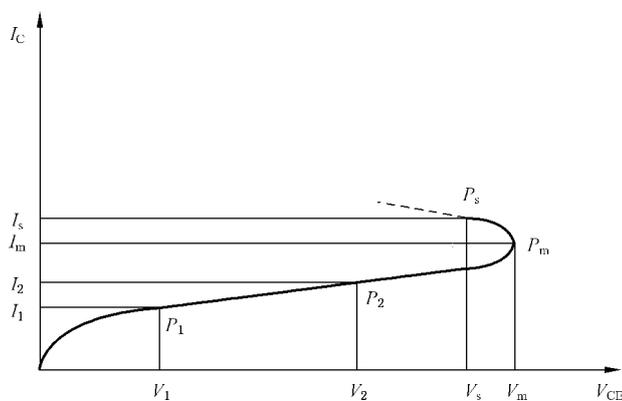


图 C.6 闭锁模式伏安特性

C.3.3 规定条件

- 环境温度 T_a 、管壳温度 T_c 或结温 T_j ；
- 集电极电流 I_C ；
- 集电极-发射极电压 V_{CE} ；
- 脉冲宽度 t_p ；
- 单脉冲或脉冲重复率。



附 录 D
(规范性附录)
管壳不破裂

以下试验或测量可能超过规定的额定值,受试 IGBT 可能出现特性变化或损坏。然而,为评估极限值,本附录给出这些试验或测量。以数据形式给出特性的信息时,测量应在规定的限制条件下进行。

IEC 60747-2 和 IEC 60747-6 定义了整流二极管和晶闸管的管壳不破裂电流 I_{RSMC} 。

大电流施加于保持阻断能力的器件或焊接引线器件而导致失效的机理在考虑中。



参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.66—2004 电工术语 半导体器件和集成电路(IEC 60050-521:2002, IDT)
- [2] IEC 60747-7:2000 半导体分立器件和集成电路 第7部分:双极晶体管
-



GB/T 29332-2012

版权专有 侵权必究

*

书号:155066·1-46864