



中华人民共和国国家标准

GB/T 4587—2023

代替 GB/T 4587—1994

半导体器件 分立器件 第7部分：双极型晶体管

Semiconductor devices—Discrete devices—Part 7: Bipolar transistors

(IEC 60747-7:2019, MOD)

2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 V

引言 VIII

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 文字符号 6

 4.1 概述 6

 4.2 补充下标 6

 4.3 文字符号一览表 6

 4.3.1 概述 6

 4.3.2 电压 7

 4.3.3 电流 7

 4.3.4 功率 8

 4.3.5 电参数 8

 4.3.6 频率参数 11

 4.3.7 开关参数 12

 4.3.8 损耗 13

 4.3.9 其他参数 13

 4.3.10 配对双极型晶体管 14

 4.3.11 电阻偏置晶体管 14

5 基本额定值和特性 14

 5.1 概述 14

 5.2 小信号晶体管 15

 5.2.1 额定值(极限值) 15

 5.2.2 特性 15

 5.3 线性功率晶体管 16

 5.3.1 额定值(极限值) 16

 5.3.2 特性 17

 5.4 放大和振荡用高频功率晶体管 18

 5.4.1 额定值(极限值) 18

 5.4.2 特性 18

 5.5 开关晶体管 20

 5.5.1 额定值(极限值) 20

5.5.2 特性	21
5.6 电阻偏置晶体管	24
5.6.1 额定值(极限值)	24
5.6.2 特性	24
6 验证方法及测试方法	25
6.1 概述	25
6.2 额定值(极限值)的验证方法	25
6.2.1 接收判据	25
6.2.2 集电极电流(I_C)	26
6.2.3 峰值集电极电流(I_{CM})	26
6.2.4 基极电流(I_B)	27
6.2.5 峰值基极电流(I_{BM})	28
6.2.6 集电极-基极电压(V_{CBO} 、 V_{CBS} 、 V_{CBR} 、 V_{CBX})	28
6.2.7 集电极-发射极电压(V_{CEO} 、 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX})、输出电压(V_O)	29
6.2.8 发射极-基极电压(V_{EBO})、输入电压(V_I)	30
6.2.9 安全工作区	31
6.2.10 输出电流(I_O)	34
6.2.11 集电极-发射极维持电压	35
6.3 特性的测试方法	36
6.3.1 负载为感性时的开通时间和开通损耗	36
6.3.2 负载为感性时的关断时间和关断损耗	38
6.3.3 集电极-发射极截止电流(直流法)(I_{CEO} 、 I_{CEX} 、 I_{CES} 、 I_{CER})	39
6.3.4 集电极-基极截止电流(直流法)(I_{CBO})	40
6.3.5 发射极-基极截止电流(直流法)(I_{EBO})	40
6.3.6 集电极-发射极饱和电压(V_{CEsat})	40
6.3.7 基极-发射极饱和电压(V_{BEsat})	42
6.3.8 基极-发射极电压(直流法)(V_{BE})	43
6.3.9 电容	44
6.3.10 混合参数(小信号和大信号)	47
6.3.11 热阻	53
6.3.12 负载为阻性时的开关时间	56
6.3.13 高频参数(f_T , y_{oe} , s_{11})	58
6.3.14 噪声系数(F)	66
6.3.15 配对双极型晶体管的测试方法	72
6.3.16 电阻偏置晶体管的测试方法	74
7 接收和可靠性	78
7.1 一般要求	78

7.2 特殊要求 78

7.2.1 耐久性试验一览表 78

7.2.2 耐久性试验条件 78

7.2.3 可靠性试验中判定接收的特性和接收判据 78

7.3 耐久性和可靠性试验方法 79

7.3.1 高温反偏(HTRB) 79

7.3.2 间歇寿命试验 79

7.4 型式试验和例行试验 80

7.4.1 型式试验 80

7.4.2 例行试验 80

附录 A (资料性) 安全工作区的确定 82

附录 B (资料性) 结构编号对照一览表 84

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。

本文件是《半导体器件 分立器件》的第 7 部分，《半导体器件 分立器件》已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：整流二极管；
- 第 2-1 部分：100 A 以下环境或管壳额定整流二极管（包括雪崩整流二极管）空白详细规范；
- 第 2-2 部分：大于 100 A，环境和管壳额定的整流二极管（包括雪崩整流二极管）空白详细规范；
- 第 3 部分：信号（包括开关）二极管和调整二极管；
- 第 3-1 部分：信号二极管、开关二极管和可控雪崩二极管空白详细规范；
- 第 3-2 部分：信号（包括开关）二极管和调整二极管电压调整二极管 电压基准二极管（不包括温度补偿精确基准二极管）空白详细规范；
- 第 4 部分：微波器件；
- 第 4-1 部分：微波二极管和晶体管 微波场效应晶体管详细规范；
- 第 6 部分：晶闸管；
- 第 6-1 部分：100 A 以下环境或管壳额定反向阻断三极闸流晶体管空白详细规范；
- 第 6-2 部分：100 A 以下环境或管壳额定双向三极闸流晶体管空白详细规范；
- 第 6-3 部分：电流大于 100 A、环境和管壳额定的反向阻断三极晶闸管空白详细规范；
- 第 7 部分：双极型晶体管；
- 第 7-1 部分：高低频放大环境额定的双极型晶体管空白详细规范；
- 第 7-2 部分：低频放大管壳额定的双极型晶体管空白详细规范；
- 第 7-3 部分：开关用双极型晶体管空白详细规范；
- 第 7-4 部分：高频放大管壳额定双极型晶体管空白详细规范；
- 第 8 部分：场效应晶体管；
- 第 8-1 部分：1 GHz、5 W 以下的单栅场效应晶体管空白详细规范；
- 第 8-3 部分：管壳额定开关用场效应晶体管空白详细规范；
- 第 9 部分：绝缘栅双极晶体管（IGBT）；
- 第 10 部分：分立器件和集成电路总规范；
- 第 11 部分：分立器件分规范。

本文件代替 GB/T 4587—1994《半导体分立器件和集成电路 第 7 部分：双极型晶体管》，与 GB/T 4587—1994 相比，除文件结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下。

- a) 范围中明确不包括微波晶体管，并增加了电阻偏置晶体管（见第 1 章）。
- b) 术语和定义：
 - 1) 删除了晶体管类型、通用术语、电路组态、集电极串联电阻、发射极串联电阻、非本征基极电阻、阿莱电压及 S-参数的术语和定义（见 1994 年版的第 II 章中的 1、2、3、4.4、4.5、4.7、4.20、5）；
 - 2) 增加了“特定的功能区”（见 3.1）、“开通时间”和“关断时间”（见 3.3.7.2、3.3.7.3）、“集电极-发射极维持电压”（见 3.3.8）、“开通损耗”和“关断损耗”（见 3.3.9、3.3.10）、“电阻偏置晶体

管”的术语和定义(见 3.2、3.3.15~3.3.21)。

c) 文字符号:

- 1) 删除了电压参数中的“击穿电压”(见 1994 年版的第 II 章 6.4.1)、静态参数中的“固有大信号正向电流传输比”(见 1994 年版的第 II 章 6.4.4.1)、开关参数中的“发射极耗尽层电容、集电极耗尽层电容”(见 1994 年版的第 II 章 6.4.6)及“外电路参数”(见 1994 年版的第 II 章 6.4.8)的文字符号;
- 2) 增加了“开通损耗”“关断损耗”“功率增加效率”及“电阻偏置晶体管”的文字符号(见 4.3.8、4.3.9、4.3.11)。

d) 基本额定值和特性:

- 1) 删除了小信号晶体管的“高频参数”(见 1994 年版的第 III 章第 1 节 3.9、3.11);放大和振荡用高频功率晶体管的“基极与发射极短路时的最高集电极-发射极电压(V_{CES})、基极开路时的最高集电极-发射极电压(V_{CEO})和(或)外接电阻为规定值时的最高集电极-发射极电压(V_{CER})”(见 1994 年版的第 III 章第 3 节 5.3、5.4、5.5);开关晶体管的“计算机辅助电路设计的附加特性”(见 1994 年版的第 III 章第 4 节 3.4);
- 2) 所有类型的晶体管均规定了“热阻”或“热特性”的要求,(见 5.2.2.11、5.3.2.8、5.4.2.11、5.5.2.11、5.6.2.8),小信号晶体管中配对双极型晶体管增加了“集电极电流之比”(见 5.2.2.12),开关晶体管增加了“集电极-发射极维持电压、安全工作区、开关损耗”(见 5.5.1.2.4、5.5.1.4、5.5.2.6、5.5.2.7);
- 3) 增加了“电阻偏置晶体管”(见 5.6)。

e) 测试方法:

- 1) 删除了通用测试方法中“共基极和共发射极 h -参数的表达式的测试方法”(见 1994 年版的第 IV 章第 1 节 9.5)、“二次击穿电流额定值的验证方法”(见 1994 年版的第 IV 章第 1 节 10.3)、“共发射极短路输入阻抗的实部 $R_{e(h11e)}$ ”(见 1994 年版的第 IV 章第 1 节 13.4),以及“基准测试方法”(见 1994 年版的第 IV 章第 2 节);
 - 2) 增加了额定值(极限值)的验证方法:将集电极-基极电压、发射极-基极电压和集电极-发射极维持电压的测试方法调整到额定值的验证方法(见 6.2.6、6.2.7、6.2.8、6.2.11);增加了“电流额定值的验证、反向偏置安全工作区和短路安全工作区的验证”(见 6.2);
 - 3) 增加了“负载为感性时的开关时间和开关损耗的测试方法”(见 6.3.1、6.3.2)、“基极-发射极饱和电压”的测试增加了脉冲法(见 6.3.7.2)、“配对双极型晶体管和电阻偏置晶体管的测试方法”(见 6.13.15、6.13.16);
 - 4) 基极-发射极电压(直流法)测试电路由“共基极”更改为“共发射极”(见 6.3.8);负载为阻性时的开关时间的信号采样由电压信号更改为电流信号(见 6.3.12)。
- f) 混合参数的概述中“采用共集电极组态的 h_{21c} 则例外, h_{21c} 是用 h_{21e} 计算得到的”更改为“采用共集电极组态则例外, h_{21c} 是用 h_{21c} 计算得到的”(见 6.3.10.1, 见 1994 年版的第 IV 章第 2 节 9)。
- g) 接收和可靠性:
- 1) 增加了功率开关晶体管和电阻偏置晶体管的耐久性试验后判定接收的判据(见 7.2.3);
 - 2) 更改了耐久性试验方法(见 7.3, 见 1994 年版的第 V 章第 1 节 2);
 - 3) 增加了型式试验和例行试验(见 7.4)。

本文件修改采用 IEC 60747-7:2019《半导体器件 分立器件 第 7 部分:双极型晶体管》。

本文件与 IEC 60747-7:2019 相比,在结构上有较多调整,两个文件之间的结构编号变化对照一览表见附录 B。

本文件与 IEC 60747-7:2019 相比存在技术差异,在所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直单线

(1)进行了标示,具体技术差异及其原因如下:

- 更改“参考点温度或结晶(T_a 或 T_c)”为“环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c)”,该验证方法与参考点温度无关,与环境温度相关[见 6.2.10d)];
- 更改“对于 PNP 晶体管,要调换图 33 中的集电极电压源(V_{CC})和电流方向(I_E, I_M)的极性”为“对于 PNP 晶体管,要调换图 33 中的集电极电压源(V_{CC})和电流方向(I_H, I_M)的极性”,与电路图 33 保持一致[见 6.3.11.3c)];
- 更改“图 34 中两条曲线之间的水平距离 ΔV_{EB} 由随电流逐渐增大而增大趋势”为“随电流逐渐增大而减小趋势”;更改横轴“发射极-基极电压变化量(ΔV_{EB})”为“发射极-基极电压(V_{EB})”(见 6.3.11.3),以与产品变化规律相符合;
- 更改“图 35 中 $\Delta V_{EB}^{(1)}$ 小于 $\Delta V_{EB}^{(2)}$ ”为“ $\Delta V_{EB}^{(1)}$ 大于 $\Delta V_{EB}^{(2)}$ ”(见 6.3.11.3),以与产品变化规律相符合。

本文件做了下列编辑性改动:

- 增加了术语符号(见 3.2.5、3.2.6、3.3.1~3.3.7、3.3.13~3.3.21);
- 更改第 6 章标题“测试方法”为“验证方法及测试方法”(见第 6 章);
- 更改 6.3 标题“测试方法”为“特性的测试方法”(见 6.3)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国半导体器件标准化技术委员会(SAC/TC 78)归口。

本文件起草单位:石家庄天林石无二电子有限公司、中国电子科技集团公司第十三研究所、哈尔滨工业大学、捷捷半导体有限公司。

本文件主要起草人:赵玉玲、吕瑞芹、李丽霞、宋凤领、李兴冀、王立康、韩东、张超、杨剑群、张世景、赵山林。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

- 1984 首次发布为 GB 4587—1984;
- 1994 年第一次修订为 GB/T 4587—1994;
- 本次为第二次修订。

引 言

半导体分立器件是电子行业的通用基础产品,为电子系统中的最基本单元,其性能与可靠性直接影响工程质量和可靠性。《半导体器件 分立器件》是半导体分立器件的基础标准,对于规范半导体分立器件的参数体系、验证、测试方法及质量考核起着重要作用,拟由 26 个部分构成。

- 第 1 部分:总则。目的在于规定有关适用于各类分立器件标准的一般原则或要求。
- 第 2 部分:整流二极管。目的在于规定整流二极管的术语、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。
- 第 2-1 部分:100 A 以下环境或管壳额定整流二极管(包括雪崩整流二极管)空白详细规范。目的在于规定 100 A 以下环境或管壳额定整流二极管(包括雪崩整流二极管)详细规范的基本要求。
- 第 2-2 部分:大于 100 A、环境和管壳额定的整流二极管(包括雪崩整流二极管)空白详细规范。目的在于规定 100 A 以上环境和管壳额定的整流二极管(包括雪崩整流二极管)详细规范的基本要求。
- 第 3 部分:信号(包括开关)二极管和调整二极管。目的在于规定信号二极管(包括开关二极管)、电压基准二极管和电压调整二极管、电流调整二极管的术语、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。
- 第 3-1 部分:信号二极管、开关二极管和可控雪崩二极管空白详细规范。目的在于规定信号二极管、开关二极管和可控雪崩二极管详细规范的基本要求。
- 第 3-2 部分:信号(包括开关)二极管和调整二极管电压调整二极管 电压基准二极管(不包括温度补偿精确基准二极管)空白详细规范。目的在于规定信号(包括开关)二极管和调整二极管电压调整二极管中电压基准二极管(不包括温度补偿精确基准二极管)详细规范的基本要求。
- 第 4 部分:微波器件。目的在于规定微波器件的术语、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。
- 第 4-1 部分:微波二极管和晶体管 微波场效应晶体管详细规范。目的在于规定微波二极管和晶体管中微波场效应晶体管详细规范的基本要求。
- 第 6 部分:晶闸管。目的在于规定晶闸管的术语、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。
- 第 6-1 部分:100 A 以下环境或管壳额定反向阻断三极闸流晶体管空白详细规范。目的在于规定 100 A 以下环境或管壳额定反向阻断三极闸流晶体管详细规范的基本要求。
- 第 6-2 部分:100 A 以下环境或管壳额定双向三极闸流晶体管空白详细规范。目的在于规定 100 A 以下环境或管壳额定双向三极闸流晶体管详细规范的基本要求。
- 第 6-3 部分:电流大于 100 A、环境和管壳额定的反向阻断三极晶闸管空白详细规范。目的在于规定电流 100 A 以上环境和管壳额定的反向阻断三极晶闸管详细规范的基本要求。
- 第 7 部分:双极型晶体管。目的在于规定几种类型双极型晶体管(微波晶体管除外)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。
- 第 7-1 部分:高低频放大环境额定的双极型晶体管空白详细规范。目的在于规定高低频放大环境额定的双极型晶体管详细规范的基本要求。
- 第 7-2 部分:低频放大管壳额定的双极型晶体管空白详细规范。目的在于规定低频放大管壳

额定的双极型晶体管详细规范的基本要求。

- 第 7-3 部分:开关用双极型晶体管空白详细规范。目的在于规定开关用双极型晶体管详细规范的基本要求。
- 第 7-4 部分:高频放大管壳额定双极型晶体管空白详细规范。目的在于规定高频放大管壳额定双极型晶体管详细规范的基本要求。
- 第 8 部分:场效应晶体管。目的在于规定几种场效应晶体管的术语、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。
- 第 8-1 部分:1 GHz、5 W 以下的单栅场效应晶体管空白详细规范。目的在于规定 1 GHz、5 W 以下的单栅场效应晶体管详细规范的基本要求。
- 第 8-3 部分:管壳额定开关用场效应晶体管空白详细规范。目的在于规定管壳额定开关用场效应晶体管详细规范的基本要求。
- 第 9 部分:绝缘栅双极晶体管(IGBT)。目的在于规定几种绝缘栅双极晶体管(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。
- 第 10 部分:分立器件和集成电路总规范。目的在于规定半导体器件质量评定的总程序,规定电特性测试方法、气候和机械试验、耐久性试验的总原则。
- 第 11 部分:分立器件分规范。目的在于规定有关评定半导体分立器件所需的质量评定程序、检验要求、筛选序列、抽样要求、试验和测试方法的内容。
- 第 15 部分:绝缘功率半导体器件。目的在于规定绝缘功率半导体器件的术语、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。
- 第 17 部分:基本和加强隔离的电磁和电容耦合器。目的在于规定基本和加强隔离的电磁和电容耦合器的术语、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。

《半导体器件 分立器件》对应采用 IEC 60747 各部分,以保证与国际标准一致,实现半导体分立器件的参数体系、验证方法、测试方法、可靠性评价、质量水平等与国际接轨。通过制定该文件,为半导体分立器件的研制、生产和检验提供依据和重要支撑。

半导体器件 分立器件

第 7 部分：双极型晶体管

1 范围

本文件给出了下列几种类型双极型晶体管(微波晶体管除外)的有关要求：

- 小信号晶体管(开关和微波用除外)；
- 线性功率晶体管(开关、高频和微波用除外)；
- 放大和振荡用高频功率晶体管；
- 高速开关和电源开关用开关晶体管；
- 电阻偏置晶体管。

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。

GB/T 2900.66—2004 电工术语 半导体器件和集成电路(IEC 60050-521:2002, IDT)

IEC 60747-1:2006 半导体器件 第 1 部分 总则(Semiconductor devices—Part 1:General)

注：GB/T 17573—1998 半导体器件 分立器件和集成电路 第 1 部分：总则(IEC 60747-1:1983, IDT)

IEC 60747-4:2007 半导体器件 分立器件 第 4 部分 微波器件(Semiconductor devices—Discrete devices—Part 4: Microwave diodes and transistors)

注：GB/T 20516—2006 半导体器件 分立器件 第 4 部分：微波器件(IEC 60747-4:2001, IDT)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 特定的功能区

3.1.1

集电功能区 functional collector region

该区是收集多数载流子的区域，收集经过基区传输并越过集电结的多数载流子。

注：正常工作模式下，该功能区位于集电区，在反向工作模式下，位于发射区。

3.1.2

发射功能区 functional emitter region

该区是提供多数载流子的区域，多数载流子越过发射结注入功能基区。

注：正常工作模式下，该功能区位于发射区，在反向工作模式下，位于集电区。

3.1.3

功能基区 functional base region

该区是控制区，主电流流经该区，该区多数载流子的浓度取决于所施加的基极电流的大小。

3.1.4

集电极(-基极)空间电荷区 collector(-base)space-charge region

集电极(-基极)耗尽层 collector(-base)depletion layer

位于集电功能区和功能基区之间的空间电荷区。

3.1.5

发射极(-基极)空间电荷区 emitter(-base)space-charge region

发射极(-基极)耗尽层 emitter(-base)depletion layer

位于发射功能区和功能基区之间的空间电荷区。

3.2 电阻偏置晶体管

3.2.1

一般描述

电阻偏置晶体管为包含两个偏置电阻的双极型晶体管。一个偏置电阻连接在输入端和基区之间,另一个连接在基区和公共端之间。电阻偏置晶体管特定用于逻辑电路。

NPN 电阻偏置晶体管的图形符号见图 1。

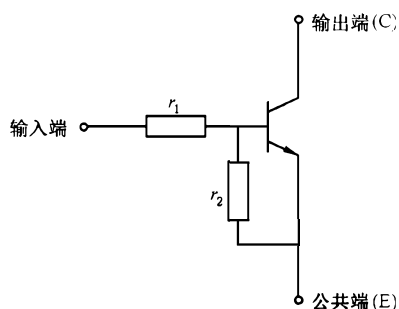


图 1 电阻偏置晶体管图形符号图

3.2.2

输入端 input terminal

连接偏置电阻 1 的端子。

3.2.3

输出端 output terminal

连接集电极的端子。

3.2.4

公共端 common terminal

连接发射极的端子。

3.2.5

偏置电阻 1 bias resistor 1

r_1

连接在晶体管输入端和基极之间的内置电阻。

3.2.6

偏置电阻 2 bias resistor 2

r_2

连接在晶体管基极和公共端之间的内置电阻。

3.3 有关额定值和特性的术语

3.3.1

穿透电压 **punch-through voltage**

V_{pt}

一个集电极-基极电压值,超过此值时,发射极-基极开路电压几乎随集电极-基极电压线性地增加。

注 1: 在该电压下,集电极耗尽层通过基区扩展到了发射极耗尽层。

注 2: 在美国此术语也称为“Reach-through voltage”。

3.3.2

饱和电压 **saturation voltage**

3.3.2.1

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

V_{CEsat}

当基极电流超过一定条件时的集电极和发射极之间的电压,超过此条件,基极电流增加时,集电极电流基本保持恒定。

注: 此电压是基极-发射极结和基极-集电极结均为正向偏置时,集电极和发射极之间的电压。

3.3.2.2

基极-发射极饱和电压 **base-emitter saturation voltage**

V_{BEsat}

在规定的基极电流和集电极电流(或发射极电流)条件下,基极和发射极之间的电压,超过此条件,基极电流增加时,集电极电流基本保持恒定。

注: 此电压是基极-发射极结和基极-集电极结均为正向偏置时,基极和发射极之间的电压。

3.3.3

截止电流 **cut-off current**

反向电流 **reverse current**

I_{CBO} 、 I_{EBO}

基极-集电极结或基极-发射极结的反向电流。

3.3.4

饱和电阻 **saturation resistance**

r_{cesat} 或 r_{CEsat}

当集电极电流受外电路限制时,在规定的基极电流和集电极电流条件下,集电极和发射极引出端之间的电阻。

注: 饱和电阻可以是总电压与总电流之比,也可以是微分电压与微分电流之比,采用哪种方法宜予以规定。

3.3.5

发射极耗尽层电容 **emitter depletion layer capacitance**

C_{Te}

发射极-基极结两端由耗尽层产生的电容。

注: 发射极耗尽层电容是耗尽层两端总电位差的函数。

3.3.6

集电极耗尽层电容 **collector depletion layer capacitance**

C_{Tc}

集电极-基极结两端由耗尽层产生的电容。

注: 集电极耗尽层电容是耗尽层两端总电位差的函数。

3.3.7

开关时间 switching times

对于双极型晶体管,输入波形是基极电流,输出波形是集电极电流。下限和上限通常是幅度的10%和90%。

3.3.7.1

延迟时间 delay time**上升时间 rise time****载流子贮存时间 carrier storage time****下降时间 fall time**
 $t_{d(on)}, t_r, t_s, t_f$

见 GB/T 2900.66—2004 的 3.5 中 521-05-21、521-05-22、521-05-23、521-05-24。

3.3.7.2

开通时间 turn-on time
 t_{on}

当半导体器件从断态切换到通态时,从输入信号的电平发生阶跃函数变化,幅度达到规定下限值开始,到输出端信号幅度达到规定上限值时的时间间隔。下限和上限通常规定为幅值的10%和90%。

3.3.7.3

关断时间 turn-off time
 t_{off}

当半导体器件从通态切换到断态时,从输入信号的电平发生阶跃函数变化,幅度达到规定上限值开始,到输出端信号幅度达到规定下限值时的时间间隔。下限和上限通常规定为幅值的10%和90%。

3.3.8

集电极-发射极维持电压 collector-emitter sustaining voltage
 $V_{CE(SUS)}$

在较高的集电极电流下的集电极-发射极击穿电压,当基极和发射极之间信号达到规定的中断条件时,集电极电流下降,此时击穿电压相对恒定。

3.3.9

开通损耗(每个脉冲) turn-on energy(per pulse)
 E_{on}

开通过程中晶体管耗散的能量。

3.3.10

关断损耗(每个脉冲) turn-off energy(per pulse)
 E_{off}

关断过程中晶体管耗散的能量。

3.3.11

最高振荡频率 maximum frequency of oscillation
 f_{max}

在规定的条件下,使晶体管产生振荡的最高频率。

注:最高振荡频率近似等于最大可用功率增益下降至1时的频率。

3.3.12

特征频率 transition frequency
 f_T

共发射极小信号短路正向电流传输比的模数 $|h_{21e}|$ 和测量频率的乘积,所选择的测量频率使

$|h_{21e}|$ 以近似 6 dB/倍频程的斜率递减。

3.3.13

电流传输比为 1 的频率 frequency of unity current transfer ratio

f_1

共发射极小信号短路正向电流传输比的模数 $|h_{21e}|$ 下降至 1 时的频率。

3.3.14

传输比 transfer ratio

3.3.14.1

小信号短路正向电流传输比 small-signal short-circuit forward current transfer ratio

h_{21e} 或 h_{fe} 、 h_{21b} 或 h_{fb}

在小信号条件下,输出端交流短路时,交流输出电流与产生它的小正弦信号输入电流之比。

3.3.14.2

正向电流传输比的静态值 static value of the forward current transfer ratio

h_{21E} 或 h_{FE}

输出电压保持不变时,直流输出电流与直流输入电流之比。

3.3.14.3

固有(大信号)正向电流传输比 inherent(large-signal)forward current transfer ratio

h_{21EL}

当集电极-发射极电压值为规定的常数时,集电极直流电流与集电极-基极截止电流的差除以基极直流电流与集电极-基极截止电流的和。

3.3.14.4

小信号开路反向电压传输比 small signal open-circuit reverse voltage transfer ratio

h_{12e} 或 h_{re} 、 h_{12b} 或 h_{rb}

在小信号条件下,输入端交流开路时,输入端上的交流电压与施加在输出端上的交流电压之比。

3.3.14.5

(开关晶体管的)饱和瞬态电流比 transient current ratio in saturation(of a switching transistor)

h_{21ESat} 或 h_{FEsat}

晶体管的瞬态集电极电流与维持饱和所必需的最小基极电流之比。

3.3.15

(电阻偏置晶体管的)偏置电阻比 resistor ratio(of resistor biased transistor)

r_2/r_1

偏置电阻 2 和偏置电阻 1 的阻值之比。

3.3.16

(电阻偏置晶体管的)输入电压 input voltage(of resistor biased transistor)

V_i

输入端和公共端之间的电压。

3.3.17

(电阻偏置晶体管的)断态输入电压 off-state input voltage(of resistor biased transistor)

$V_{I(off)}$

输出电流达到规定的断态值时的输入电压。

3.3.18

(电阻偏置晶体管的)通态输入电压 on-state input voltage(of resistor biased transistor)

$V_{I(on)}$

输出电流达到规定的通态值时的输入电压。

3.3.19

(电阻偏置晶体管的)输出电压 output voltage(of resistor biased transistor)

V_o

输出端和公共端之间的电压。

3.3.20

(电阻偏置晶体管的)断态输出电流 off-state output current(of resistor biased transistor)

$I_{O(off)}$

在关断状态下流入输出端的电流。

3.3.21

(电阻偏置晶体管的)通态输出电压 on-state output voltage(of resistor biased transistor)

$V_{O(on)}$

在规定的输入电流(I_i)和输出电流(I_o)下,晶体管处于规定的导通状态时,输出端和公共端之间的电压。

4 文字符号

4.1 概述

现有的文字符号大部分已增加到了术语中,当具有同一物理意义的文字符号有几个不同的形式时,本文件给出了最常用的形式。

见 IEC 60747-1:2006 的 4.2。

4.2 补充下标

除 IEC 60747-1:2006 第 4 章推荐的通用下标外,对于双极型晶体管,还推荐下列下标:

B,b:基极

C,c:集电极

E,e:发射极

fl:浮置

pt:穿通

R,r(不作为第一下标使用):规定的阻抗

sat:饱和

X:规定的电路

s:贮存

T:转换

4.3 文字符号一览表

4.3.1 概述

表 1~表 12 中的文字符号推荐用于双极型晶体管,这些文字符号是按 IEC 60747-1:2006 第 4 章中的通用规则编制的。

4.3.2 电压

电压的文字符号见表 1。

表 1 电压文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
集电极-基极(直流)电压	V_{CB}	—
集电极-发射极(直流)电压	V_{CE}	—
发射极-基极(直流)电压	V_{EB}	—
基极-发射极(直流)电压	V_{BE}	—
集电极-基极(直流)电压 $I_E=0, I_C$ 为规定值	V_{CBO}	—
发射极-基极(直流)电压 $I_C=0, I_E$ 为规定值	V_{EBO}	—
集电极-发射极(直流)电压 $I_B=0, I_C$ 为规定值	V_{CEO}	—
集电极-发射极(直流)电压 $R_{BE}=R, I_C$ 为规定值	V_{CER}	—
集电极-发射极(直流)电压 $V_{BE}=0, I_C$ 为规定值	V_{CES}	—
集电极-发射极(直流)电压 V_{BE} = 规定的 X, (发射极-基极结反向偏置) I_C 为规定值	V_{CEX}	—
发射极-基极浮置电压 $I_E=0, V_{CB}$ 为规定值	V_{EBfl}	—
穿通电压	V_{pt}	—
集电极-发射极饱和电压 I_B, I_C 为规定值	V_{CEsat}	—
基极-发射极饱和电压 I_B, I_C 为规定值	V_{BEsat}	—

4.3.3 电流

电流的文字符号见表 2。

表 2 电流文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
基极(直流)电流	I_B	—
集电极(直流)电流	I_C	—
发射极(直流)电流	I_E	—

表 2 电流文字符号（续）

名称及指定条件	文字符号	备注
集电极截止电流 $I_E=0, V_{CB}$ 为规定值	I_{CBO}	—
集电极截止电流 $I_B=0, V_{CE}$ 为规定值	I_{CEO}	—
发射极截止电流 $I_C=0, V_{EB}$ 为规定值	I_{EBO}	—
集电极截止电流 $R_{BE}=R, V_{CE}$ 为规定值	I_{CER}	—
集电极截止电流 $V_{BE}=0, V_{CE}$ 为规定值	I_{CES}	—
集电极截止电流 $V_{BE}=X, V_{CE}$ 为规定值	I_{CEX}	—
基极截止电流 $V_{BE}=X, V_{BE}$ 为规定值	I_{BEX}	—

4.3.4 功率

功率的文字符号见表 3。

表 3 功率文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
集电极耗散功率 T_a 或 T_c 为规定值	P_C	—
所有电极的总输入功率(直流或平均值) T_a 或 T_c 为规定值	P_{tot}	—

4.3.5 电参数

4.3.5.1 静态参数(偏置条件为规定值)

静态参数的文字符号见表 4。

表 4 静态参数文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
正向电流传输比的静态值 (共发射极组态)	h_{21E} 或 h_{FE}	$h_{21E}=\frac{I_C}{I_B}=\frac{I_E}{I_B}$,当 V_{CE} 为常数时
输入阻抗的静态值 (共发射极组态)	h_{11E} 或 h_{iE}	$h_{11E}=\frac{V_{BE}}{I_B}$,当 V_{CE} 为常数时

4.3.5.2 小信号参数(偏置条件和频率为规定值)

小信号参数的文字符号见表 5。

表 5 小信号参数文字符号

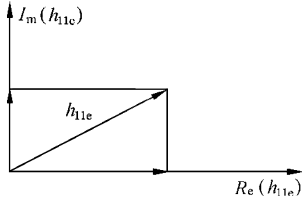
名称及指定条件	文字符号	备注
小信号短路输入阻抗： ——共发射极组态； ——共基极组态	h_{11e} 或 h_{ie} h_{11b} 或 h_{ib}	$h_{11e} = \frac{V_{be}}{I_b}$, 当 V_{ce} 为常数时； $h_{11b} = \frac{V_{eb}}{I_e}$, 当 V_{cb} 为常数时
小信号开路反向电压传输比： ——共发射极组态； ——共基极组态	h_{12e} 或 h_{re} h_{12b} 或 h_{rb}	$h_{12e} = \frac{V_{be}}{V_{ce}}$, 当 I_b 为常数时； $h_{12b} = \frac{V_{eb}}{V_{cb}}$, 当 I_e 为常数时
小信号短路正向电流传输比： ——共发射极组态； ——共基极组态	h_{21e} 或 h_{fe} h_{21b} 或 h_{fb}	$h_{21e} = \frac{I_c}{I_b}$, 当 V_{ce} 为常数时； $h_{21b} = \frac{I_c}{I_e}$, 当 V_{cb} 为常数时
小信号开路输出导纳： ——共发射极组态； ——共基极组态	h_{22e} 或 h_{oe} h_{22b} 或 h_{ob}	$h_{22e} = \frac{I_c}{V_{ce}}$, 当 I_b 为常数时； $h_{22b} = \frac{I_c}{V_{cb}}$, 当 I_e 为常数时
小信号短路输入阻抗的实部： ——共发射极组态； ——共基极组态	$R_e(h_{11e})$ $R_e(h_{11b})$	$h_{11e} = R_e(h_{11e}) + I_m(h_{11e})$ $h_{11b} = R_e(h_{11b}) + I_m(h_{11b})$ 
小信号短路输入阻抗的虚部： ——共发射极组态； ——共基极组态	$I_m(h_{11e})$ $I_m(h_{11b})$	
输出交流短路下的输入电容： ——共发射极组态； ——共基极组态	C_{11es} 或 C_{ies} C_{11bs} 或 C_{ibs}	$h_{11e} \approx R_e(h_{11e}) + \frac{1}{j\omega C_{11es}}$ $h_{11b} \approx R_e(h_{11b}) + \frac{1}{j\omega C_{11bs}}$
输出交流开路下的输入电容： ——共发射极组态； ——共基极组态	C_{11eo} 或 C_{ieo} C_{11bo} 或 C_{ibo}	—
输入交流开路下的输出电容： ——共发射极组态； ——共基极组态	C_{22eo} 或 C_{oeo} C_{22bo} 或 C_{obo}	$h_{22e} = R_e(h_{22e}) + j\omega C_{22eo}$ $h_{22b} = R_e(h_{22b}) + j\omega C_{22bo}$

表 5 小信号参数文字符号 (续)

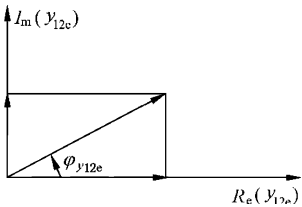
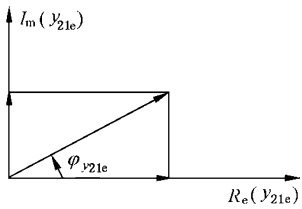
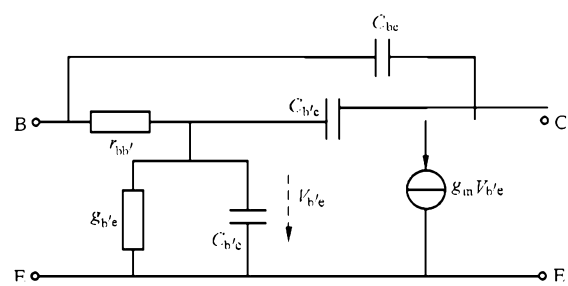
名称及指定条件	文字符号	备注
输入交流短路下的输出电容： ——共发射极组态； ——共基极组态	C_{22es} 或 C_{oes} C_{22bs} 或 C_{obs}	$y_{22e} = R_e(y_{22e}) + j\omega C_{22es}$ $y_{22b} = R_e(y_{22b}) + j\omega C_{22bs}$
输入交流短路下的反向传输电容： ——共发射极组态； ——共基极组态	C_{12es} 或 C_{res} C_{12bs} 或 C_{rbs}	—
各引出端与外壳绝缘并具有单独屏蔽引线的晶体管的集电极-基极电容	C_{ocb}	—
小信号短路输入导纳： ——共发射极组态； ——共基极组态	y_{11e} 或 y_{ie} y_{11b} 或 y_{ib}	$y_{11e} = \frac{I_b}{V_{be}}$, 当 V_{ce} 为常数时及 $y_{11e} = \frac{1}{h_{11e}}$; $y_{11b} = \frac{I_e}{V_{eb}}$ 当 V_{cb} 为常数时及 $y_{11b} = \frac{1}{h_{11b}}$
小信号短路反向传输导纳： ——共发射极组态； ——共基极组态	y_{12e} 或 y_{re} y_{12b} 或 y_{rb}	$y_{12e} = \frac{I_b}{V_{ce}}$, 当 V_{be} 为常数时 $y_{12b} = \frac{I_e}{V_{cb}}$, 当 V_{eb} 为常数时
小信号短路正向传输导纳： ——共发射极组态； ——共基极组态	y_{21e} 或 y_{fe} y_{21b} 或 y_{fb}	$y_{21e} = \frac{I_c}{V_{be}}$, 当 V_{ce} 为常数 $y_{21b} = \frac{I_c}{V_{eb}}$, 当 V_{cb} 为常数
小信号短路输出导纳： ——共发射极组态； ——共基极组态	y_{22e} 或 y_{oe} y_{22b} 或 y_{ob}	$y_{22e} = \frac{I_c}{V_{ce}}$, 当 V_{be} 为常数 $y_{22b} = \frac{I_c}{V_{cb}}$, 当 V_{eb} 为常数
短路下的反向传输导纳的模数： ——共发射极组态； ——共基极组态	$ y_{12e} $ 或 $ y_{re} $ $ y_{12b} $ 或 $ y_{rb} $	
短路下的反向传输导纳的相角： ——共发射极组态； ——共基极组态	φ_{y12e} 或 φ_{yre} φ_{y12b} 或 φ_{yrb}	
短路下的正向传输导纳的模数： ——共发射极组态； ——共基极组态	$ y_{21e} $ 或 $ y_{fe} $ $ y_{21b} $ 或 $ y_{fb} $	
短路下的正向传输导纳的相角： ——共发射极组态； ——共基极组态	φ_{y21e} 或 φ_{yfe} φ_{y21b} 或 φ_{yfb}	

表 5 小信号参数文字符号（续）

名称及指定条件	文字符号	备注
输入反射系数： ——共发射极组态； ——共基极组态； ——共集电极组态	s_{11e} 或 s_{ie} s_{11b} 或 s_{ib} s_{11c} 或 s_{ic}	—

4.3.5.3 修正后的混合 π 型等效电路参数

修正后的混合 π 型等效电路见图 2，电路中的文字符号见表 6。



注：该等效电路仅为一级近似，对于大多数晶体管在某一确定频率范围内是正确的。

图 2 修正后的混合 π 型等效电路

表 6 修正后的混合 π 型等效电路文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
本征基极电阻	$r_{bb'}$	—
本征基极-发射极电导	$g_{b'e}$	—
本征基极-发射极电容	$C_{b'e}$	—
本征基极-集电极电容	$C_{b'c}$	—
本征跨导	g_m	—
基极-集电极电容	C_{bc}	—

4.3.6 频率参数

频率参数的文字符号见表 7。

表 7 频率参数文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
截止频率： ——共发射极组态； ——共基极组态； ——共集电极组态	f_{h21e} 或 f_{hie} f_{h21b} 或 f_{hib} f_{h21c} 或 f_{hfc}	—

表 7 频率参数文字符号（续）

名称及指定条件	文字符号	备注
电流传输比为 1 的频率	f_1	当 $ h_{21e} = 1$ 时, $f_1 = f$,
特征频率	f_T	$f_T = f \times h_{21e} $ (h_{21e} 是在斜率为 6 dB/倍频程的范围内测得的)
最高振荡频率	f_{max}	—
正向传输系数比为 1 的频率: ——共发射极组态; ——共基极组态; ——共集电极组态	$f_{se} \setminus f_{lse}$ $f_{sb} \setminus f_{lsb}$ $f_{sc} \setminus f_{lsc}$	当 $ s_{21e} = 1$ 时, $f_{se} = f$ 当 $ s_{21b} = 1$ 时, $f_{sb} = f$ 当 $ s_{21c} = 1$ 时, $f_{sc} = f$

4.3.7 开关参数

开关参数的文字符号见表 8。

表 8 开关参数文字符号

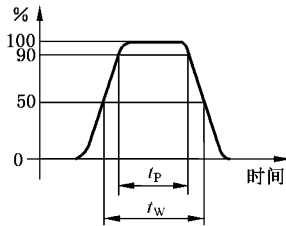
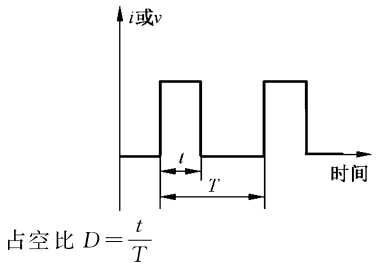
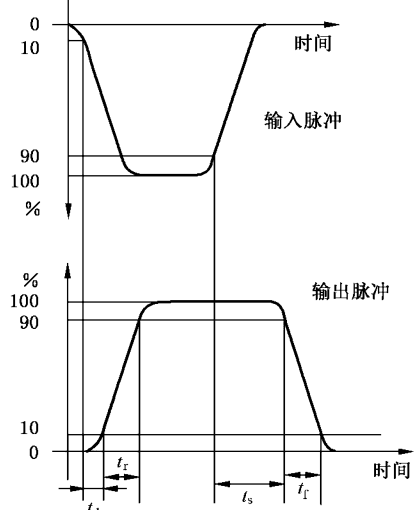
名称及指定条件	文字符号	备注
平均脉冲时间	t_W	
脉冲时间	t_P	
占空比	D, δ	 占空比 $D = \frac{t}{T}$
延迟时间	t_d	
上升时间	t_r	
载流子贮存时间	t_s	
下降时间	t_f	

表 8 开关参数文字符号（续）

名称及指定条件	文字符号	备注
开通时间	t_{on}	t_d+t_r
关断时间	t_{off}	t_s+t_f
存储电荷	Q_s	—
饱和时的瞬态电流比	h_{21Esat} 或 h_{FEsat}	—
集电极-发射极饱和电阻： ——小信号值； ——大信号值	r_{cesat} r_{CEsat}	—

4.3.8 损耗

损耗的文字符号见表 9。

表 9 损耗文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
开通损耗	E_{on}	一个脉冲
关断损耗	E_{off}	一个脉冲

4.3.9 其他参数

其他参数的文字符号见表 10。

表 10 其他参数文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
噪声	$N、n$	—
噪声系数	$F、F_n$	—
噪声电流	I_n	—
噪声电压	V_n	—
噪声功率	P_n	—
有效噪声带宽	B	—
放大倍数	A	—
电流放大倍数	$A_i、A_{i_i}$	—
电压放大倍数	$A_v、A_{v_i}$	—
增益	G	—
功率增益	$G_P、G_{p_i}$	—
插入功率增益	$G_i、G_{i_i}$	—
转换功率增益	$G_T、G_{t_i}$	—

表 10 其他参数文字符号（续）

名称及指定条件	文字符号	备注
可用功率增益	$G_A、G_s$	—
效率	η	—
集电极效率	η_c	—
功率增加效率	η_{add}	见 IEC 60747-4:2007 第 7 章。 功率增加效率还常用缩略语“PAE”

4.3.10 配对双极型晶体管

配对双极型晶体管的文字符号见表 11。

表 11 配对双极型晶体管文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
共发射极正向电流传输比的静态值的比	h_{FE1}/h_{FE2} h_{21E1}/h_{21E2}	取两个值中较小者作为分子
基极-发射极电压之差	$V_{BE1}-V_{BE2}$	用较大的值减较小的值
基极-发射极电压之差在两个温度下变化量的绝对值	$ \Delta(V_{BE1}-V_{BE2}) \Delta T$	—

4.3.11 电阻偏置晶体管

电阻偏置晶体管的文字符号见表 12。

表 12 电阻偏置晶体管文字符号

名称及指定条件	文字符号	备注
偏置电阻 1	r_1	—
偏置电阻 2	r_2	—
断态输出电流	$I_{O(off)}$	对应双极型晶体管的 I_{CEX}
断态输入电压	$V_{I(off)}$	—
通态输入电压	$V_{I(on)}$	—
通态输出电压	$V_{O(on)}$	对应双极型晶体管的 V_{CEsat}

5 基本额定值和特性

5.1 概述

除非另有规定，以下给出的均为 25 ℃ 下的额定值和特性。

5.2 小信号晶体管

5.2.1 额定值(极限值)

5.2.1.1 温度

工作温度范围:环境温度、管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj})。

贮存温度范围:(T_{stg})。

5.2.1.2 电压和电流

所给出的电压和电流额定值应能满足器件在整个额定工作温度范围内工作。当额定值(如正向电流、反向电压等)随温度变化时,应表明这种依赖关系,并对下列值做出规定。

- a) 发射极开路时的最高集电极-基极电压(V_{CBO})。
- b) 基极开路时的最高集电极-发射极电压(V_{CEO})。
- c) 集电极开路时的最高发射极-基极电压(V_{EBO})。
- d) 最大集电极电流(I_C)。
- e) 最大发射极电流(适用时)(I_E)。
- f) 最大基极电流(适用时)(I_B)。

5.2.1.3 耗散功率(P_{tot} 或 P_C)

当特性中未给出热阻时,应规定最大总耗散功率。在工作温度范围内,最大总耗散功率是温度的函数。

对风冷和(或)散热器有任何特殊要求时应予以规定。

5.2.2 特性

5.2.2.1 通则

应在某一个电压和(或)某一个电流下规定下列参数值,电压和电流值应从 IEC 60747-1:2006 的 5.9中的列表选取。

5.2.2.2 集电极-基极截止电流(反向电流)(I_{CBO})

在额定的最高集电极-基极电压下的最大值。

在规定的集电极-基极电压和规定的高温下且耗散功率近似等于零时的最大值。

5.2.2.3 发射极-基极截止电流(反向电流)(I_{EBO})

在规定的发射极-基极电压下的最大值。

5.2.2.4 集电极-发射极饱和电压(V_{CEsat})

适用时,在规定的集电极和基极电流下的最大值。

5.2.2.5 基极-发射极电压(V_{BE})

适用时,在规定的集电极电流和集电极-发射极电压下的最大值。

5.2.2.6 共发射极正向电流传输比的静态值(h_{21E})

在规定的集电极-发射极电压和集电极电流下的最小值和适用时的最大值。

5.2.2.7 小信号参数(共发射极)

h_{11e} 或 h_{ie} 为输出交流短路时,输入阻抗(适用时)的最小值和最大值。

h_{21e} 或 h_{fe} 为输出交流短路时,正向电流传输比(适用时)的最小值和最大值。

h_{22e} 或 h_{oe} 为输入交流开路时,输出导纳(适用时)的最大值。

5.2.2.8 特征频率(f_T)

适用时,在规定的集电极电流和集电极-发射极电压下的最小值。

5.2.2.9 输出电容(C_{ob})或集电极-基极电容(C_{cb})

在规定的频率和集电极-基极电压下的最大值。

注: C_{cb} 采用三端测量方法, C_{ob} 采用两端测量方法。

5.2.2.10 噪声系数(适用时)

在规定的频率范围、偏置和源阻抗条件下的最大值。

5.2.2.11 热阻

最大值,其中等效结温在 5.2.1.1 中规定。

5.2.2.12 低频差分用配对双极型晶体管的特性

5.2.2.12.1 共发射极正向电流传输比的静态值之比

h_{FE1}/h_{FE2} 的最小值,其中 h_{FE1} 和 h_{FE2} 分别为每个晶体管在规定的电压(V_{CE})和电流(I_C)下的共发射极正向电流传输比的静态值。

注:该比值应为较小的值除以较大的值。

5.2.2.12.2 基极-发射极电压之差

在规定的电压(V_{CE})和电流(I_C)下,两个晶体管的基极-发射极电压差的最大绝对值。

5.2.2.12.3 基极-发射极电压之差在两个温度下变化量的绝对值

$$|\Delta(V_{BE1} - V_{BE2})| \Delta T$$

在规定的电压(V_{CE})和电流(I_C)下,基极-发射极电压之差(见 5.2.2.12.2)在两个规定温度之间变化的最大绝对值。

5.2.2.12.4 集电极电流之比

两个晶体管的基极共接同一电流源,在规定的同一集电极-发射极电压下、规定的壳温或环境温度条件下,集电极电流(I_{C2}/I_{C1})的最大比值。

5.3 线性功率晶体管

5.3.1 额定值(极限值)

5.3.1.1 温度

工作温度范围:环境温度、管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj})。

贮存温度范围: (T_{stg})。

5.3.1.2 电压和电流

所给出的电压和电流额定值应能满足器件在整个额定工作温度范围内工作。当额定值(如正向电流、反向电压等)随温度变化时,应表明这种依赖关系,并对下列值做出规定。

下列电压和电流额定值既适用于连续条件,也适用于峰值条件。

- a) 发射极开路时的最高集电极-基极电压(V_{CBO})。
- b) 基极开路时的最高集电极-发射极电压(V_{CEO})。
- c) 集电极开路时的最高发射极-基极电压(V_{EB0})。
- d) 最大集电极电流(I_{C})。
- e) 最大发射极电流(适用时)(I_{E})。
- f) 最大基极电流(I_{B})。

5.3.1.3 耗散功率(P_{tot} 或 P_{C})

当特性中未给出热阻时,应规定最大总耗散功率。在工作温度范围内,最大总耗散功率是温度的函数。

对风冷和(或)散热器有任何特殊要求时应予以规定。

5.3.2 特性

5.3.2.1 通则

应在某一个电压和(或)某一个电流下规定下列参数值,电压和电流值应从 IEC 60747-1:2006 的 5.9中的列表选取。

5.3.2.2 集电极-基极截止电流(反向电流)(I_{CBO})

在额定的最高集电极-基极电压下的最大值。

发射极开路,在规定的集电极-基极电压和规定的高温下,且耗散功率近似等于零时的最大值。

5.3.2.3 基极-发射极正向电压(V_{BE})

在规定的集电极电流和集电极-发射极电压下的典型值和适用时的最大值。

5.3.2.4 集电极-发射极饱和电压(V_{CEsat})

在规定的较大集电极电流和基极电流下的最大值。

5.3.2.5 共发射极正向电流传输比的静态值($h_{21\text{E}}$)

在规定的较低集电极-发射极电压和较大发射极或集电极电流下的最小值和最大值。

当 I_{CBO} 有显著影响时,应规定固有(大信号)正向电流传输比 $h_{21\text{EL}}$ 。

5.3.2.6 特征频率(f_{T})或规定的高频下的 $|h_{21\text{e}}|$ 值

在规定的集电极电流和集电极-发射极电压下 f_{T} 的典型值和最小值。

或在规定的频率(在该频率范围内 $|h_{21\text{e}}|$ 近似以 6 dB/倍频程的斜率递减)和规定的集电极电流及集电极-发射极电压下 $|h_{21\text{e}}|$ 的典型值和最小值。

在规定的 $|h_{21\text{e}}|$ 时,频率最好从 1×10^6 Hz、 2×10^6 Hz、 5×10^6 Hz 系列中选取,并且使 $|h_{21\text{e}}|$ 在 2~

10 的范围内。

5.3.2.7 输出电容(C_{ob})或集电极-基极电容(C_{cb})

发射极开路,在 25 °C、规定的电压(V_{CB})和频率下的最大值。

注: C_{cb} 采用三端测量方法, C_{ob} 采用两端测量方法。

5.3.2.8 最大热阻

最大值,其中等效结温在 5.3.1.1 中规定。

5.4 放大和振荡用高频功率晶体管

5.4.1 额定值(极限值)

5.4.1.1 温度

工作温度范围:环境温度、管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj})。

贮存温度范围:(T_{stg})。

5.4.1.2 电压和电流

额定值应能满足器件在整个额定工作温度范围内工作。当额定值随温度变化时,应表明这种依赖关系。

- a) 发射极开路时的最高集电极-基极电压(V_{CBO})。
- b) 基极反向电压为规定值时的最高集电极-发射极电压(V_{CEX})。
- c) 集电极开路时的最高发射极-基极电压(V_{EBO})。
- d) 最大集电极电流(直流或平均值)[I_C 或 $I_{C(AV)}$]或最大发射极电流(直流或平均值)[I_E 或 $I_{E(AV)}$]。
- e) 最大峰值集电极电流(I_{CM})或最大峰值发射极电流(I_{EM})。
- f) 最大基极电流(直流或平均值)[I_B 或 $I_{B(AV)}$]。

5.4.1.3 耗散功率(P_{tot} 或 P_C)

当特性中未给出热阻时,应规定最大总耗散功率。在工作温度范围内,最大总耗散功率是温度的函数。

对风冷和(或)散热器有任何特殊要求时应予以规定。

5.4.1.4 安全工作区

适用时,应选择直流和脉冲安全工作区(例如 I_C 与 V_{CE} 的关系曲线)。

5.4.2 特性

5.4.2.1 通则

应在某一个电压和(或)某一个电流下规定下列参数值,电压和电流值应从 IEC 60747-1:2006 的 5.9中的列表选取。

5.4.2.2 共发射极正向电流传输比的静态值(h_{21E})

在规定的集电极-发射极电压和集电极电流(典型值)下的最小值和最大值,直流或脉冲按规定。

5.4.2.3 共发射极正向电流传输比的静态值(适用时)(h_{21E})

在规定的较低集电极-发射极电压和较大集电极电流下的最小值,直流或脉冲按规定。

5.4.2.4 特征频率(f_T)或正向传输系数的模($|s_{21e}|$)

在规定的集电极电流、集电极-发射极电压和频率下的最小值和适用时的最大值,或在规定的集电极电流、集电极-发射极电压、频率、源和负载阻抗(最好为 $50\ \Omega$)下的最小值。

5.4.2.5 截止电流

5.4.2.5.1 集电极-基极截止电流(I_{CBO})或集电极-发射极截止电流(I_{CEX})

发射极开路,集电极-基极电压(优先选择最大额定值)为规定值时的最大值,或基极-发射极电压为规定值,集电极-发射极电压(优先选择最大额定值)为规定值时的最大值。

5.4.2.5.2 集电极-发射极截止电流(适用时)(I_{CER})

基极-发射极间连接规定的偏置电阻,集电极-发射极电压(优先选择最大额定值)为规定值时的最大值。

5.4.2.5.3 集电极-发射极截止电流(适用时)(I_{CES})

基极-发射极短路,集电极-发射极电压(优先选择最大额定值)为规定值时的最大值。

5.4.2.5.4 集电极-发射极截止电流(适用时)(I_{CEO})

基极开路,集电极-发射极电压(优先选择最大额定值)为规定值时的最大值。

5.4.2.6 高温下的截止电流

5.4.2.6.1 集电极-基极截止电流(I_{CBO})或集电极-发射极截止电流(I_{CEX})

发射极开路,或基极-发射极电压为规定值(优先选择最大额定值的 $65\%\sim 85\%$)下的最大值。

5.4.2.6.2 集电极-发射极截止电流(适用时)(I_{CER})

基极-发射极间连接规定的偏置电阻,集电极-发射极电压优先选择最大额定值的 $65\%\sim 85\%$ 时的最大值。

5.4.2.6.3 集电极-发射极截止电流(适用时)(I_{CES})

基极与发射极短路,集电极-发射极电压优先选择最大额定值的 $65\%\sim 85\%$ 下的最大值。

5.4.2.6.4 集电极-发射极截止电流(适用时)(I_{CEO})

基极开路,集电极-发射极电压优先选择最大额定值的 $65\%\sim 85\%$ 下的最大值。

5.4.2.7 集电极-发射极饱和电压(V_{CEsat})

在规定的较大集电极电流和规定的发射极电流下的最大值。

5.4.2.8 输出功率(P_{out})或功率增益(G_P)

输出功率为在规定的电路和偏置条件下的最小值,适当时 f 规定为较高的值。在电路和偏置条件相

同时,在较低的频率 f_1 下也适用。或者:功率增益为最小值,与输出功率的条件相同。

5.4.2.9 其他(适用时)

5.4.2.9.1 总效率(适用时)(η_{tot})

最小值,与输出功率的条件相同。总效率由公式(1)给出。

$$\eta_{\text{tot}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}} + P_{\text{(d,c)}}} \dots\dots\dots (1)$$

5.4.2.9.2 集电极效率(η_c)

最小值,与输出功率的条件相同。集电极效率由公式(2)给出。

$$\eta_c = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{C(d,c)}}} \dots\dots\dots (2)$$

5.4.2.9.3 功率附加效率(η_{add})

最小值,与输出功率的条件相同。功率附加效率由公式(3)给出。

$$\eta_{\text{add}} = \frac{P_{\text{out}} - P_{\text{in}}}{P_{\text{C(d,c)}}} \dots\dots\dots (3)$$

5.4.2.10 电容

5.4.2.10.1 集电极-基极电容(C_{cb})

在规定的集电极-基极电压和发射极-基极电压下的最大值。

5.4.2.10.2 集电极-发射极电容(C_{ce})(适用时)

在规定的集电极-基极电压和发射极-基极电压下的最大值。

5.4.2.10.3 发射极-基极电容(C_{eb})(适用时)

在规定的集电极-基极电压和发射极-基极电压下的最大值。

5.4.2.11 交调系数或其他线性判据(适用时)

在规定条件下的最小值和最大值。

5.4.2.12 最大热阻

最大值,其中等效结温在 5.4.1.1 中规定。

5.5 开关晶体管

5.5.1 额定值(极限值)

5.5.1.1 温度

工作温度范围:环境温度、管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj})。

贮存温度范围:(T_{stg})。

5.5.1.2 电压和电流

额定值应能满足器件在整个额定工作温度范围内工作。当额定值随温度变化时,应表明这种依赖

关系。

- a) 发射极开路时的最高集电极-基极电压(V_{CBO})。
- b) 基极开路或发射极-基极反向电压为规定值时的最高集电极-发射极电压(V_{CEO} 或 V_{CEX})。
- c) 集电极开路时的最高发射极-基极电压(V_{EBO})。
- d) 集电极-发射极维持电压($V_{CEX_{sus}}$)。
在规定的集电极电流和基极-发射极(反向)电压条件下的最大额定值。
- e) 最大集电极直流电流(I_C)。
- f) 在规定的条件下,最大重复峰值集电极电流(适用时)(I_{CRM})。
- g) 最大基极直流电流(I_B)。
- h) 在规定的条件下,最大重复峰值基极电流(适用时)(I_{BRM})。
- i) 在规定的条件下,最大发射极直流电流和(或)最大重复峰值发射极电流(适用时)(I_E 、 I_{ERM})。

5.5.1.3 耗散功率(P_{tot} 或 P_C)

当特性中未给出热阻时,应规定最大总耗散功率。在工作温度范围内,最大总耗散功率是温度的函数。

对风冷和(或)散热器有任何特殊要求时应予以规定。

5.5.1.4 安全工作区

5.5.1.4.1 正向偏置安全工作区(FBSOA)

直流或脉冲工作时,晶体管同时维持在集电极电流(I_C)和集电极-发射极电压(V_{CE})下,而不会由于过热、一次或二次击穿而造成损坏时的图示区域。

5.5.1.4.2 反向偏置安全工作区(RBSOA)

晶体管关断瞬间,同时维持在集电极电流(I_C)和集电极-发射极电压(V_{CE})下,而不造成损坏时的图示区域。

5.5.1.4.3 短路安全工作区(SCSOA)

SCSOA 由短路持续时间 $[t_{p(sc)}]$ 和集电极-发射极电压(V_{CE})表征,在负载短路条件下不能超过这两个数值,电压源短路后器件可以再次开启、关断而不失效。

5.5.2 特性

5.5.2.1 通则

应优先在 IEC 60747-1:2006 的 5.9 中给出的电压和(或)电流下规定特性值。

5.5.2.2 截止电流

应对以下参数值进行规定。

注:宜规定这些电流中的一个或几个。

5.5.2.2.1 集电极-基极电流(I_{CBO})

发射极开路,优先选择在集电极-基极电压为最大额定值时的最大值。

发射极开路,在规定的高温下,集电极-基极电压优先选择最大额定值的 65%~85%下的最大值。

5.5.2.2.2 集电极-发射极电流(I_{CEX})

在规定的基极-发射极偏置条件下,集电极-发射极电压优先选择最大额定值时的最大值。

在规定的基极-发射极偏置条件下,在规定的高温下,集电极-发射极电压优先选择最大额定值的65%~85%下的最大值。

5.5.2.2.3 集电极-发射极电流(I_{CES})

基极-发射极短路,集电极-发射极电压优先选择最大额定值时的最大值。

基极-发射极短路,在规定的高温下,集电极-发射极电压优先选择最大额定值的65%~85%下的最大值。

5.5.2.2.4 集电极-发射极电流(I_{CEO})

基极开路,集电极-发射极电压优先选择最大额定值时的最大值。

基极开路,在规定的高温下,集电极-发射极电压优先选择最大额定值的65%~85%下的最大值。

5.5.2.2.5 集电极-发射极电流(I_{CER})

基极-发射极间连接规定的偏置电阻,集电极-发射极电压优先选择最大额定值时的最大值。

基极-发射极间连接规定的偏置电阻,在规定的高温下,集电极-发射极电压优先选择最大额定值的65%~85%下的最大值。

5.5.2.2.6 发射极-基极电流(I_{EBO})

集电极开路,发射极-基极电压为规定的较高值时的最大值。

集电极开路,在规定的高温下,发射极-基极电压为规定值时的最大值。

5.5.2.3 共发射极正向电流传输比的静态值($h_{21\text{E}}$)

在规定的集电极电流和规定的集电极-发射极电压下的最小值。

5.5.2.4 集电极-发射极饱和电压(V_{CEsat})

在规定的集电极电流和基极电流下的最大值,至少规定一组条件。

5.5.2.5 基极-发射极饱和电压(V_{BEsat})

在规定的集电极电流和基极电流下的最大值,优选与5.5.2.4相同的条件。

5.5.2.6 开通损耗(E_{on})

适用时,在规定的 T_a 或 T_c 或 T_{vj} ,高的集电极-发射极电压(V_{CE}),大的集电极电流(I_{C})、基极电流(I_{B})条件下,负载为感性时,晶体管开通时每个脉冲能量的最大值。

5.5.2.7 关断损耗(E_{off})

适用时,在规定的 T_a 或 T_c 或 T_{vj} ,高的集电极-发射极电压(V_{CE}),大的集电极电流(I_{C})、基极电流(I_{B})条件下,负载为感性时,晶体管关断时每个脉冲能量的最大值。

5.5.2.8 开关时间

5.5.2.8.1 概述

负载为阻性时,在规定条件下的最大值。

5.5.2.8.2 延迟时间 $[t_{d(on)}]$

在规定的集电极电流(I_C)和基极正向电流(I_{B1})下的最大值。

5.5.2.8.3 上升时间(t_r)

在规定的集电极电流(I_C)和基极正向电流(I_{B1})下的最大值。

5.5.2.8.4 贮存时间(t_s)

在规定的集电极电流(I_C)、基极正向电流和反向电流(I_{B1} 和 I_{B2})下的最大值。

5.5.2.8.5 下降时间(t_f)

在规定的集电极电流(I_C)、基极正向电流和反向电流(I_{B1} 和 I_{B2})下的最大值。

5.5.2.9 特征频率(f_T)

在集电极电流和集电极-发射极电压为规定值时,在 $|h_{21E}|$ 近似以 6 dB/倍频程的速率下降时的规定频率下的最小值。

规定特征频率(f_T)时,测试条件的频率值应优先从 1×10^n Hz, 2×10^n Hz, 5×10^n Hz 系列中选取,并应使 $|h_{21E}|$ 在 2~10 的范围内。

5.5.2.10 输出电容(C_{ob})

发射极开路,在规定的集电极-基极电压和频率下的最大值。

注: C_{ob} 用两端测量法。

5.5.2.11 热特性

5.5.2.11.1 概述

等效结温在 5.5.1.1 中规定。

5.5.2.11.2 结-管壳热阻 $[R_{th(j-c)}]$

晶体管管壳额定时的最大值。

5.5.2.11.3 结-环境热阻 $[R_{th(j-a)}]$

晶体管环境额定时的最大值。

5.5.2.11.4 结-管壳瞬态热阻抗 $[Z_{th(j-c)}]$

晶体管管壳额定时,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。

5.5.2.11.5 在脉冲条件下结-管壳热阻抗 $\{Z_{th(j-c)p}\}$

表示 $\{Z_{th(j-c)p}\}$ 与不同占空比的脉冲宽度 t_p 的关系曲线图,占空比至少为 1/2。

5.5.2.11.6 结-环境瞬态热阻抗 $\{Z_{[th(j-a)]}\}$

晶体管环境额定值时,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。

5.6 电阻偏置晶体管

5.6.1 额定值(极限值)

5.6.1.1 温度

工作温度范围:环境温度、管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj})。

贮存温度范围:(T_{stg})。

5.6.1.2 电压和电流

5.6.1.2.1 通则

额定值应能满足器件在整个额定工作温度范围内工作。当额定值随温度变化时,应表明这种依赖关系。

5.6.1.2.2 输入电压(V_I)

最大正向电压和反向电压值。

5.6.1.2.3 输出电压(V_O)

最大值。

5.6.1.2.4 输出电流(I_O)

最小值。

5.6.1.3 耗散功率(P_{tot} 或 P_C)

当特性中未给出热阻时,应规定最大总耗散功率。在工作温度范围内,最大总耗散功率是温度的函数。

对风冷和(或)散热器有任何特殊要求时应予以规定。

5.6.2 特性

5.6.2.1 概述

除非另有规定,给出的是 25 °C 下的特性。

5.6.2.2 断态输入电压 $[V_{I(off)}]$

最大值,适用时在规定的输出断态电流和电压(高电平输出电压)下的最小值。

5.6.2.3 通态输入电压 $[V_{I(on)}]$

最小值,适用时在规定的输出通态电流和电压(低电平输出电压)下的最大值。

5.6.2.4 通态输出电压 $[V_{O(on)}]$

在规定的输出通态电流和输入电流下的最大值。

注：该特性相当于双极晶体管的集电极-发射极饱和电压(V_{CEsat})。

5.6.2.5 断态输出电流 [$I_{O(off)}$]

在规定的输入输出电压下的最大值。

5.6.2.6 偏置电阻 1 (r_1)

25℃时的最大值和最小值。

5.6.2.7 偏置电阻比

应规定 r_1/r_2 或 r_2/r_1 的最大值和最小值。

5.6.2.8 热阻 [$R_{th(j-a)}$ 或 $R_{th(j-c)}$]

其中等效结温在 5.6.1.1 中规定。

规定安装条件下的最大值。

5.6.2.9 正向电流传输比的静态值 (h_{FE})

在规定的输出电压和输出电流条件下的最小值。

6 验证方法及测试方法

6.1 概述

电路图中电源极性适用于 NPN 器件。但只要改变仪表和电源极性,该电路也可适用于 PNP 器件。适用时,被测器件(DUT)也可以是电阻偏置晶体管。

IEC 60747-1:2006 第 6 章中规定的一般要求适用于本测试方法。

6.2 额定值(极限值)的验证方法

6.2.1 接收判据

接收判据见表 13,电阻偏置晶体管的接收判据见表 14。

表 13 判定的接收特性和接收判据

判定的接收特性	接收判据	测量条件
I_{CES}	<USL	规定的 V_{CE}
V_{CEsat}	<USL	规定的 I_C 和 I_B
USL:规定的上限		

表 14 电阻偏置晶体管判定的接收特性和接收判据

判定的接收特性	接收判据	测量条件
$I_{O(off)}$ 或 I_{CES}	<USL	规定的 V_O 或 V_{CE}
$V_{O(on)}$ 或 V_{CEsat}	<USL	规定的 I_O 或 I_C 和 I_I 或 I_B
USL:规定的上限		

6.2.2 集电极电流(I_C)

6.2.2.1 目的

在规定条件下,验证晶体管的集电极电流能力不小于最大额定值 I_C 。

6.2.2.2 电路图

集电极电流验证电路图见图 3。

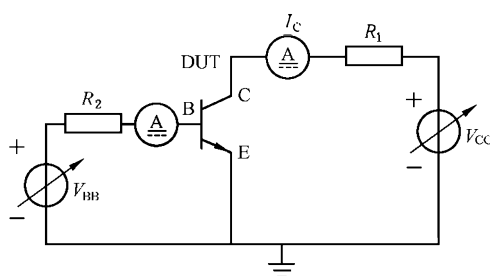


图 3 集电极电流验证电路图

6.2.2.3 电路说明和要求

R_1 和 R_2 是电路保护电阻, V_{BB} 和 V_{CC} 是直流电压源。

6.2.2.4 试验步骤

将温度(T_a 或 T_c)和基极电流调至规定值并保持。增加电源电压(V_{CC})直至集电极电流达到规定值。达到热平衡时,试验完成。完成以上试验后,确认晶体管特性是否正常,见表 13。

6.2.2.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj});
- b) 集电极电流(I_C);
- c) 基极电流(I_B)。

6.2.3 峰值集电极电流(I_{CM})

6.2.3.1 目的

在规定条件下,验证晶体管的峰值集电极电流能力不小于最大额定值 I_{CM} 。

6.2.3.2 电路图

峰值集电极电流验证电路图见图 4。

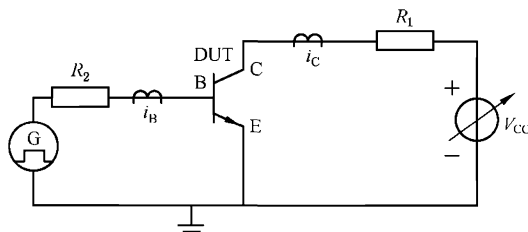


图 4 峰值集电极电流验证电路图

6.2.3.3 电路说明和要求

R_1 和 R_2 是电路保护电阻, V_{CC} 是提供集电极电流的电压源, G 是提供基极电流的脉冲发生器。

6.2.3.4 试验步骤

将温度(T_a 或 T_c 或 T_{vj})和基极电流调至规定值并保持。增加电源电压(V_{CC}),使集电极电流达到规定值。占空比应符合 IEC 60747-1:2006 中 6.6.10 的规定。完成以上试验后,确认晶体管特性是否正常,见表 13。

6.2.3.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj});
- b) 集电极电流(I_C);
- c) 基极脉冲电流(持续时间,占空比)。

6.2.4 基极电流(I_B)

6.2.4.1 目的

在规定条件下,验证晶体管的基极电流能力不小于最大额定值 I_B 。

6.2.4.2 电路图

基极电流验证电路图见图 5。

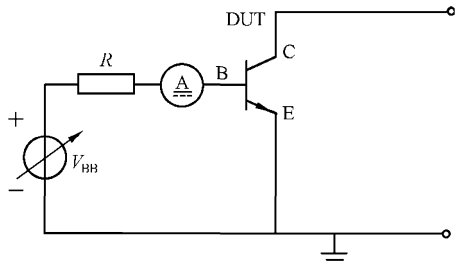


图 5 基极电流验证电路图

6.2.4.3 电路说明和要求

R 是电路保护电阻, V_{BB} 是直流电源。

6.2.4.4 试验步骤

调节温度(T_a 或 T_c 或 T_{vj})为规定值。增加电源电压(V_{BB}),使 I_B 达到规定值。当达到热平衡时,可以停止试验。完成以上试验后,确认晶体管特性是否正常,见表 13。

6.2.4.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj});
- b) 基极电流(I_B)。

6.2.5 峰值基极电流(I_{BM})

6.2.5.1 目的

在规定条件下,验证晶体管的峰值基极电流能力不低于最大额定值 I_{BM} 。

6.2.5.2 电路图

峰值基极电流验证电路图见图 6。

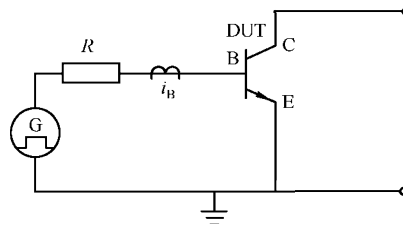


图 6 峰值基极电流验证电路图

6.2.5.3 电路说明和要求

R 是电路保护电阻, G 是脉冲发生器。

6.2.5.4 试验步骤

调节温度(T_a 或 T_c 或 T_{vj})为规定值。增加电源电压(G),使基极电流达到规定值。当达到热平衡时,可以停止试验。完成以上试验后,确认晶体管特性是否正常,见表 13。

6.2.5.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj});
- b) 脉冲基极电流(持续时间,占空比)。

6.2.6 集电极-基极电压(V_{CBO} 、 V_{CBS} 、 V_{CBR} 、 V_{CBX})

6.2.6.1 目的

在规定条件下,验证晶体管能承受的额定集电极-基极电压 V_{CBO} 、 V_{CBS} 、 V_{CBR} 或 V_{CBX} 。

6.2.6.2 电路图

集电极-基极电压验证电路图见图 7。

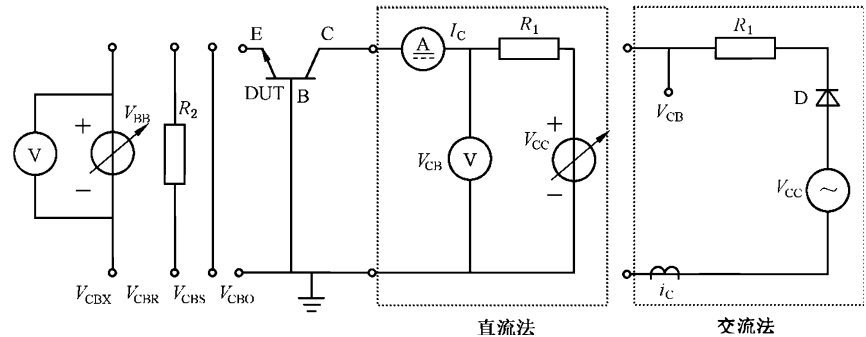


图 7 集电极-基极电压 V_{CBO} 、 V_{CBS} 、 V_{CBR} 、 V_{CBX} 验证电路图

6.2.6.3 电路说明和要求

R_1 是电路保护电阻, V_{CC} 是直流或交流功率电压电源, V_{BB} 是直流电压电源。

6.2.6.4 试验步骤

根据图 7 的电路图, 有两种方法, 即直流法和交流法。基极-发射极之间设置为规定条件, 施加集电极-基极电压。完成以上试验后, 根据表 13 的判据, 确认晶体管特性是否正常。

6.2.6.5 规定条件

规定条件如下。

- a) 环境温度或管壳温度或等效结温 (T_a 或 T_c 或 T_{vj})。
- b) 基极-发射极偏置条件:
 - 1) V_{CBO} : 基极和发射极之间开路;
 - 2) V_{CBX} : 基极-发射极条件- V_{BB} ;
 - 3) V_{CBR} : 基极和发射极之间连接电阻;
 - 4) V_{CBS} : 基极和发射极之间短路。
- c) 电源 V_{CC} 的频率如果不是 50 Hz 至 60 Hz 时, 需进行规定。

6.2.7 集电极-发射极电压 (V_{CEO} 、 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX})、输出电压 (V_O)

6.2.7.1 目的

在规定的条件下, 验证晶体管能够承受的额定集电极-发射极电压 V_{CEO} 、 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX} 或电阻偏置晶体管的输出电压 V_O 。

6.2.7.2 电路图

集电极-发射极电压和输出电压验证电路图见图 8。

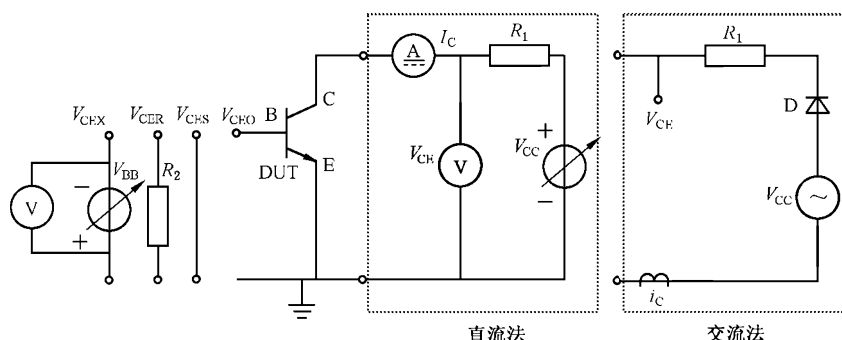


图8 集电极-发射极电压 V_{CE0} 、 V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX} 和输出电压 V_O 验证电路图

6.2.7.3 电路说明和要求

R_1 是电路保护电阻, V_{CC} 是直流或交流功率电压电源, V_{BB} 是直流电压电源。

6.2.7.4 试验步骤

根据图8的电路图,有两种方法,即直流法和交流法。基极-发射极间设置为规定条件,施加集电极-发射极电压。完成以上试验后,根据表13和表14的判据,确认晶体管特性是否正常。

6.2.7.5 规定条件

规定条件如下。

- a) 集电极-发射极电压(V_{CE})。
- b) 环境温度或管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj})。
- c) 基极-发射极偏置条件:
 - 1) V_{CE0} : 基极和发射极之间开路;
 - 2) V_{CEX} : 基极-发射极条件- V_{BB} ;
 - 3) V_{CER} : 基极和发射极之间连接电阻;
 - 4) V_{CES} : 基极和发射极之间短路;
 - 5) V_O : 输入电路开路。
- d) 电源 V_{CC} 的频率如果不是 50 Hz~60 Hz 时,要进行规定。

6.2.8 发射极-基极电压(V_{EBO})、输入电压(V_I)

6.2.8.1 目的

在规定条件下,验证晶体管能够承受的额定反向发射极-基极电压 V_{EBO} 或电阻偏置晶体管的输入电压 V_I 。

6.2.8.2 电路图

发射极-基极电压和输入电压验证电路图见图9。

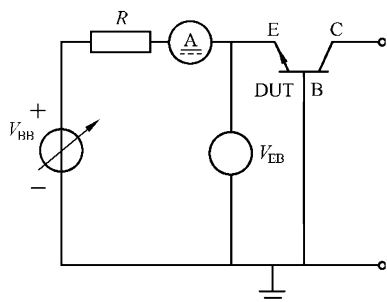


图 9 发射极-基极电压 V_{EBO} 和输入电压 V_i 验证电路图

6.2.8.3 电路说明和要求

R 是电路保护电阻, V_{BB} 是直流电压源。

6.2.8.4 试验步骤

给被测晶体管施加发射极-基极电压 V_{EBO} 或输入电压 V_i 。对于电阻偏置晶体管, 输入电压施加在两极上。完成以上试验后, 根据表 13 和表 14 的判据, 确认晶体管特性是否正常。

6.2.8.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 发射极-基极截止电流 (I_{EBO});
- b) 环境温度或管壳温度或等效结温 (T_a 或 T_c 或 T_{vj});
- c) 集电极开路。

6.2.9 安全工作区

6.2.9.1 反向偏置安全工作区 (RBSOA)

6.2.9.1.1 目的

验证晶体管在反向偏置安全工作区中能可靠无故障工作。

6.2.9.1.2 电路图和波形

反向偏置安全工作区验证电路图见图 10, 波形和曲线见图 11。

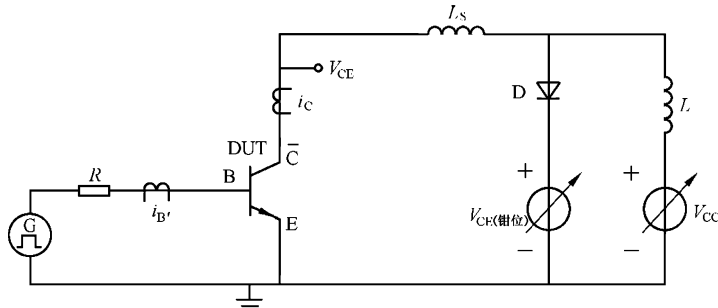
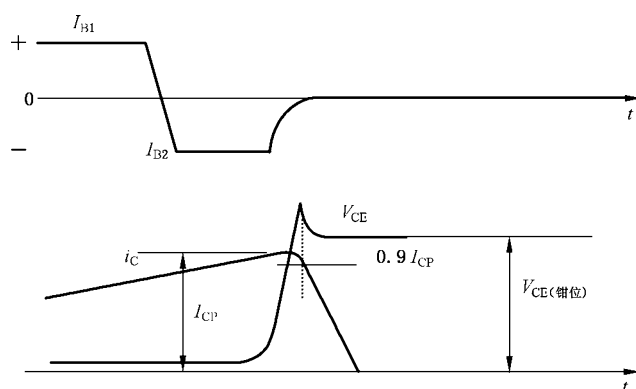
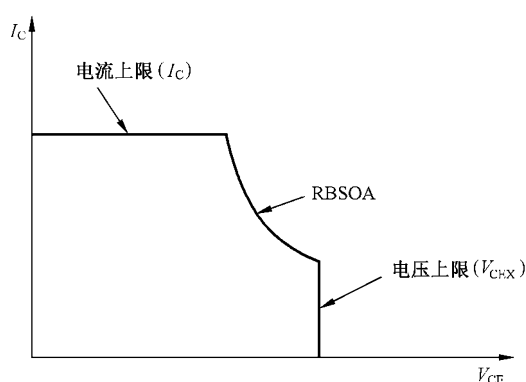


图 10 反向偏置安全工作区 (RBSOA) 验证电路图

a) 关断期间基极电流 I_B 和集电极电流 I_C 的波形

注：这个测试宜如上所述应用于 RBSOA。

b) 关断期间的 RBSOA 曲线

图 11 RBSOA 的波形和曲线

6.2.9.1.3 电路说明和要求

R 是电路保护电阻, V_{CC} 是可调电压源。

L 是感性负载, $V_{CE(钳位)}$ 是用于钳位电压的可调电源。

L_S 是杂散电路电感, G 是提供基极电流的脉冲发生器。

D 是钳位二极管。

负载电感 L 的值应足够高, 以便在下降时间 t_f 开始之前将 $V_{CE(钳位)}$ 施加在器件上。

6.2.9.1.4 试验步骤

在规定 I_C 下, 关断被测器件, 监测 V_{CE} 和 I_C 值, 被测器件 I_C 关断, 并承受 $V_{CE} = V_{CE(钳位)}$ 的电压。完成上述试验后, 确认被测器件的特性是否正常, 见表 13。

6.2.9.1.5 规定条件

规定条件如下:

- 集电极电流 (I_C);
- 基极反向电流 (I_{B2});
- 集电极-发射极电压 [$V_{CE(钳位)}$];
- 单脉冲或测试频率 (f_{sw});

- e) 电感(L)；
- f) 非钳位杂散电感 L_s 的值；
- g) 环境温度或管壳温度或等效结温 (T_a 或 T_c 或 T_{vj})。

6.2.9.2 短路安全工作区(SCSOA)

6.2.9.2.1 目的

验证晶体管在负载短路条件下能可靠无故障工作。

6.2.9.2.2 电路图

短路安全工作区验证电路见图 12,开关波形见图 13。

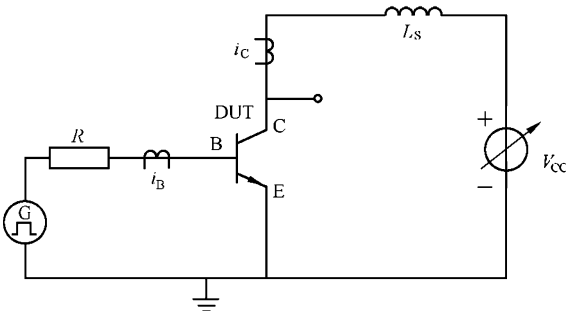


图 12 短路安全工作区(SCSOA)验证电路图

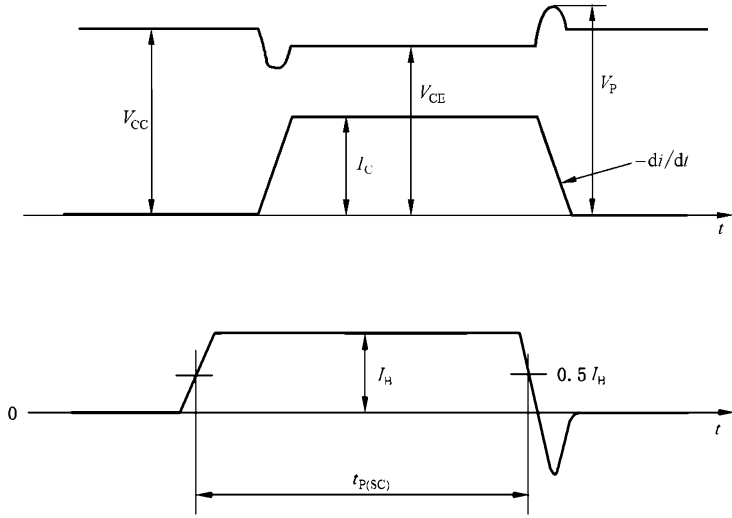


图 13 短路安全工作条件 SCSOA 下基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和电压 V_{CE} 波形

6.2.9.2.3 电路说明和要求

图 13 中集电极供电电路的阻抗应足够小,以使 V_P 小于 $[V_{CE} + L_s(-di/dt)]$ 。
 V_P 是负载短路条件下瞬态峰值电压。
 R 是电路保护电阻, V_{CC} 是可调电压源。
 L_s 是杂散电路电感, G 是提供基极电流的脉冲发生器。

6.2.9.2.4 试验步骤

将温度调至规定值,将基极电流、脉冲宽度调至规定值,集电极-发射极电压 V_{CE} 调至规定值。监视集电极电流 I_C 、 V_{CE} 和 I_B ,以查看晶体管是否正常导通和关断。完成以上试验后,确认被测晶体管特性是否正常,见表 13。

6.2.9.2.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 集电极-发射极电压($V_{CE}=V_{CC}$);
- b) 基极电流(I_B);
- c) 脉冲宽度 $[t_{p(sc)}]$;
- d) 杂散电感(L_S);
- e) 环境温度或管壳温度或等效结温(T_a 或 T_c 或 T_{vj})。

6.2.10 输出电流(I_O)

6.2.10.1 目的

验证电阻偏置晶体管在最大输出电流下能够可靠无故障工作。

6.2.10.2 电路图

输出电流验证电路见图 14。

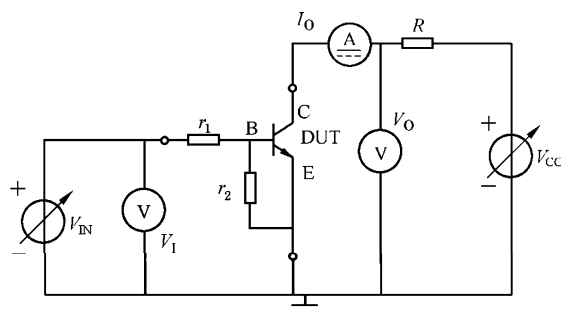


图 14 输出电流 I_O 的验证电路图

6.2.10.3 试验步骤

施加规定的通态输入电压。调整输出电源(V_{CC}),使输出电流达到规定值。

6.2.10.4 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
- b) 通态输入电压 $[V_{I(on)}]$ 或电流(I);
- c) 通态输出电流 $[I_{O(on)}]$ 。

6.2.11 集电极-发射极维持电压

6.2.11.1 目的

在规定的条件下,验证晶体管维持在集电极-发射极维持电压的最大额定值,而未被损坏。

6.2.11.2 电路图

集电极-发射极维持电压验证电路图见图 15。

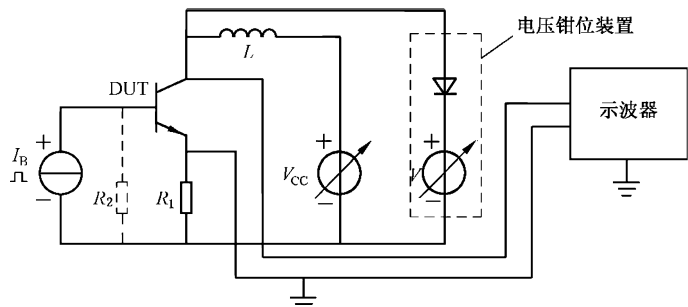


图 15 集电极-发射极维持电压验证基本电路图

6.2.11.3 注意事项

开始试验时,应降低箝位装置的可调电压,以验证其是否起作用;然后,再把箝位装置调到所需的 V_{CE0} 值,该值对应规定的 I_C 电流(图 16 中 B 点)。

6.2.11.4 电路说明和要求

使晶体管在脉冲条件下工作在饱和状态。

由于电感 L 的作用,开关基极电流能在一个电流-电压周期内对晶体管进行扫描。

电阻 R_2 只在测量维持电压 $V_{CER(sus)}$ 时才使用。

电源 V_{CC} 是可调的,能将集电极电流调到规定值。

R_1 是电流测量电阻。

图 15 给出的电压箝位装置是一个可变电压源与一个二极管的串联装置,把电压 V_{CE} 限定为规定的 $V_{CEO(sus)}$ 或 $V_{CER(sus)}$ 的最大额定值。

电感 L 的最小值可在详细规范中给出,或者由公式(4)计算得出:

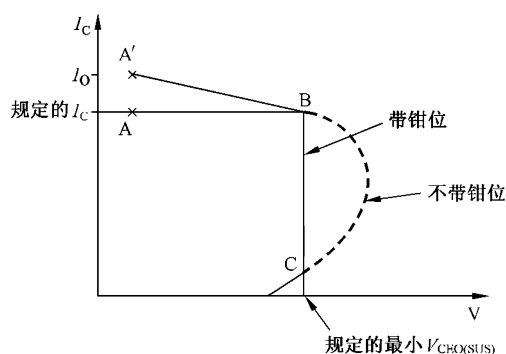
$$L_{\min} = (V - V_{CC}) \frac{t_{\text{off}}}{0.1 I_C} \dots\dots\dots (4)$$

此值可保证 I_C 在 t_{off} 期间的下降不大于 10%。

6.2.11.5 试验步骤

试验步骤如下。

- a) 调节箝位装置,使其工作在 $V_{CEO(sus)}$ 最大额定值上。
- b) 调节电源 V_{CC} 为 0,调节电流 I_B 为电流 I_C 规定值的 1/10 或 1/5。这样,在 V_{CE} 只有几伏的情况下(图 16 中的 A 点)(即在饱和条件下),电流 I_C 即可达到规定值。
- c) 逐渐加大 V_{CC} 电压,直到在 $V_{CEO(sus)}$ 最大额定值下,电流 I_C 达到规定值(图 16 中的 B 点)。这样,循环开始时的电流可能会达到略大于 I_C 规定值的 I_0 (图 16 中的 A' 点)。

图 16 I_C 与 V_{CE} 特性曲线

6.2.11.6 要求

试验要求如下：

- 如果从 B 点到 C 点的轨迹不通过 BC 直线的左面,则该晶体管是满足要求的；
- 当不采用箝位装置时,如果轨迹如图 16 所示的有效地绕 B 点转动,则该晶体管是满足要求的；
- 试验后,器件还应符合表 13 的要求。

6.2.11.7 规定条件

规定条件如下：

- 管壳温度或环境温度 (T_c 或 T_a)；
- 集电极电流 (I_C)；
- 最小维持电压 [$V_{CE0(sus)}$ 或 $V_{CER(sus)}$]；
- 电感量 (L) (适用时)；
- 脉冲源 I_B 的频率,如果该频率不是 50 Hz,要进行规定；
- 电阻 R_2 [$V_{CER(sus)}$]。

6.3 特性的测试方法

6.3.1 负载为感性时的开通时间和开通损耗

6.3.1.1 目的

负载为感性时,在规定条件下,测量晶体管的开通时间 t_d, t_r, t_{on} 和开通损耗 E_{on} 。

6.3.1.2 电路图和波形

开通时间和开通损耗的测试电路图及波形见图 17。

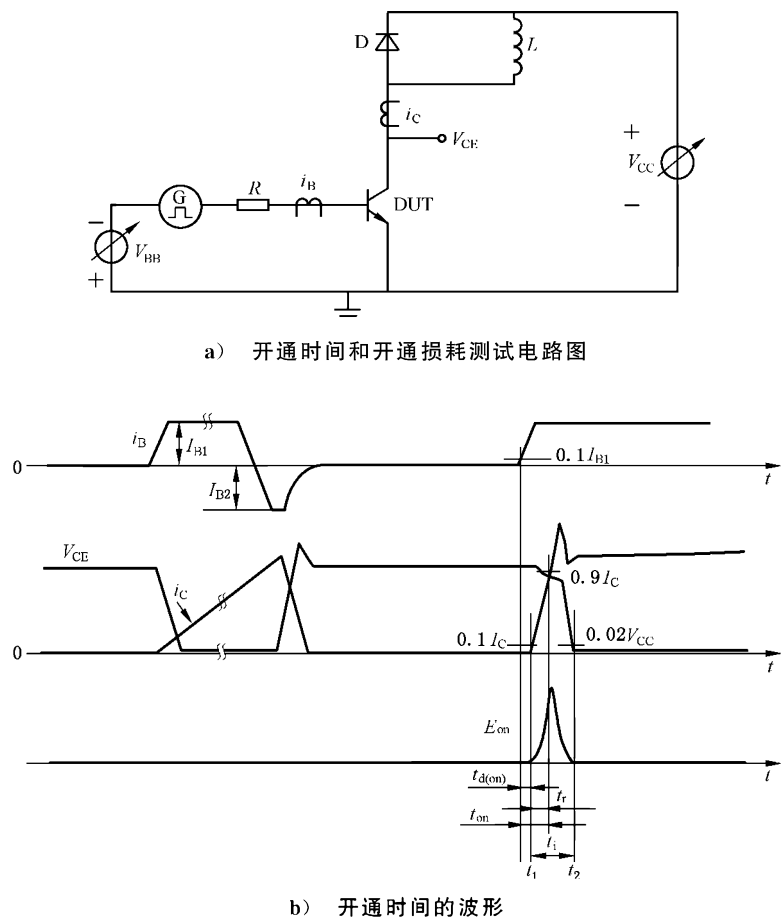


图 17 电路图和波形

6.3.1.3 电路说明和要求

R, V_{BB} 和脉冲发生器 G 用于调整 I_{B1} 和 I_{B2} 的值。
 R 是电路保护电阻, V_{CC} 是可调电压源。
 L 是感性负载。
 D 是续流二极管。

6.3.1.4 测试步骤

调节输入脉冲幅度 I_{B1} 和 I_{B2} 以及电源电压 V_{CC} 为规定值。使晶体管导通和关断两次, 然后观察第二次导通过程。监测基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和集电极-发射极电压 V_{CE} 的波形。 E_{on} 由公式(5)计算得出。

$$E_{on} = \int_{t_1}^{t_2} i_C \times V_{CE} \times dt \quad \dots\dots\dots (5)$$

6.3.1.5 规定条件

- 规定条件如下：
- a) 环境温度或管壳温度或等效结温 (T_a 或 T_c 或 T_{vj})；
 - b) 集电极-发射极电压 (V_{CE1})；
 - c) 集电极电流 (I_{C1})；

- d) 脉冲期间的基极电流(I_{B1})；
- e) 峰值反向基极电流(I_{B2}) (仅适用于 t_s 、 t_f 和 t_{off})；
- f) 输入电压(V_{BB} 和 G)；
- g) 电阻(R)；
- h) 影响晶体管开通损耗的续流二极管的特性。

6.3.2 负载为感性时的关断时间和关断损耗

6.3.2.1 目的

负载为感性时,在规定的条件下,测量晶体管的关断时间 t_s 、 t_f 、 t_{off} 和关断损耗 E_{off} 。

6.3.2.2 电路图和波形

关断时间和关断损耗测试电路图见图 17a),波形见图 18。

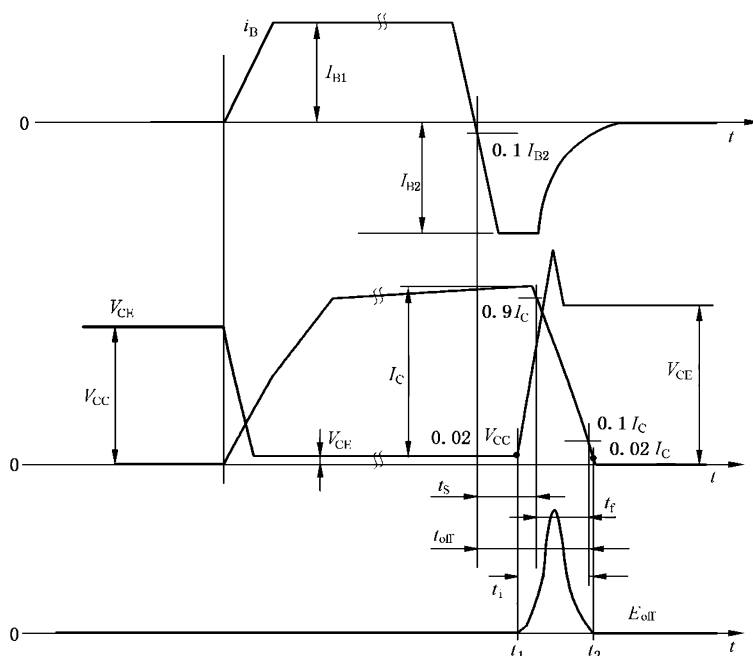


图 18 关断期间的波形

6.3.2.3 电路说明和要求

R 、 V_{BB} 和脉冲发生器 G 用于调整 I_{B1} 和 I_{B2} 的值。

R 是电路保护电阻, V_{CC} 是可调电压源。

L 是感性负载, D 是续流二极管。

6.3.2.4 测试步骤

调节输入脉冲幅度 I_{B1} 和 I_{B2} 以及电源电压 V_{CC} 为规定值,使晶体管导通和关断,监测基极电流 I_B 、集电极电流 I_C 和集电极-发射极电压 V_{CE} 的波形。 E_{off} 由积分公式(6)计算得出。

$$E_{off} = \int_{t_1}^{t_2} i_C \times V_{CE} \times dt \quad \dots\dots\dots (6)$$

6.3.2.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度或管壳温度或等效结温 (T_a 或 T_c 或 T_{vj})；
- b) 集电极-发射极电压 (V_{CE1})；
- c) 集电极电流 (I_{C1})；
- d) 脉冲期间的基极电流 (I_{B1})；
- e) 峰值反向基极电流 (I_{B2}) (仅适用于 t_s 、 t_f 和 t_{off})；
- f) 输入电压 (V_{BB} 和 G)；
- g) 电阻 (R)；
- h) 影响晶体管开通损耗的续流二极管的特性。

6.3.3 集电极-发射极截止电流 (直流法) (I_{CEO} 、 I_{CEX} 、 I_{CES} 、 I_{CER})

6.3.3.1 目的

在规定条件下测量晶体管的集电极-发射极截止电流。

6.3.3.2 电路图

集电极-发射极截止电流测试基本电路见图 19。

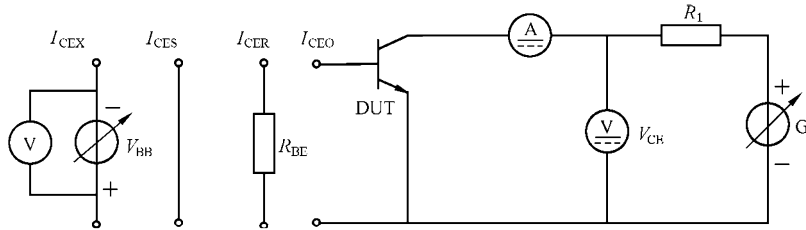


图 19 集电极-发射极截止电流测试基本电路图

6.3.3.3 电路说明和要求

电阻 R_1 为限流电阻，基极-发射极间电路应按规定。

6.3.3.4 测试步骤

将温度调到规定值。加大电压，使 V_{CE} 达到规定值。

用电流表 A 读出截止电流。

6.3.3.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度或管壳温度 (T_a 或 T_c)；
- b) 集电极-发射极电压 (V_{CE})；
- c) 基极-发射极端子间按以下规定施加条件：
 - 1) 对于 I_{CEO} $I_B = 0$ ；
 - 2) 对于 I_{CER} $R_{BE} = \dots \Omega$ ；
 - 3) 对于 I_{CEX} $V_{BB} = \dots V$ 、 $R = \dots \Omega$ 或 $V_{BE} = \dots V$ ；

4) 对于 I_{CES} $V_{BE}=0$ 。

6.3.4 集电极-基极截止电流(直流法)(I_{CBO})

除发射极和基极对调外,集电极-基极截止电流的测试方法同集电极-发射极截止电流的测试方法(见 6.3.3)。发射极开路。

6.3.5 发射极-基极截止电流(直流法)(I_{EBO})

除把发射极与电流表及把基极与公用线连接外,发射极-基极截止电流的测试方法与集电极-发射极截止电流的测试相同(见 6.3.3)。集电极开路。

6.3.6 集电极-发射极饱和电压(V_{CESat})

6.3.6.1 集电极-发射极饱和电压(直流法)

6.3.6.1.1 目的

在规定的条件下,测量晶体管的集电极-发射极饱和电压。

6.3.6.1.2 电路图

集电极-发射极饱和电压测试基本电路(直流法)见图 20。

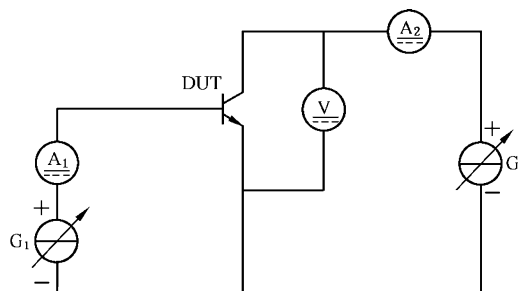


图 20 集电极-发射极饱和电压测试基本电路图(直流法)

6.3.6.1.3 注意事项

因为有超过最大耗散功率 P_{tot} 的危险,故应严格按下述测试步骤的顺序进行。

必要时,可修改测试电路,例如在电源 G_2 的两端接入电压限制电路。

6.3.6.1.4 测试步骤

将温度调到规定值。

调节基极电流,使电流表 A_1 的读数为规定值。

调节集电极电流,使电流表 A_2 的读数为规定值。

在电压表 V 上测出集电极-发射极饱和电压。

6.3.6.1.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
- b) 基极电流(I_B);

c) 集电极电流(I_C)。

6.3.6.2 集电极-发射极饱和电压(脉冲法)

6.3.6.2.1 目的

在脉冲条件下,测量晶体管的集电极-发射极饱和电压。

6.3.6.2.2 电路图

集电极-发射极饱和电压测试基本电路(脉冲法)见图 21。

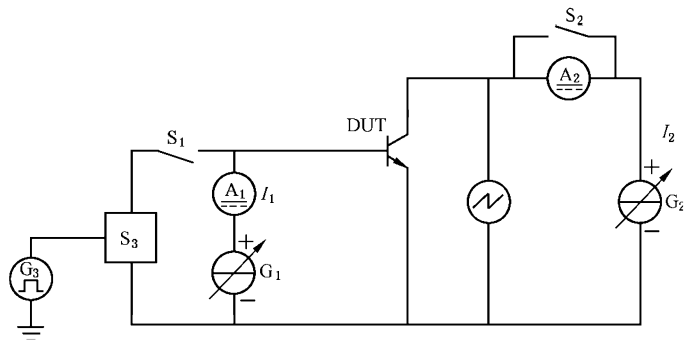


图 21 集电极-发射极饱和电压测试基本电路图(脉冲法)

6.3.6.2.3 电路说明和要求

电子开关 S_3 通常是闭合的,只有在脉冲信号源 G_3 给它加脉冲信号时才断开。

恒流源 G_1 的内阻应比被测晶体管的内阻大得多。

恒流源 G_2 的内阻应比 V_{CEsat}/I_C 的值大得多。

6.3.6.2.4 注意事项

直流电源对负载变化的响应时间应小于被测晶体管的“导通”时间。

规定的脉冲信号源的脉冲宽度和占空比应足够小,以避免被测晶体管中产生显著的热耗散。

直流电源 G_2 的最大电压不应超过晶体管的集电极-发射极击穿电压。

6.3.6.2.5 测试步骤

将温度调到规定值。

断开开关 S_1 ,测试插座上不装晶体管,发射极和基极插孔之间插入短路线,调节电流源 G_1 直到电流表 A_1 上的读数等于 I_B 的规定值。

断开开关 S_2 ,测试插座上不装晶体管,发射极和集电极插孔之间插入短路线,调节电流源 G_2 直到电流表 A_2 上的读数等于 I_C 的规定值。

将被测晶体管插入插座,开关 S_1 和 S_2 闭合,用 G_3 使 S_3 工作。导通时,示波器上观察到的波形平坦部分的稳定电压值就是 V_{CEsat} 。

6.3.6.2.6 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
- b) 基极电流(I_B);

- c) 集电极电流(I_C);
- d) 脉冲时间和占空比(t_p, δ , 优先选取 $t_p = 300 \mu\text{s}, \delta \leq 2\%$)。

6.3.7 基极-发射极饱和电压(V_{BEsat})

6.3.7.1 基极-发射极饱和电压(直流法)

6.3.7.1.1 目的

在规定的条件下,测量晶体管的基极-发射极饱和电压。

6.3.7.1.2 电路图

基极-发射极饱和电压测试基本电路(直流法)见图 22。

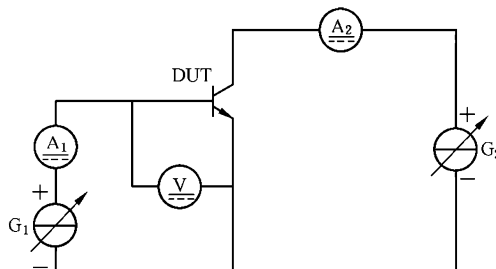


图 22 基极-发射极饱和电压测试基本电路图(直流法)

6.3.7.1.3 注意事项

经验上,要建立起规定的工作点是困难的,且有时存在超过晶体管最大耗散功率的危险,故应严格按测试步骤的顺序进行。

必要时可修改测试电路。例如可在电源 G_2 的两端接入电压限制电路。

6.3.7.1.4 测试步骤

将温度调到规定值。

调节基极电流,使电流表 A_1 的读数为规定值。

调节集电极电流,使电流表 A_2 的读数为规定值。

在电压表 V 上测出基极-发射极饱和电压的值。

6.3.7.1.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
- b) 基极电流(I_B);
- c) 集电极电流(I_C)。

6.3.7.2 基极-发射极饱和电压(脉冲法)

6.3.7.2.1 目的

在脉冲条件下,测量晶体管的基极-发射极饱和电压。

6.3.7.2.2 电路图

基极-发射极饱和电压测试基本电路见图 23。

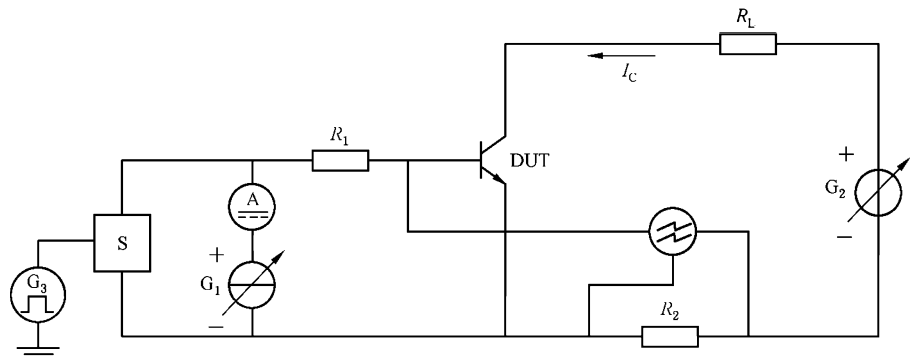


图 23 基极-发射极饱和电压测试基本电路图(脉冲法)

6.3.7.2.3 电路说明和要求

电流源 G_1 提供基极电流。

电子开关 S 通常是闭合的,只有在脉冲信号源 G_3 给基极加脉冲信号时才断开。应选择合适的脉冲频率和占空比,以避免被测晶体管产生显著的热耗散(见 IEC 60747-1:2006 的 6.6.10)。

选择电阻 R_1 的值,使电压源 G_2 提供规定的集电极电流。通过连接在示波器上的电阻 R_2 测量集电极电流。

6.3.7.2.4 测试步骤

将温度调到规定值。

将电流表 A 上基极电流的读数调节为规定值。

将示波器上显示的集电极电流调节为规定值。

通过示波器测量出基极-发射极饱和电压。

6.3.7.2.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度或等效结温(T_a 、 T_c 或 T_{vj});
- b) 基极电流(I_B);
- c) 集电极电流(I_C);
- d) 脉冲时间(t_p)和占空比(δ),优先选取 $t_p = 300 \mu s$, $\delta \leq 2\%$ 。

6.3.8 基极-发射极电压(直流法)(V_{BE})

6.3.8.1 目的

在规定条件下,测量晶体管的基极-发射极电压。

6.3.8.2 电路图

基极-发射极电压测试基本电路见图 24。

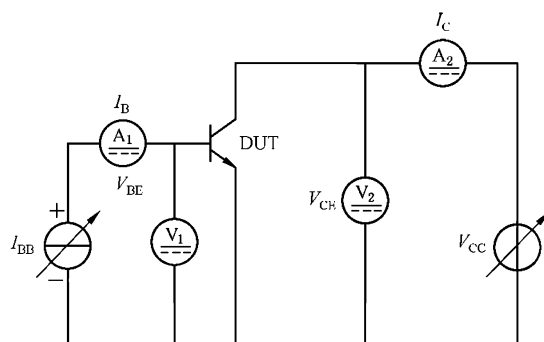


图 24 基极-发射极电压测试基本电路图(直流法)

6.3.8.3 测试步骤

将温度调到规定值。

调节电压源 V_{CC} ，直到电压表 V_2 的读数为规定的电压 V_{CE} 。

增加电流发生器 I_{BB} 的电流，直到电流表 A_2 的读数为规定的集电极电流。

检查集电极-发射极电压 V_{CE} ，必要时应进行调节。

电压表 V_1 的读数即为基极-发射极电压。

6.3.8.4 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度或管壳温度 (T_a 或 T_c)；
- b) 集电极电流 (I_C)；
- c) 集电极-发射极电压 (V_{CE})。

6.3.9 电容

6.3.9.1 共基极输出电容 (C_{22b} 、 C_{ob})

共基极输出电容的测试方法如下：

a) 目的

在规定条件下，测量晶体管的输出电容。

b) 有两种方法：

——方法 1：两端电桥法；

——方法 2：三端电桥法。此法特别适用于小输出电容的精确测量。

在方法 1 中，电桥应允许通过直流偏置电流，而在方法 2(三端电桥法)中，则没有这一要求。

6.3.9.1.1 方法 1：两端电桥法

两端电桥法如下。

a) 电路图

共基极输出电容两端电桥法测试基本电路见图 25。

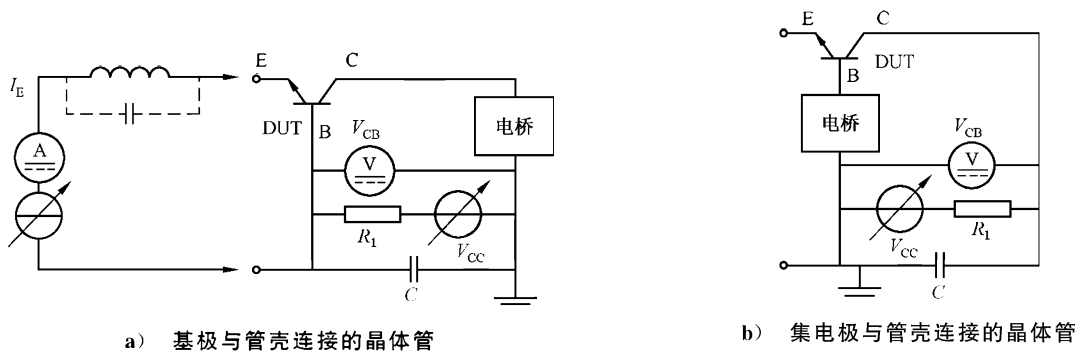


图 25 共基极输出电容两端电桥法测试基本电路图

- b) 电路说明和要求
- 电桥在承受所要求的集电极电流时应不影响测试精度,也可在电桥的两端接上一个电感。电容 C 在测试频率下应能起到短路作用。如果不在发射极开路的情况下测量电容,则要在发射极和基极间接入一偏置电路。
- c) 测试步骤
- 将温度调到规定值。
- 接入测试电路,调节电桥的读数为零。
- 将被测晶体管插入测试插座,加上规定的偏置条件,测出输出电容。
- d) 规定条件
- 规定条件如下:
- 1) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
 - 2) 集电极-基极电压(V_{CB});
 - 3) 发射极电流(I_E),通常为零;
 - 4) 测量频率(f),如果该频率不是 1 MHz;
 - 5) 晶体管安装条件(必要时)。

6.3.9.1.2 方法 2:三端电桥法

三端电桥法如下。

- a) 电路图
- 测试基本电路见图 26。

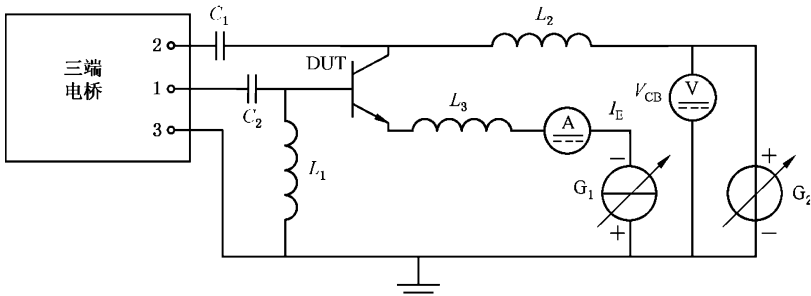


图 26 C_{CB} 三端电桥法测试基本电路图

- b) 电路说明和要求
- 三端电桥应能测出 1、2 端之间的电容,该电容与这两端之间的任何一端与接地屏蔽端 3 之间

的阻抗大小无关。(有关三端电桥的详细信息,见第 6.3.13.2 条)。

电容 C_1 和 C_2 在测试频率下应呈现短路。电感 L_1 、 L_2 和 L_3 在测试频率下应为高阻抗。

图中示出的是不可能或不要求让直流通过电桥的情况。如果电桥能承受得住所要求的偏置电流而不影响测试精度,则可把电路简化,即把直流偏压加到电桥的端子上。

如果规定发射极电流为零,则发射极偏置电路可省略。

如果被测晶体管为四端子器件(金属管壳与其他 3 个端子电绝缘),可把第 4 个端子(管壳)接到电桥的地端。

c) 注意事项

要尽可能减小分布电容。

测试时应确定器件参考面,并将延伸到参考面的器件引线加以屏蔽。

如果要得到精确、可重复的测试结果,应详细规定晶体管的安装方法。例如,对测试插座应作这样的规定:电容的测量与晶体管的引线长度无关,并且,电容的测试结果是相对于测试参考面的。

d) 测试步骤

将温度调到规定值。

将电桥调到规定的测试频率上,接通电路,测试插座上不装晶体管,将电桥的读数调到零。

然后将被测晶体管插入测试插座,施加规定的偏置条件,由平衡电桥确定输出电容。

e) 规定的条件

规定条件如下:

- 1) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
- 2) 集电极-基极电压(V_{CB});
- 3) 发射极电流(I_E),通常为零;
- 4) 测试频率(f),如果不是 1 MHz 时;
- 5) 测试参考面;
- 6) 安装条件(必要时)。

6.3.9.2 集电极-基极电容(C_{cb})

6.3.9.2.1 目的

在规定的条件下,测量晶体管的集电极-基极电容。

6.3.9.2.2 电路图

测试基本电路见图 27。

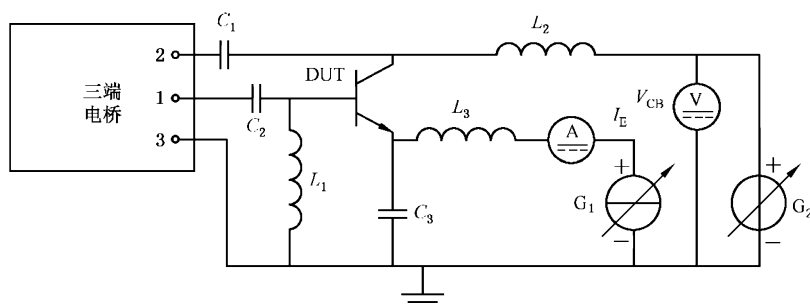


图 27 C_{cb} 三端电桥法测试基本电路图

6.3.9.2.3 电路说明和要求

发射极与地之间的电容 C_3 在测试频率下应呈现短路。

6.3.9.2.4 测试步骤

测试步骤见 6.3.9.1.2 共基极输出电容测试方法。

6.3.10 混合参数(小信号和大信号)

6.3.10.1 通则

虽然第 5 章(关于基本额定值和特性)要求给出共发射极参数,但有时需先测出共基极参数,然后计算共发射极参数(采用共集电极组态则例外, h_{21e} 是用 h_{21c} 计算得到的)。

本条款所述测试方法是用来测量一定频率范围内的四个 h 参数的。在这个频率范围内,其电抗分量与非电抗分量之比可以忽略不计。为了满足这些条件,测试频率应足够低,以便使电抗分量的影响可以忽略不计。然而,在一个相对较低的频率下,如 1 000 Hz,电抗分量可能仍然是十分可观的。

6.3.10.2 共发射极小信号短路输入阻抗(h_{11e})、共发射极小信号短路正向电流传输比(h_{21e})

6.3.10.2.1 目的

在规定的条件下,测量晶体管在输出交流短路情况下的共发射极小信号输入阻抗和正向电流传输比。

6.3.10.2.2 电路图

h_{11e} 和 h_{21e} 测试基本电路见图 28。

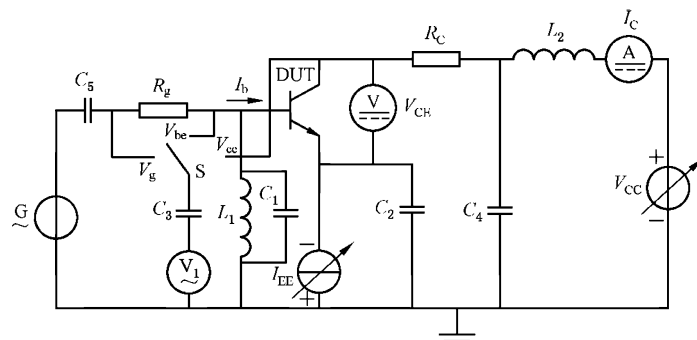


图 28 h_{11e} 和 h_{21e} 测试基本电路图

6.3.10.2.3 电路说明和要求

在测试频率下,电容 C_2 至 C_5 应呈现短路状态。 R_c 为精密标准电阻,其值小于 $1/h_{22e}$ 。对 R_g 要进行精确校准。 V_1 为交流电子电压表。

基极对地及集电极对地的分布电容要很小。

电感 L_1 的电抗要比 h_{11e} 大,且在测试频率下与电容 C_1 并联谐振。

6.3.10.2.4 测试步骤

先增加集电极电压、后加大发射极电流,直至给器件加到规定的偏置条件。在调节过程中,不要超

过器件的额定值。

将信号源 G 调到规定的频率；用高阻抗的电压表 V_1 测出 V_{CE} 、 V_g 和 V_{be} 。

h_{11e} 用公式(7)、公式(8)、公式(9)、公式(10)计算：

$$h_{11e} = \frac{V_{be}}{I_b} \dots\dots\dots (7)$$

$$I_b = \frac{V_g - V_{be}}{R_g} \dots\dots\dots (8)$$

$$h_{11e} = R_g \frac{V_{be}}{V_g - V_{be}} \dots\dots\dots (9)$$

如果 R_g 大于 h_{11e} , $V_g \gg V_{be}$, 则：

$$h_{11e} \approx R_g \frac{V_{be}}{V_g} \dots\dots\dots (10)$$

如果 V_g 保持不变, 则指示 V_{be} 的仪表可直接用 h_{11e} 来标度。

h_{21e} 可用公式(11)、公式(12)、公式(13)、公式(14)、公式(15)计算：

$$h_{21e} = \frac{I_c}{I_b} \dots\dots\dots (11)$$

$$I_c = \frac{V_{ce}}{R_c} \dots\dots\dots (12)$$

$$I_b = \frac{V_g - V_{be}}{R_g} \dots\dots\dots (13)$$

$$h_{21e} = \frac{V_{ce}}{R_c} \cdot \frac{R_g}{V_g - V_{be}} \dots\dots\dots (14)$$

如果 R_g 大于 h_{11e} , $V_g \gg V_{be}$, 则：

$$h_{21e} \approx \frac{V_{ce}}{V_g} \frac{R_g}{R_c} \dots\dots\dots (15)$$

如果 V_g 保持不变, 则指示 V_{ce} 的仪表可直接用 h_{21e} 来标度。

6.3.10.2.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c)；
- b) 测试频率(f)；
- c) 集电极电流(I_c)；
- d) 集电极-发射极电压(V_{CE})。

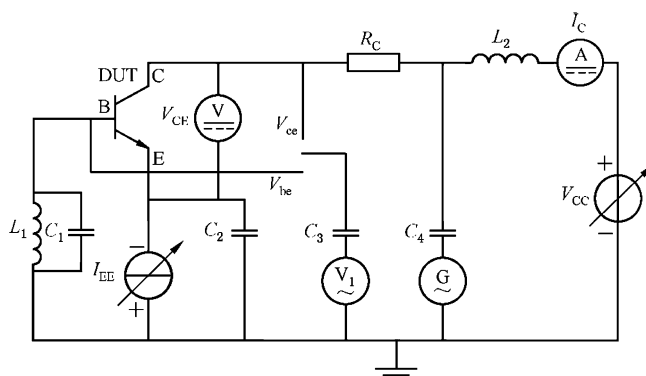
6.3.10.3 共发射极小信号开路反向电压传输比(h_{12e})

6.3.10.3.1 目的

在规定条件下, 测量晶体管在输入交流开路情况下的共发射极小信号反向电压传输比。

6.3.10.3.2 电路图

测试基本电路见图 29。

图 29 h_{12e} 测试基本电路图

6.3.10.3.3 电路说明和要求

用电压表 V_1 测出 V_{be} 和 V_{ce} 。

电容 C_2 至 C_4 在测试频率下应呈短路状态。

电感 L_1 的电抗应比 h_{11e} 大,且在测试频率下与电容 C_1 并联谐振。

在测试频率下, L_2 的电抗应比信号源 G 的输出阻抗大。

6.3.10.3.4 测试步骤

增加集电极电压源 V_{CC} 的输出,使集电极-发射极电压达到规定值。

增大发射极电流源的输出,使电流表 A 的指示达到规定的集电极电流值。检查集电极-发射极电压,必要时进行调节。

加大信号源 G 的输出,使集电极电压的有效值近似等于规定的集电极-发射极电压值的十分之一。此值在电子电压表 V_1 上进行测量,读取 V_{ce} 。

h_{12e} 用公式(16)进行计算:

$$h_{12e} = \frac{V_{be}}{V_{ce}} \dots\dots\dots (16)$$

如果 V_{ce} 保持不变, 指示 V_{be} 的表头可直接用 h_{12e} 来标度。

6.3.10.3.5 规定的条件

规定条件如下:

- a) 环境或管壳温度(T_a 或 T_c);
- b) 测试频率(f);
- c) 集电极电流(I_C);
- d) 集电极-发射极电压(V_{CE})。

6.3.10.4 共发射极小信号开路输出导纳(h_{22e})

6.3.10.4.1 目的

在规定条件下,测量晶体管在输入交流开路情况下的共发射极小信号输出导纳。

6.3.10.4.2 电路图

共发射极小信号开路输出导纳测试电路图见图 30。

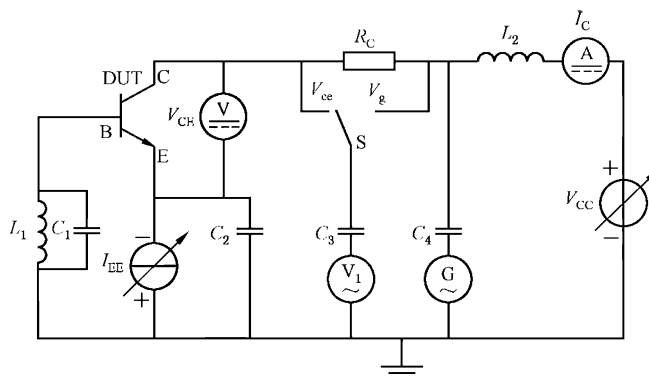


图 30 h_{22e} 测试基本电路图

6.3.10.4.3 电路说明和要求

电容器 C_2 至 C_4 在测试频率下应呈短路状态。电阻器 R_C 为精密标准电阻, 其值要小于 $1/h_{22e}$ 。电感器 L_1 要大于 h_{11e} 的电抗, 且在测试频率下与电容 C_1 并联谐振。

用电压表 V_1 测量 V_{ce} 和 V_g 。测量 V_{ce} 的电子电压表的阻抗应大于 $1/h_{22e}$ 。

6.3.10.4.4 测试步骤

增加集电极电压源 V_{cc} 的输出,使集电极-发射极电压达到规定值。

增大发射极电流源的输出,使电流表 A 指示的集电极电流达到规定值。检查集电极-发射极电压,必要时进行调节。

加大信号源 G 的输出,使集电极电压有效值近似等于集电极-发射极电压规定值的十分之一。

h_{22e} 用公式(17)、公式(18)、公式(19)进行计算:

$$h_{22e} = \frac{I_c}{V_{ce}} \dots\dots\dots (17)$$

$$I_c = \frac{V_g - V_{ce}}{R_c} \dots\dots\dots (18)$$

$$h_{22e} = \frac{V_g - V_{ce}}{V_{ce} R_c} \dots\dots\dots (19)$$

如果 V_g 保持不变, 指示 V_{ce} 的电压表可直接用 h_{22e} 来标度。

6.3.10.4.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
- b) 测试频率(f);
- c) 集电极电流(I_C);
- d) 集电极-发射极电压(V_{CE})。

6.3.10.5 共基极小信号开路输出导纳(h_{22b})

6.3.10.5.1 目的

在规定条件下,测量晶体管在输出交流开路情况下的共基极小信号输出导纳。

6.3.10.5.2 电路图

测试基本电路见图 31。

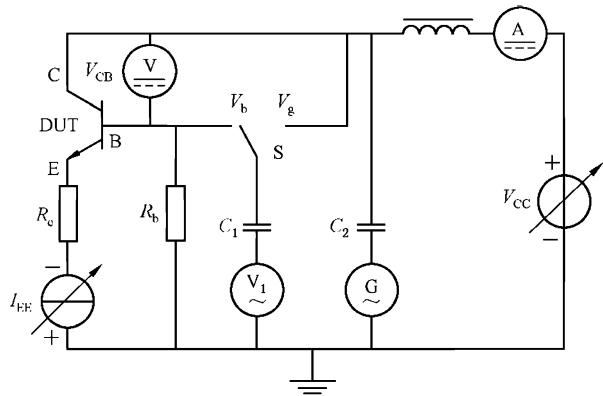


图 31 h_{22b} 测试基本电路图

6.3.10.5.3 电路说明和要求

电容 C_1 、 C_2 在测试频率下应呈短路状态。
 R_e 应大于 $Z_{11b} + R_b$ ，用电子电压表 V_1 测量 V_b 和 V_g 。

6.3.10.5.4 测试步骤

增加集电极电压源 V_{CC} 的输出，使集电极-基极电压达到规定值。增大发射极电流源的输出，使电流表 A 指示的集电极电流达到规定值。检查集电极-基极电压，必要时进行调节。然后断开电压表 V_{CB} 。

加大信号源 G 的输出，使集电极电压有效值近似等于集电极-发射极电压规定值的十分之一。

h_{22b} 用公式(20)、公式(21)、公式(22)、公式(23)、公式(24)、公式(25)进行计算：

$$h_{22b} = \frac{I_c}{V_{cb}} \dots\dots\dots(20)$$

$I_c \approx I_b$ (因发射极处于开路状态)，则：

$$h_{22b} \approx \frac{I_b}{V_{cb}} \dots\dots\dots(21)$$

$$I_b = \frac{V_b}{R_b} \dots\dots\dots(22)$$

$$V_{cb} = V_g - V_b \dots\dots\dots(23)$$

$$h_{22b} \approx \frac{V_b}{R_b (V_g - V_b)} \dots\dots\dots(24)$$

如果 R_b 小于 $1/h_{22e}$ ， $V_g \gg V_b$ ，则：

$$h_{22b} \approx \frac{V_b}{V_g \cdot R_b} \dots\dots\dots(25)$$

如果 V_g 保持不变，则指示 V_b 的电压表可直接用 h_{22b} 来标度。

6.3.10.5.5 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c)；
- b) 测试频率(f)；
- c) 集电极电流(I_C)；
- d) 集电极-基极电压(V_{CB})。

6.3.10.6 共发射极正向电流传输比(h_{21E}) (输出电压保持不变) (直流或脉冲法)

6.3.10.6.1 目的

在规定的条件下,测试晶体管的共发射极正向电流传输比的静态值。

6.3.10.6.2 电路图

测试基本电路见图 32。

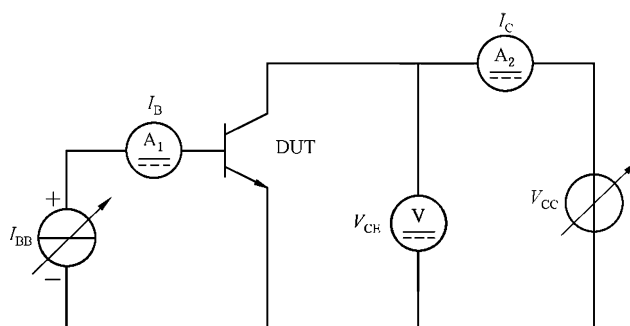


图 32 h_{21E} 测试基本电路图

6.3.10.6.3 电路说明和要求

当 I_C 固定不变时,指示基极电流 I_B 的电流表可直接用 h_{21E} 来标度。可用脉冲源代替恒流源,此时,两个电流表应为峰值读数的仪表。

6.3.10.6.4 测试步骤

将温度调到规定值。

调节电压源 V_{CC} ,使电压表 V 的指示达到规定的 V_{CE} 电压值。

加大电流源 I_{BB} 的输出电流,使电流表的指示达到集电极电流 I_C 的规定值。

检查集电极-发射极电压 V_{CE} ,必要时进行调节。

h_{21E} 由公式(26)得出:

$$h_{21E} = \frac{I_C}{I_B} \dots\dots\dots (26)$$

6.3.10.6.5 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c)；
- b) 集电极电流(I_C)；
- c) 集电极-发射极电压(V_{CE})。
- d) 如果采用脉冲法,脉冲信号源的脉冲持续时间和占空比(t_p, δ),优选 $t_p = 300 \mu s, \delta \leq 2\%$ 。

6.3.11 热阻

6.3.11.1 通则

当已知晶体管耗散的功率时,热阻 R_{th} 的测量涉及 T_j 和 T_a (或 T_c) 的测量。

结温通过器件的热敏参数来测量。

通常使用的两个参数是:

- a) 集电结正向直流电压;
- b) 发射结正向直流电压。

正向电压随温度的升高而下降。因此,固定电压下的正向电流或固定电流下的正向电压(或中间条件)可校准为结温的函数。

结温的测量方法要求:进行校准时,晶体管的耗散功率要很小,以便将结温敏感参数校准为环境温度的函数。由于在晶体管上一定会有功率耗散,因此,热阻的测量就要求有一个能交替给晶体管施加功率及测量结温的系统。

宜注意的是此测量方法作了这样的假设:当晶体管功率耗散时,结温分布是均匀的,并且和晶体管校准时的温度相同。这个假设可能是不成立的。

利用热阻的测量,可以确定安全工作区,安全工作区的确定方法见附录 A。

6.3.11.2 热阻测量的一般程序

热阻测量的一般程序。

a) 测量时间

为了测量结温,晶体管在大部分时间耗散功率,而在短时间内关断。

在测量结温期间,测量时间应短于被测器件的热响应时间,以使器件不至于明显地冷却。

功率耗散时间和测量时间之比应足够大,这样,平均耗散功率近似等于“通态”条件下的耗散功率。

可采用下列方法:

- 1) 机械开关技术(即:继电器、电机驱动的转换开关);
- 2) 电子开关技术。

注:测量功率晶体管时,流过发射极和集电极电路的大电流可能会产生相关风险,最好把开关接基极电路。

b) 步骤 1

将器件置于温度可变的容器中,当器件的耗散功率可忽略不计时,测量热敏参数和温度的关系曲线。然后,将器件置于一个温度固定的容器内并施加功率。通过测量热敏参数可得到总的结温。

按公式(27)求出热阻:

$$R_{th} = \frac{T_j - T_{ref}}{P_1} \dots\dots\dots (27)$$

式中:

T_{ref} ——环境温度或管壳温度;

P_1 ——加到器件上的功率,其值由公式(28)给出:

$$P_1 = I_C V_{CB} + I_E V_{EB} \dots\dots\dots (28)$$

c) 步骤 2

将器件置入一个温度为 T_2 的容器中,观测热敏参数。然后,将器件转移到一个温度为 T_1 的容器中($T_1 < T_2$)并加上功率,直至热敏参数达到其初始值,则,热阻按公式(29)求出:

$$R_{th} = \frac{T_2 - T_1}{P_1} \dots\dots\dots (29)$$

6.3.11.3 发射极-基极正向电压法

发射极-基极正向电压法测试方法如下：

a) 概述

此处给出的热阻测量方法是检验管芯焊接的最简易的方法，管芯焊接好坏主要影响功率器件的可靠性。发射极-基极正向电压是一个理想的热敏参数。热阻可以通过单个加热信号脉冲引起的发射极-基极电压变化(ΔV_{EB})来计算。

与长占空比的测量方法相比，单个脉冲法有如下优点：

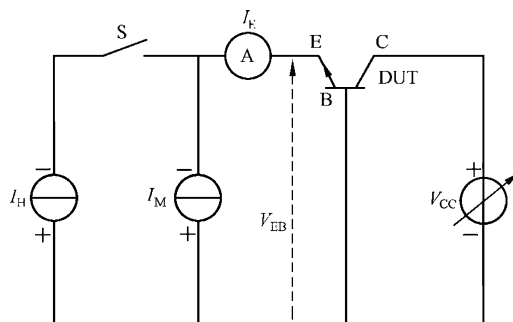
- 1) 可容易、快速测量出结-管壳的热阻。此方法适用于生产线上对器件管芯焊接进行 100% 检验；
- 2) 在可靠性试验中，特别是在热疲劳试验中，可以很容易发现器件管芯焊接蜕化现象；
- 3) 给器件施加大功率是完全可能的，这样就允许测量二次击穿点(S/B)和安全工作区(SOA)。

b) 目的

仅在发射极有开关的情况下，利用发射极-基极结的温度特性，测量单个晶体管的结至任意参考点的热阻。

c) 测试方法原理

通过选择适当的加热脉冲持续时间(t_p)，并利用发射极-基极正向电压(V_{EB})的温度特性测得结温，由此进一步测量结至任意点 X 的热阻 $R_{th(j-x)}$ 。



标引符号说明：

I_E ——电流探测器。

图 33 NPN 晶体管热阻测试基本电路图

NPN 晶体管热阻的测试电路见图 33。对于 PNP 晶体管，要调换图 33 中的集电极电压源(V_{CC})和电流表(I_H , I_M)的极性。除非另有说明，下述内容是对 NPN 晶体管而言的。

基极接地测试电路包括两个电流源(测试电流源 I_M 和加热电流源 I_H)、一个电压源 V_{CC} (提供集电极-基极电压 V_{CB}) 和加热电流开关(S)。此测试方法可采用直流或脉冲开关。

断开开关 S，只有测量电流 I_M 流入被测晶体管；发射极-基极正向电压为 V_1 ，结温为 $T_j^{(1)}$ ，如图 34 所示。将开关 S 闭合，加热电流与测量电流一起流入晶体管。在加热脉冲持续时间(t_p)内，结温从 $T_j^{(1)}$ 上升到 $T_j^{(2)}$ ，发射极-基极正向电压立即从 V_1 上升到 V_2 。

由于发射极-基极电压是负温度系数，所以当结温上升时，发射极-基极电压从 V_2 下降到 V_3 。

然后，将开关 S 断开，发射极电流和发射极-基极电压分别下降到 I_M 和 V_4 。由于结温仍然很高，在测试电流下，发射极-基极正向电压维持在小於初始值 V_1 上，随着结温的下降，该电压升

高,最后升到 I_M 的初始值 V_1 。

注: 测量精度基本由电压 V_4 的测量精度决定。

为了计算热阻,在示波器上观测 $V_{EB}^{(1)}$ 。在示波器上观测到的发射极电流 I_E 和发射极-基极正向电压 V_{EB} 随时间的变化示意图如图 35 所示。首先,记录测试电流下的发射极-基极正向电压在时间 t_0 和 t_0+t_p 时刻的值(V_1 和 V_4)。

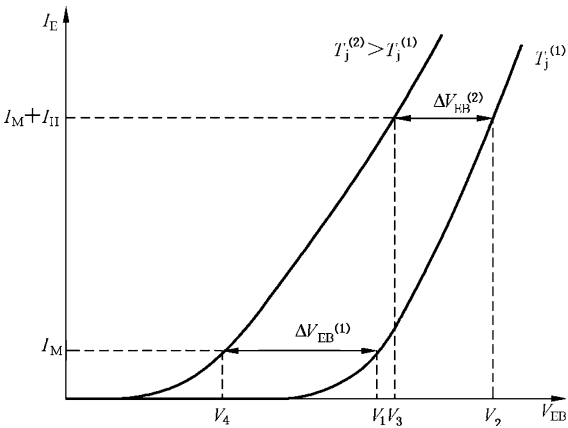


图 34 结温为 $T_j^{(1)}$ 、 $T_j^{(2)}$ 时发射极电流(I_E)与发射极-基极电压(V_{EB})的关系曲线

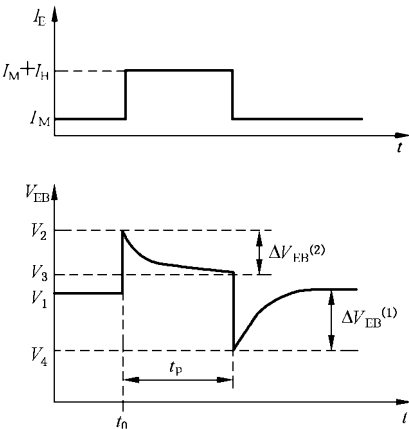


图 35 I_E 和 V_{EB} 随时间的变化

两个值的差为 $\Delta V_{EB}^{(1)}$ 。则结至固定温度参考点 X 的热阻由公式(30)给出:

$$R_{th(j-x)} = \frac{\Delta T_j}{\Delta P_T} = \frac{\Delta V_{EB}^{(1)} / \alpha_{V_{EB}}}{I_H V_{EB} + h_{FB} I_H V_{CB}} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

- $R_{th(j-x)}$ —— 结至参考点 X 的热阻,单位为摄氏度每瓦特($^{\circ}\text{C}/\text{W}$);
- ΔP_T —— 被测器件的耗散功率变化量,单位为瓦特(W);
- ΔT_j —— 由 ΔP_T 引起的结温的变化量,单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$);
- I_H —— 加热电流,单位为安培(A);
- $\alpha_{V_{EB}}$ —— 发射极-基极正向电压温度系数,单位为毫伏每摄氏度($\text{mV}/^{\circ}\text{C}$);
- $\Delta V_{EB}^{(1)}$ —— 在 I_M 下测得的发射极-基极正向电压变化量,单位为毫伏(mV)。

h_{FB} 是晶体管共基极电流增益。

通常 V_{CB} 远远大于 V_{EB} , h_{FB} 近似等于 1。

于是得到下面的近似表达式(31):

$$R_{th(j-x)} = \frac{\Delta V_{EB}^{(1)} / \alpha_{V_{EB}}}{I_H V_{CB}} \dots\dots\dots (31)$$

这样,就可测得结到参考点的热阻。然而,操作者应根据参考点的位置和晶体管的材料,选择适当的加热脉冲持续时间,以使结被充分加热而参考点的温度又没有显著的变化。

例如,要测结至硅芯片的热阻,要选择 t_p 小于芯片的热时间常数,经验上为几十微秒。

同样,要测结至管壳的热阻 $R_{th(j-c)}$,因为材料热时间常数的关系,选择的脉冲持续时间约为 100 ms。要测结至环境之间的热阻 $R_{th(j-a)}$,为了使管壳达到平衡状态, t_p 要选择得足够大;对于大多数晶体管来说,经验值要大于几十分钟。

利用总电流(测量电流和加热电流之和)下的 V_{EB} 的温度系数,并利用图 34 示出的 $\Delta V_{EB}^{(2)}$,用公式(30)和公式(31)也可以计算出热阻。不过,在这么大的电流下,由于器件上压降的影响,所测得的温度系数是不准确的。因此,通常不使用这个方法。

d) 测试步骤

测试步骤如下:

1) 将偏置电源调到规定值 V_{CB} ;

2) 测量温度系数 $\alpha_{V_{EB}}$:

热敏参数的温度系数是这样测得的:即器件在规定的测量电流(I_M)及集电极-发射极电压(V_{CE})工作状态下,用温度可控的加热器给器件加热,测量发射极-基极正向电压,该电压是温度的函数。要注意测量温度系数($\alpha_{V_{EB}}$)时被测器件要与加热器之间达到热平衡。

测量电流范围为 1 mA~50 mA。注意温度系数 $\alpha_{V_{EB}}$ 是负数,其大小与测量电流有关;

3) 施加加热电流 I_H :

在规定的時間间隔(t_p)内,施加规定的发射极电流,以使结温上升。

4) 计算热阻

用示波器或其他方法或更精确的测量方法测出在测量电流下的发射极-基极正向电压变化量 $[\Delta V_{EB}^{(1)}]$;热阻用公式(30)或公式(31)计算。

e) 规定条件

规定条件如下:

1) 测量电流(I_M);

2) 给结加热的发射极电流(I_H);

3) 加热脉冲持续时间(t_p);

4) 集电极-基极电压(V_{CB});

5) 安装要求。

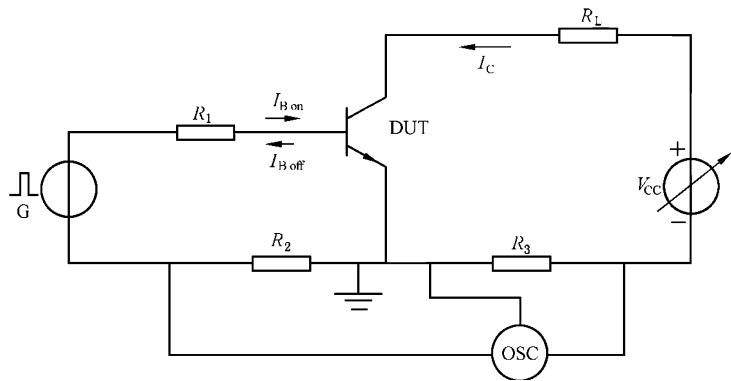
6.3.12 负载为阻性时的开关时间

6.3.12.1 目的

用于测量晶体管在脉冲信号下由断态到通态和由通态到断态时的延迟时间、上升时间、开通时间、载流子贮存时间、下降时间和关断时间。

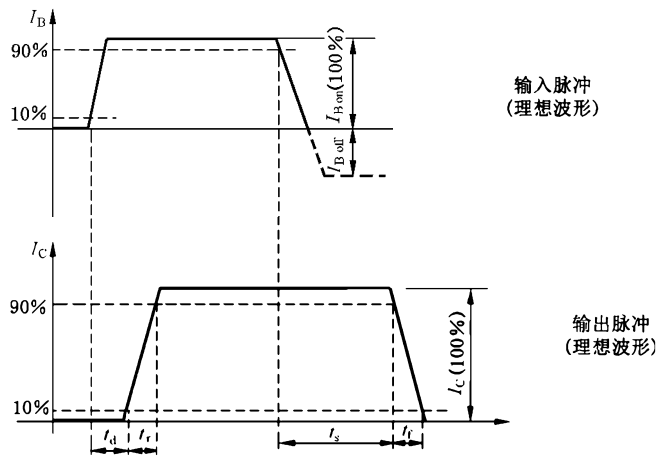
6.3.12.2 电路图和波形

测试电路图见图 36,波形图见图 37。



标引符号说明：
OSC——双通道示波器。

图 36 测试电路图



标引符号说明：
 t_d ——延迟时间； t_r ——上升时间； t_f ——下降时间； t_s ——贮存时间。

图 37 开关时间波形图

6.3.12.3 电路说明和要求

R_1 和 R_L 可用等效电路代替，只要这些等效电路在测量之前的瞬间和测量期间对被测晶体管来说呈现出相同的规定阻抗和电压条件即可。 R_2 和 R_3 是电流采样电阻。

6.3.12.4 注意事项

见 IEC 60747-1:2006 第 6.6.10 条中的规定。

开关时间的测量主要与整个电路的总的频率响应有关。对于很短时间间隔的测量，电路结构应对所涉及的频率都适用。

应仔细地评价示波器的频率响应、触发时间和上升时间，以保证示波器具有合适的性能。通常使用双通道示波器，当示波器与双信号连接时，应注意要保证信号的延迟时间完全相同。

所有电阻应为低电感的电阻，并具有 $\pm 1\%$ 的精度。

有必要使用对晶体管引线有屏蔽作用的插座，还应规定测量参考面。

需要加辅助电路以防止在非测量期间超出晶体管的额定值（特别是 V_{EB} ）。

6.3.12.5 测试步骤

将温度调到规定值。施加规定的集电极电源电压(V_{CC})和输入波形。
在图 37 的输入和输出波形上,按规定测量相关点之间的开关时间。

6.3.12.6 规定条件

规定条件如下:

- 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);
- 集电极电流(I_C 的标称值);
- 脉冲期间的基极电流($I_{B_{on}}$ 的标称值);
- 基极反向峰值电流($I_{B_{off}}$ 的标称值 <0)(仅对 t_s 、 t_i 和 t_{off});
- 最大脉冲沿过渡时间;
- 集电极电源电压(V_{CC});
- 电阻(R_L)。

6.3.13 高频参数(f_T , y , e , s ..)6.3.13.1 特征频率(f_T)

6.3.13.1.1 目的

在规定的条件下,测量晶体管的特征频率。

6.3.13.1.2 电路图

特征频率测试电路图见图 38。

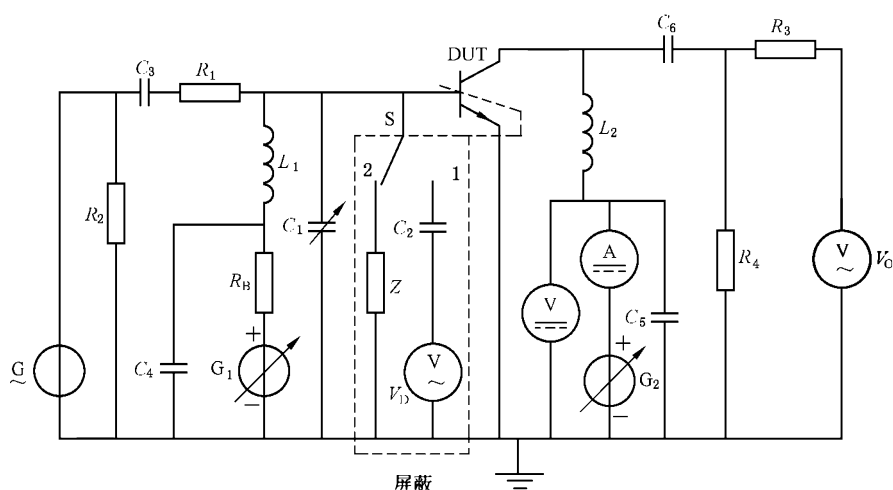


图 38 特征频率测试电路图

6.3.13.1.3 电路说明和要求

V_0 为电子电压表。

V_D 为信号探测器。

- R_1 的值应大于晶体管的输入阻抗。
- R_2 值的选取与信号源的特性阻抗匹配。
- R_3 为电压表 V_O 的内阻,其值应大于 R_4 。
- R_4 的值应小于晶体管的输出阻抗。
- R_B 的值应大于 V_{BE}/I_B 。
- L_1 和 L_2 在测试频率下应具有高的阻抗,且 L_2 的阻抗至少要比 R_4 大 100 倍。
- 电容 C_2 、 C_4 和 C_5 在测试频率下应呈现短路状态。
- 电容 C_3 和 C_6 的阻抗应低于 R_1 和 R_4 。

6.3.13.1.4 注意事项

- 注意事项如下。
- a) 应尽可能减小旁路晶体管基极-发射极的杂散电容。
在非常高的频率下,应将这种杂散电容调谐掉,其做法如下:
取下晶体管,将高输入阻抗的信号探测器 V_D 连接到基极和地之间(开关 S 处于 1 的位置)。然后调节电容 C_1 直到探测器指示出 L_1 和电容(C_1 与分布电容之和)产生并联谐振为止。
然后把开关 S 切换到 2 的位置上,并用一个与探测器阻抗相等的阻抗 Z 代替探测器。
 - b) 尤其重要的是尽量避免发射极引线分布电感的影响。
 - c) 应按电路中所示进行屏蔽,以避免测试信号不经过晶体管而直接在基极和集电极之间传输。
可使用下述方法来验证基极与集电极之间的屏蔽是否符合要求:
取下晶体管,在基极和发射极插孔之间插入电阻,其阻值近似等于晶体管输入阻抗。让集电极插孔开路。
所得到的读数应小到不影响测试精度。
 - d) 如果被测晶体管是四端子器件(包括与其他 3 个引出端电绝缘的金属管壳的情况),则第 4 条引出端的电气连接应按规定进行。

6.3.13.1.5 测试步骤

将集电极和基极电压源 G_1 和 G_2 置于零,在基极和集电极插孔之间插入短路线。

将信号源 G 调到规定的测试频率,调节其输出,使其在输出电子电压表 V_O 上得到适宜的最小读数 $V_O^{(1)}$,且信噪比符合要求。

取下短路器,然后将被测晶体管插入测试插座。

依次分别调节集电极和基极电压源 G_1 和 G_2 ,直至给器件施加上规定的偏置条件为止。调节时应注意不要超过器件的额定值。

将温度调节到规定值,并对偏置条件进行必要的调节。

在相同的信号源条件下,记下输出电子电压表上的读数 $V_O^{(2)}$ 。

则特征频率可用公式(32)进行计算:

$$f_T = f \frac{V_O^{(2)}}{V_O^{(1)}} \dots\dots\dots (32)$$

式中:
 f ——测试频率。

6.3.13.1.6 规定条件

- 规定条件如下:
- a) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);

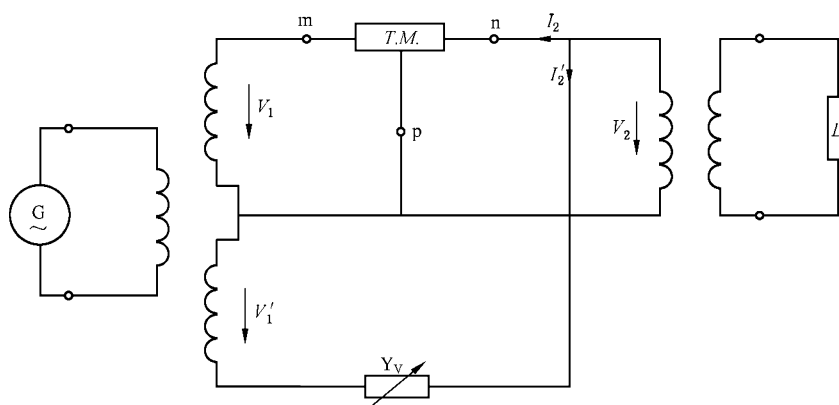
- b) 测试频率(f);
- c) 集电极-发射极电压(V_{CE});
- d) 集电极电流(I_C)。

6.3.13.2 共发射极 y 参数

下面介绍 4 个复数共发射极 y 参数的测试方法。这些方法适用于 50 MHz 以下的频率范围。

可以采用三端电桥(差分变压器式)测量 y 参数。

测试电路图见图 39。



标引符号说明:

D —— 检测器;

$T.M.$ —— 被测三端口电路。

图 39 复数共发射极 y 参数测试电路图

当把电桥调到零时,则满足下列条件:

$$-I_2 = I'_2 \text{ 和 } V_2 = 0$$

另外,因 $V_1 = V'_1$,则公式(33)成立:

$$-Y_{mn} = Y_V \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

Y_{mn} —— 被测三端口电路的短路正向跨导。

此三端口电路是指包括适当的偏置电路和充分旁路的被测晶体管。应根据晶体管不同的 y 参数选取不同的三端口电路。

各种 y 参数情况下晶体管各端子与电桥 m 、 n 和 p 引出端之间的对应关系见图 41、图 42 和图 43。

测量 y_{11e} 的三端口电路见图 40。

注: m 和 p 之间的电路部分直接跨接电桥振荡器,而 n 和 p 之间的电路部分直接跨接检测器,因此它们不会影响测量。

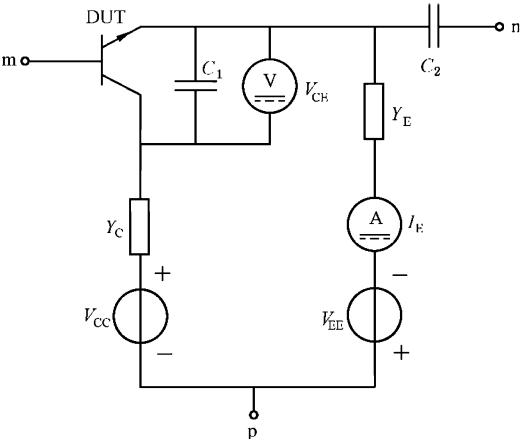


图 40 y_{11e} 三端口测试电路图

导纳 Y_E 和 Y_C 应满足下列条件：

$$\omega C_2 \gg |Y_C|$$
$$\omega C_2 \gg |Y_E|$$

例如，用一个电阻和一个电感串联或采用一个并联调谐电路可得到此条件。
另外，还应满足下列条件：

$$\omega C_1 \gg |y_{21e}| \times |h_{21e}|$$

y_{22e} 三端口测试电路见图 41。

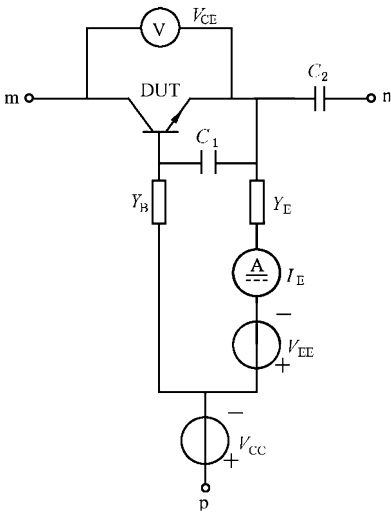


图 41 y_{22e} 三端口测试电路图

条件：

$$\omega C_1 \gg \left| \frac{y_{12e} \cdot y_{21e}}{y_{22e}} \right|$$
$$\omega C_1 \gg \left| \frac{y_{12e} \cdot Y_B}{y_{22e}} \right|$$
$$\omega C_2 \gg |y_{22e}|$$

y_{21e} 三端口测试电路见图 42。

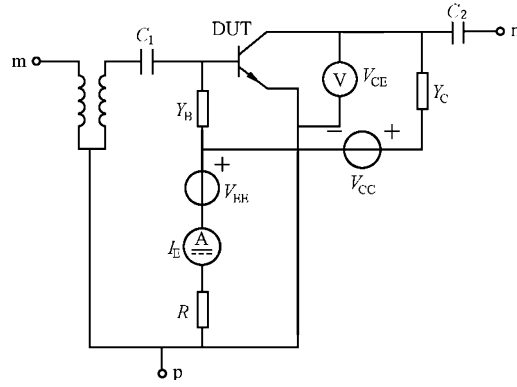


图 42 y_{21e} 三端口测试电路图

条件：

$$\omega C_1 \gg |y_{11e}|$$

$$\omega C_1 \gg |Y_B|$$

$$\omega C_2 \gg |y_{22e}|$$

$$\omega C_2 \gg |Y_C|$$

注：如果电桥不能测量负电导，则需要增加一个反相变压器(如图所示)。

y_{12e} 的三端口测试电路见图 43。

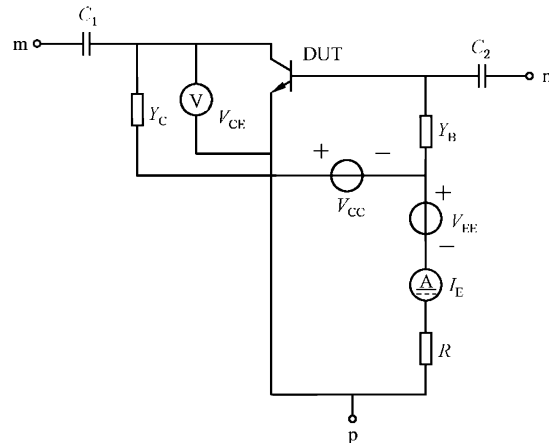


图 43 y_{12e} 三端口测试电路图

条件：

$$\omega C_1 \gg |y_{22e}|$$

$$\omega C_1 \gg |Y_C|$$

$$\omega C_2 \gg |y_{11e}|$$

$$\omega C_2 \gg |Y_B|$$

上述各图中给出的加偏置的方法仅作为说明用，在工程实践中也可使用其他的好方法。

6.3.13.3 S 参数

6.3.13.3.1 输入(s_{11})和输出(s_{22})反射参数

输入(s_{11})和输出(s_{22})反射参数测试方法如下。

- a) 目的
在规定频率下测试晶体管的参数 s_{11} 和 s_{22} 。
- b) 电路图
 s_{11} 和 s_{22} 测试电路框图见图 44。

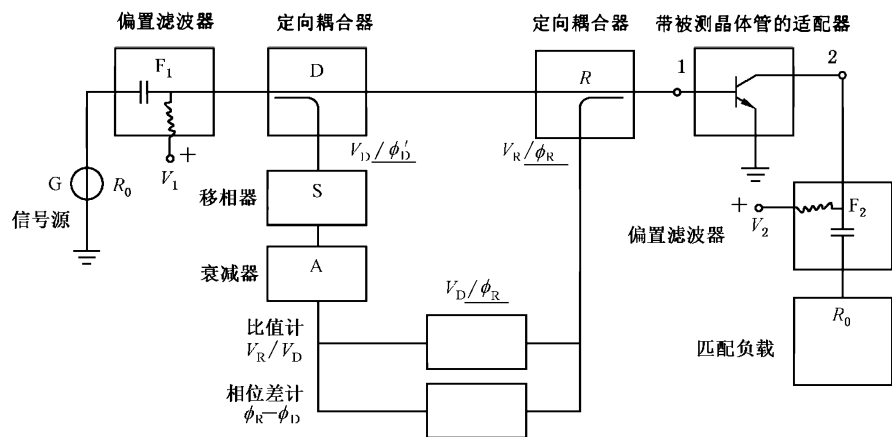


图 44 参数 s_{11} 和 s_{22} 的测试电路框图

- c) 电路说明和要求
与图 44 所示电路有关的测试方法有两种：
 - 1) 直读法：当比值计和相位差计为直读表时采用。此方法不需要用衰减器 A 和移相器 S。在单频测量时，应将衰减器 A 和移相器 S 分别调到最小读数 A_0 （如果可能，应调到 0 dB）和 S_0 （如果可能，应调到 0° ）。
 - 2) 零点法：当没有校准的比值计和相位差计时采用。
- d) 注意事项
应保持小信号条件，见 IEC 60747-1:2006 第 6.6.9 条的规定。
设计晶体管的适配器时，在输入和输出传输线之间无耦合情况下，应使不同类型波导之间的连接或传输不出现明显的失配。
应给出适配器的示意图并标明参考面。
连接端子 1 和 2 的传输线，包括适配器内部的传输线，特性阻抗应等于测量 S 矩阵时所选用的纯电阻性基准阻抗。负载电阻应具有相同的值。传输线上的衰减应小到可以忽略不计，且定向耦合器应有一定的方向性。
如果从端子 D 和 R 出来的信号幅度与仪表的灵敏度相比太小，则可在从这些端子出来的两条传输线上插入两个特性一样的放大器进行放大。
如果比值计 V_R/V_D 和相位差计（或零点检测器）不适合在测试频率下使用，则可在从端子 D 和 R 出来的两条传输线上插入两个由同一个本机振荡器驱动的特性一样的混频器，以进行频率变换。
当接入放大器和混频器时，应注意使它们工作在线性范围内。因此，采用下面 e)1) 给出的步骤或采用 e)2) 中的零点法都是可行的。

要使偏置滤波器的失配减到最小。

如果有一个单独与管壳相连的端子,除另有规定外,应接地。

e) 测试步骤

测试步骤如下:

1) 直读法

让 $V_1 = V_2 = 0$, 取下晶体管。在待进行测量参考面上,将短路器接入适配器的输入端子(点 1)与地之间。

在此条件下,将比值计的读数调到 1,并将相位差计调到 180° 。

当从短路状态切换到开路状态时,如果所观测到相位差有偏差,则表明参考面上的短路条件或开路条件还不够准确,在确定测量精度时,宜考虑所观测到的偏差。

将晶体管插入适配器,此时应注意使输入端子(点 1)与测量参数 s_{11} 的输入端口或与测量参数 s_{22} 的输出端口相吻合。将规定的偏置电压加至相应的端子上。

然后用比值计和相位差计测出幅度比(V_R/V_D)和相位差($\phi_R - \phi_D$)。

用公式(34)计算参数 s_{11} (或 s_{22})的值:

$$s_{11}(\text{或 } s_{22}) = V_R/V_D / (\phi_R - \phi_D) \quad \dots\dots\dots (34)$$

注: 如果比值 V_R/V_D 小于比值计所能读出的最小读数,可将衰减器 A 从初始值 A_0 调到 A_{01} ,使比值 V_R/V_D 落到比值计的读数范围内。同样为了得到更精确的相位差的指示,可将移相器 S 从初始位置 S_0 调到某一个新的位置 S_{01} 。

若衰减器具有恒定的相移,而移相器具有恒定的衰减,则上述步骤是有效的。此时,参数 s_{11} (或 s_{22})可用公式(35)计算:

$$s_{11}(\text{或 } s_{22}) = \frac{V_R/V_D}{\text{anti log}[(A_{01} - A_0)/20]} / \phi_R - (\phi_D + S_{01} - S_0) \quad \dots\dots\dots (35)$$

2) 零点法

该方法是使用一个校准的、具有恒定相移的衰减器 A,一个带刻度的、具有恒定衰减的移相器 S 和一个零点检测器进行测量的,此零点检测器是用来代替上述方法中的比值计和移相器的。

此时,测试步骤如下:

让 $V_1 = 0$, 取下晶体管。在测量参考面上,将短路器接入适配器的输入端子(点 1)与地之间。

然后,调节衰减器和移相器,直至零点检测器指零为止,记录下读数 A_0 (分贝)和 S_0 (度)。

将晶体管插入适配器,此时应注意使输入端子(点 1)与测量参数 s_{11} 的输入端口或与测量参数 s_{22} 的输出端口相吻合。

在相应的端子上加规定的偏置电压。

然后调节衰减器 A 和移相器 S 以获得零值条件并记录下 A_1 (分贝)和 S_1 (度)的值。

用公式(36)计算参数 s_{11} (或 s_{22})的值:

$$s_{11}(\text{或 } s_{22}) = \text{anti log}[(A_1 - A_0)/20] / 180^\circ + S_1 - S_0 \quad \dots\dots\dots (36)$$

f) 规定条件

规定条件如下:

- 1) 环境温度(T_a);
- 2) 偏置条件;
- 3) 频率(f);
- 4) 参考面;

5) 纯电阻性基准阻抗。

6.3.13.3.2 正向传输系数(s_{21})和反向传输系数(s_{12})

正向传输系数(s_{21})和反向传输系数(s_{12})的测试方法如下。

- a) 目的
在规定的频率下,测量晶体管的参数 s_{21} 和 s_{12} 。
- b) 电路框图
 s_{21} 和 s_{12} 测试电路框图见图 45。

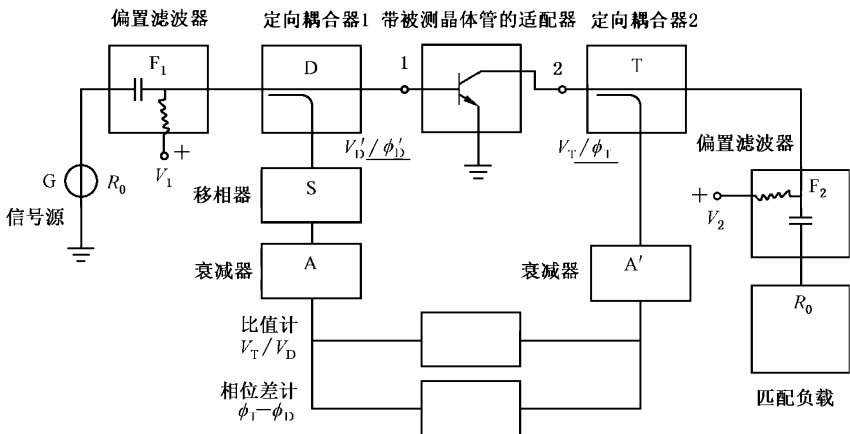


图 45 参数 s_{21} 和 s_{12} 测试电路框图

- c) 电路说明和要求
与图 45 所示电路有关的测试方法有两种：
1) 直读法:当比值计和相位差计为直读表时采用；
2) 零点法:当没有校准的比值计和相位差计时采用。
- d) 注意事项
应保持小信号条件,见 IEC 60747-1:2006 中 6.6.9 的规定。
设计晶体管的适配器时,在输入和输出传输线之间无耦合情况下,应使不同类型波导之间的连接或传输不出现明显的失配。
应给出适配器的示意图并标明参考面。
连接端子 1 和 2 的传输线(包括适配器内部的传输线)的特性阻抗应等于测量散射矩阵时所选用的纯电阻性基准阻抗。同 6.3.13.3.1 d)一样,负载电阻应具有相同的值。传输线上的衰减要小,且定向耦合器应有足够的方向性。
如果从端子 D 和 T 出来的信号与仪表的灵敏度相比太小,则可在端子 D 和 T 出来的两条传输线上插入两个特性一样的放大器进行放大。
如果比值计和相位差计(或零点检测器)不适合在测试频率下使用,则可在从端子 D 和 T 出来的两条传输线上插入两个特性相同并由同一个本机振荡器驱动的混频器,以进行频率变换。
当接入放大器和混频器时,应注意使它们工作在线性范围区内.因此,采用下面 e)1)给出的步骤或采用 e)2)中的零点法都是可行的。
要使偏置滤波器的失配减到最小。
如果有一个单独与管壳相连的端子,除另有规定外,该端子应接地。
- e) 测试步骤
测试步骤如下：

1) 直读法

让 $V_1 = V_2 = 0$, 将输入端子和输出端子连接起来, 使连接线的特性阻抗通过适配器保持不变; 调节比值计和移相器使比值计的读数为 1, 使相位差计的读数为 0° 。

然后将晶体管插入适配器, 此时应注意使输入端子(点 1)与测量参数 s_{21} 的输入端口或与测量参数 s_{12} 的输出端口相吻合。将规定的偏置电压加至相应的端子上。

用比值计和相位差计测出幅度比(V_T/V_D)和相位差($\Phi_T - \Phi_D$)(见下面的注)。

若衰减器具有恒定的相移, 而移相器具有恒定的衰减, 则上述步骤是有效的。用公式(37)计算参数 s_{21} (或 s_{12}) 的值:

$$s_{21}(\text{或 } s_{12}) = V_T/V_D \angle \Phi_T - \Phi_D \quad \dots\dots\dots (37)$$

注: 如果比值 V_T/V_D 小于比值计所能读出的最小读数, 可将衰减器 A 从初始值 A_0 调到 A_{01} , 使比值 V_T/V_D 落到比值计的读数范围内。

如果比值 V_T/V_D 高于比值计所能读出的最大读数, 可将衰减器 A' 从初始值 A'_0 调到 A'_{01} , 使比值 V_T/V_D 落到比值计的读数范围内。同样, 为了得到更精确的相位差的指示, 可将移相器 S 从初始位置 S_0 调到某一个新的位置 S_{01} 。

这时 s_{21} (或 s_{12}) 可用公式(38)计算:

$$s_{11}(\text{或 } s_{22}) = \frac{V_T/V_D}{\text{anti log}\{[(A_{01} - A_0) - (A'_{01} - A'_0)]/20\}} \angle \Phi_T - (\Phi_D + S_{01} - S_0) \quad \dots\dots\dots (38)$$

2) 零点法

该方法是使用两个校准的、具有恒定相移的衰减器 A 和 A' , 一个带刻度的、具有恒定衰减的移相器 S 和一个零点检测器进行测量的, 此零点检测器是用来代替上述方法中的比值计和相位差计的。

此时, 测试步骤如下:

让 $V_1 = V_2 = 0$, 在适配器 1、2 两个隔离端子之间插入短路线。

然后, 调节衰减器 A 和移相器 S, 直至零点检测器指零为止, 记录下读数 A_0 和 S_0 。

将衰减器 A' 置于其最小读数 A'_0 。

将晶体管插入适配器, 此时应注意使输入引出端(点 1)与测量参数 s_{21} 的输入端口或与测量参数 s_{12} 的输出端口相吻合。

在相应的端子上加规定的偏置电压。

然后调节衰减器 A, 必要时调节 A' 和移相器 S, 以获得零值条件, 记录下 A_1 、 A'_1 和 S_1 的值。

用公式(39)计算参数 s_{21} (或 s_{12}) 的值:

$$s_{21}(\text{或 } s_{12}) = \text{anti log}\{[(A_{01} - A_0) - (A'_{01} - A'_0)]/20\} \angle S_1 - S_0 \quad \dots\dots\dots (39)$$

f) 规定条件

规定条件如下:

- 1) 环境温度(T_a);
- 2) 偏置条件;
- 3) 频率(f);
- 4) 参考面;
- 5) 纯电阻性基准阻抗。

6.3.14 噪声系数(F)

噪声系数测试方法如下。

a) 电路原理图

噪声系数的定义是：当晶体管与一个信号源连接时，从晶体管输出的总有效噪声功率与仅由信号源产生的噪声功率之比。

用 6.3.14.1、6.3.14.2 和 6.3.14.3 中所述的噪声二极管或信号源，按图 46 所示的电路框图进行测试。

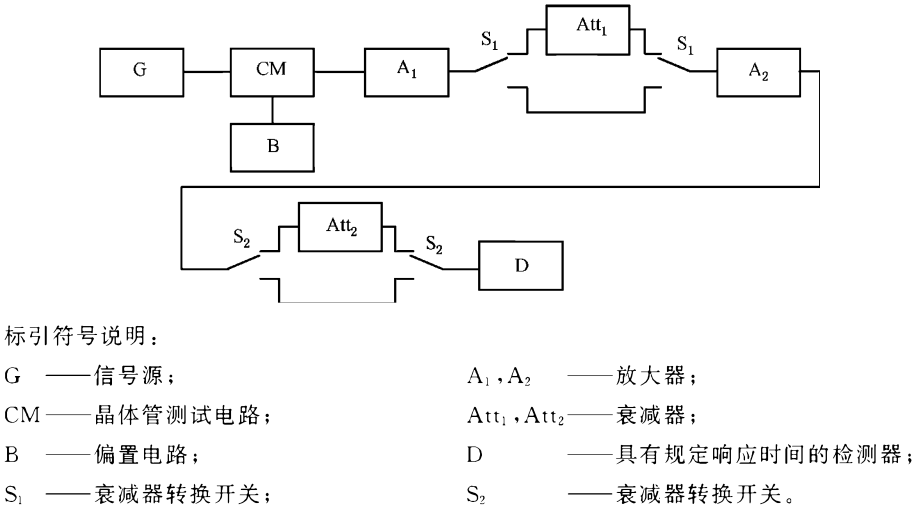


图 46 噪声系数的测试基本电路框图

应对晶体管的源阻抗、直流工作条件、电路组态、测试频率、放大器带宽和检测器时间常数做出规定。如果应调节输入网络才能给出最佳噪声性能时，对此也应规定。

只要有可能，宜使用噪声二极管法，但在频率低于 1 kHz 时，没有合适的噪声二极管可用，这时可用信号源法。

b) 电路说明和要求

电路说明和要求如下：

1) 测试设备的屏蔽

为了防止接收到不需要的信号，测试设备应有良好的屏蔽和接地。

2) 信号源

应采用合适的经过校准的信号源。为了把接触噪声和损伤噪声减至最小，用于被测晶体管的所有电阻，例如金属膜电阻，会形成有效噪声源的一部分，都应该是低噪声的。在高频和甚高频频段上测试时，要注意避免因在信号源中串联的电感而引起的误差，这一误差在较高频率下是特别严重的。

3) 偏置电源

应采用电池或低纹波的直流电源。所加的任何偏置都应对射频和音频去耦。

4) 前置放大器(1 号放大器)

如果需要，可将前置放大器接在被测晶体管和 1 号衰减器之间，如果这样做，前置放大器就应满足“2 号放大器”中给出的线性要求和其他有关要求。

为了减少第二级噪声的作用，前置放大器应包括晶体管输出端与前置放大器输入端之间的阻抗匹配网络。

5) 衰减器

通过控制系统增益的办法，用 1 号衰减器使后置放大器和噪声指示器的非线性影响减至最小。

当晶体管的增益低的时候,也可在比较高的频率下用 1 号衰减器来确定由 2 号放大器引起的噪声影响。如图 46 所示,把开关 S_1 接到衰减器的两端。

6) 后置放大器(2 号放大器)

该放大器的噪声应满足这样的条件:当关闭噪声信号源时,任何一个被测晶体管所给出的读数要比电路中没有晶体管时单由后置放大器本身给出的读数至少高出 15 dB。如果这个条件达不到,就宜考虑该放大器对总噪声系数的影响。用 1 号衰减器可以方便地做到这一点。

可采用外差式放大器,但一定要特别注意这种放大器可能遇到的镜频影响和其他的假信号响应。应使这些假信号的响应可以忽略不计,或者对它们做出规定并在测试时加以考虑。该放大器的输入阻抗要与已精确知道衰减量的 1 号衰减器相匹配。

考虑到噪声的波峰系数,从所使用的方均根电平到高出此电平至少 20 dB 的范围内,该放大器应基本是线性的。

把放大器的增益做成可变的,以增大其适用性。

理论分析和实践都表明,如果放大器的总带宽小于或等于中心频率的 15%,则测得的噪声系数将在 1 Hz 带宽噪声系数的百分之几内。

7) 检测器和输出电压表

检测器中的电压表应能准确地响应外加信号的方均根值,还应能处理至少 12 dB 的波峰系数。

总带宽和检测器时间常数的乘积要足够大,以减小电压表在读数时的摆动,这样,在测试时就能得到足够的分辨率。

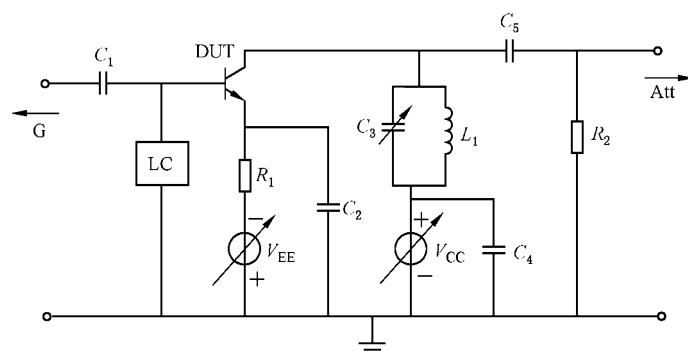
6.3.14.1 3 MHz 以下频率范围内的噪声系数(F)

3 MHz 以下频率范围内的噪声系数(F)测试方法如下。

a) 通则

测量噪声系数时,将晶体管连接在常用组态的放大电路中,如图 47 所示,也可采用类似的共基极组态或共集电极组态。

测试基本电路见图 47。



标引符号说明:

G —— 与噪声源连接的输入端;

LC —— 调谐电路或电阻;

Att —— 衰减器。

图 47 3 MHz 以下噪声系数测试基本电路图

在图 47 中,输入和输出电路是两个调谐电路,或分别是一只电阻和一个调谐电路。将晶体管

接入电路,在测定噪声系数的频率下,调谐输入和(或)输出电路以获得最大功率增益,在这样的调谐条件下,读取噪声系数。隔直电容 C_1 、 C_3 和旁路电容 C_2 、 C_4 在测试频率下应呈现出低阻抗。 V_{EE} 和 R_1 的值由规定的晶体管发射极电流来确定, V_{CC} 的值取决于规定的集电极-基极电压。输入电路的等效并联电阻应大于信号源的电阻。

b) 测试方法(见图 46)

将晶体管的偏置调到规定值。将噪声源的输出调到零并将 2 号衰减器用开关与电路断开,则在噪声指示器上得到参考电平。

然后把 2 号衰减器用开关接入电路,接着打开噪声源并加大其输出,直至噪声指示器恢复到参考电平。

然后用记录下来的噪声源的输出值计算噪声系数。例如,在 25 °C 下把热离子噪声二极管作为噪声源,则噪声系数为由公式(40)得出:

$$F = 10 \lg \frac{19.4 \times I_D R_g}{M - 1} \dots\dots\dots (40)$$

式中:

- I_D ——噪声二极管直流阳极电流,单位为安培(A);
- R_g ——源电阻,单位为欧姆(Ω);
- M ——衰减器读数的十分之一的反对数,单位为分贝(dB);
- 通常 $M=2$,相当于衰减 3 dB。
- 在这种情况下,二极管的噪声输出即等于被测晶体管的噪声功率。

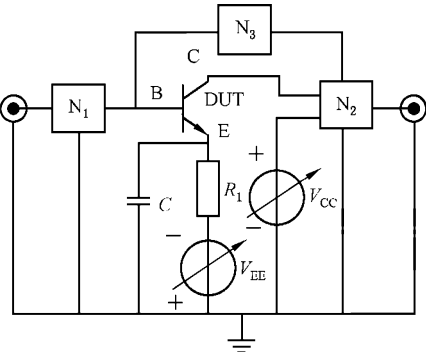
6.3.14.2 高频或甚高频段(3 MHz~300 MHz)内的噪声系数

高频或甚高频段(3 MHz~300 MHz)内的噪声系数测试方法如下。

a) 通则

把被测晶体管插入常用组态的放大电路中,见图 48。也可采用与此类似的共基极组态或共集电极组态。

测试基本电路见图 48。



标引符号说明:

- N_1 ——输入调谐网络;
- N_2 ——输出调谐网络;
- N_3 ——任选的中和网络。

图 48 在 3 MHz~300 MHz 范围内噪声系数测试基本电路图

V_{EE} 和 R_1 的值由规定的晶体管发射极电流来确定。 V_{CC} 的值取决于规定的集电极-基极电压。输入网络的带宽应足以保证不影响测试精度。换句话说,可按需要来选择输入网络的带宽,并

在计算噪声系数时考虑到输入网络的影响。输入网络应能给音频提供有效的旁路。要对输入和输出网络的调谐状态加以说明。

所使用的中和网络是可以任意选取的。必要的时候,应用它来保持放大器的稳定性。

b) 测试方法

将晶体管的偏置调到规定值。将噪声源的输出调到零并将 2 号衰减器用开关与电路断开,则在噪声指示器上得到参考电平。

c) 放大器噪声的影响

在较高的频率下(在该频率下被测晶体管的噪声输出比放大器的噪声小 15 dB 以上),依据总噪声系数 F_{12} ,可用 1 号衰减器来得到晶体管本身的噪声系数 F_1 的修正值。

为了做到这一点,2 号放大器的输入阻抗应与衰减器匹配。

根据众所周知的级联放大器噪声系数公式(41)对放大器的噪声系数进行修正:

$$F_{12} = F_1 + (F_2 - 1) \frac{1}{G_1} \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中:

F_1 ——晶体管本身真正的噪声系数;

F_2 ——2 号放大器的噪声系数;

G_1 ——晶体管的可用增益。

式中的增益值和噪声系数值均用数字表示。

只有当晶体管的输出阻抗与下一级放大器的输入阻抗匹配时,该方程式才成立。

然而,为了避免应测试 F_2 和 G_1 ,可对总噪声系数进行两次测试,这时,可不必用前置放大器。首先,用开关将 1 号衰减器与电路断开,测出总噪声系数 F_{12} 。然后用开关把 1 号衰减器接入电路并调节到任意的衰减量 L (例如:系数为 4),再一次测出总噪声系数 F'_{12} 。

在第二次测试中, F'_{12} 由公式(42)求出:

$$F'_{12} = F_1 + (LF_2 - 1) \frac{1}{G_1} \quad \dots\dots\dots (42)$$

式中: L 用数字表示。

解上述两个公式求出 F_1 , F_1 由公式(43)、公式(44)、公式(45)得出:

$$F_1 = \frac{LF_{12} - F'_{12}}{L - 1} + \frac{1}{G_1} \quad \dots\dots\dots (43)$$

当 $F_1 \gg \frac{1}{G_1}$ 时:

$$F_1 \approx \frac{LF_{12} - F'_{12}}{L - 1} \quad \dots\dots\dots (44)$$

如用分贝表示噪声系数,则 F_1 的公式变成:

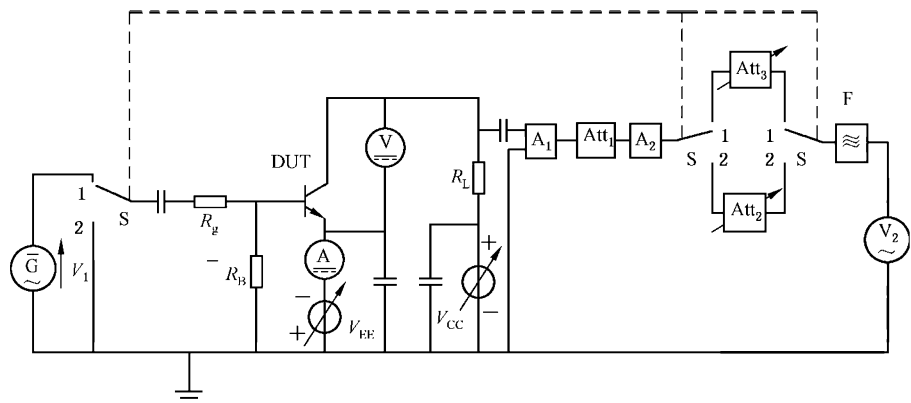
$$F = 10\lg(LF_{12} - F'_{12}) - 10\lg(L - 1) \quad \dots\dots\dots (45)$$

6.3.14.3 1 000 Hz 以下频率范围内的噪声系数(信号源法)

1 000 Hz 以下频率范围内的噪声系数(信号源法)测试方法如下。

a) 通则

图 49 给出了一种测试基本电路。



标引符号说明：

A_1 、 A_2 ——放大器；

F ——选择性滤波器；

Att_1 、 Att_2 、 Att_3 ——衰减器；

V_2 ——平方律电压表。

图 49 1 kHz 以下噪声系数测试基本电路图(信号源法)

该电路基本上与图 46 中的方框图相同,且其元件应符合 6.3.14 所述的要求,但增加一只具有固定衰减量的 3 号衰减器和一只选择性滤波器。

放大器的带宽要足够宽,以保证噪声带宽由选择性滤波器的带宽来决定,并且至少在 3 号衰减器所设定的信号范围内能够线性地工作。

选择性滤波器宜是一个高 Q 值带通滤波器,其中心频率为测试频率。如果噪声系数的测试是在窄带内进行的,则有效噪声带宽小于或等于中心频率的 15%。应精确地确定等效噪声带宽。应规定出滤波器的频率特性。宜将信号源的频率调到滤波器的中心频率。

应在检测器的整个频率范围内检查系统的假信号响应。

R_g 的值宜大于信号源的输出阻抗,而小于 R_B 的值。

b) 测试方法

按这个方法,不需要校准放大器,只要知道正弦波信号源 G 的输出电压 V_1 和该系统的有效噪声带宽即可。将开关 S 置于 1 的位置,调节 1 号衰减器,使在输出平方律电压表上给出一参考读数。将开关置于 2 的位置上,调节 2 号衰减器得到相同的读数。放大器的带宽要足够宽,以保证由滤波器来确定该系统的带宽 B 。

用公式(46)计算出噪声系数：

$$F = 10 \log \frac{V_1^2}{4kTBR_g} - X_3 + X_2 \dots\dots\dots (46)$$

式中：

V_1 ——信号源的输出电压,单位为伏特方均根(V)；

k ——波尔兹曼常数($k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)；

T —— R_g 的绝对温度,单位为开尔文(K)；

B ——有效噪声带宽,单位为赫兹(Hz)；

R_g ——信号源内阻,单位为欧姆(Ω)；

X_3 ——3 号衰减器的(固定)衰减量,单位为分贝(dB)；

X_2 ——2 号衰减器的衰减量,单位为分贝(dB)。

当按下述数值来选取 V_1 、 T 等的值时,则噪声系数 F (以分贝为单位)近似地等于 X_2 ：

$$V_1 = 28.5 \mu\text{V};$$

$$B = 100 \text{ Hz};$$

$$X_3 = 60 \text{ dB};$$

$$T = 298 \text{ K};$$

$$R_g = 500 \Omega.$$

6.3.15 配对双极型晶体管的测试方法

6.3.15.1 共发射极正向电流传输比静态值之比 (h_{21E1}/h_{21E2})

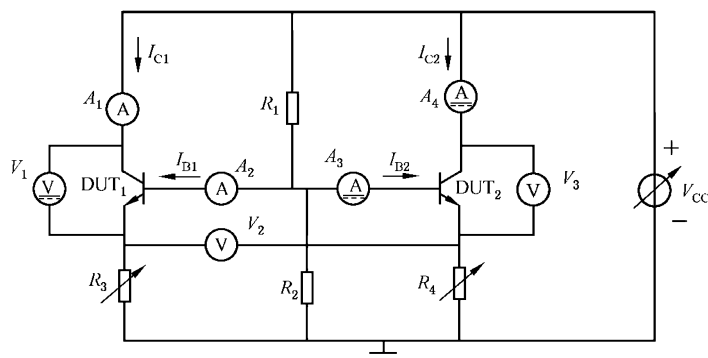
共发射极正向电流传输比静态值之比测试方法如下。

a) 目的

在规定条件下,测试配对双极型晶体管共发射极正向电流传输比静态值之比。

b) 电路图

测试基本电路见图 50。



标引符号说明:

V_3 ——电压表可以忽略。

注: R_3 和 R_4 可以由电流源代替。

图 50 h_{21E1}/h_{21E2} 测试基本电路图

c) 测试步骤

将温度调节到规定值。

调节 V_{CC} 、 R_3 和 R_4 , 使每个晶体管的 V_{CE} 和 I_C 达到规定值。

测试基极电流 I_{B1} 和 I_{B2} 。

共发射极正向电流传输比静态值之比 h_{21E1}/h_{21E2} 由公式(47)、公式(48)得出:

当 $I_{B2} < I_{B1}$ 时:

$$\frac{I_{B2}}{I_{B1}} \dots\dots\dots (47)$$

当 $I_{B2} > I_{B1}$ 时:

$$\frac{I_{B1}}{I_{B2}} \dots\dots\dots (48)$$

比值为较小值除以较大值。

d) 规定条件

规定条件如下:

- 1) 环境温度或管壳温度 (T_a 或 T_c);
- 2) 集电极电流 (I_C);

3) 集电极-发射极电压(V_{CE})。

6.3.15.2 基极-发射极电压之差($V_{BE1}-V_{BE2}$)

基极-发射极电压之差测试方法如下。

a) 目的

在规定条件下,测试配对晶体管基极-发射极电压的差值。

b) 电路图

测试电路见图 50。

c) 测试步骤

将温度调节到规定值。

调节 V_{CC} 、 R_3 和 R_4 ,使每个晶体管的 V_{CE} 和 I_C 达到规定值。

从电压表 V_2 读出基极-发射极电压的差值。

d) 规定条件

规定条件如下:

1) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c);

2) 集电极电流(I_C);

3) 集电极-发射极电压(V_{CE})。

6.3.15.3 基极-发射极电压之差在两个温度下的变化量的绝对值($|\Delta(V_{BE1}-V_{BE2})|$ 或 $|\Delta T|$)

基极-发射极电压之差在两个温度下的变化量的绝对值测试方法如下。

a) 目的

在规定条件下,测试配对晶体管在两个规定温度之间的基极-发射极电压之差的变化量。

b) 电路图

测试电路见图 50。

c) 测试步骤

将温度调节到规定值 T_1 ,优先选取 25 °C。

调节 V_{CC} 、 R_3 和 R_4 ,使每个晶体管的 V_{CE} 和 I_C 达到规定值。

从电压表 V_2 读出基极-发射极电压的差值。

然后将温度调到较高的规定值 T_2 。

需要时,将集电极电流再次调到初始值。

从电压表 V_2 读出基极-发射极电压的差值。

计算在温度 T_2 和 T_1 测量值之差的绝对值。

d) 规定条件

规定条件如下:

1) 环境温度或管壳温度(T_1),如不是 25 °C;

2) 环境温度或管壳温度(T_2);

3) 集电极电流(I_C);

4) 集电极-发射极电压(V_{CE})。

6.3.15.4 集电极电流之比

集电极电流之比测试方法如下。

a) 目的

在规定条件下,测试配对晶体管集电极电流之比。

b) 电路图

测试电路见图 51。

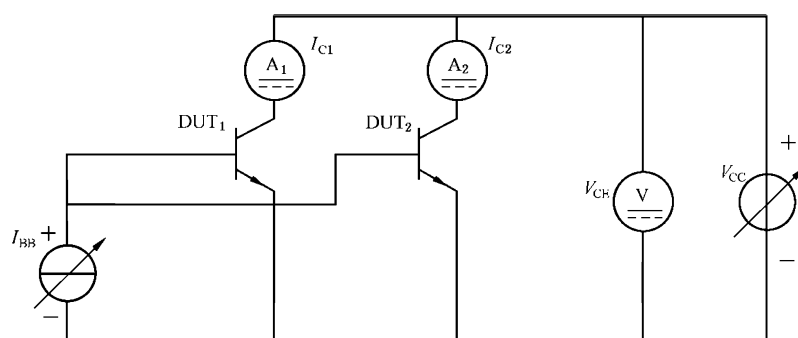


图 51 集电极电流之比测试电路图

c) 测量程序

首先,将 I_{BB} 调节到 0。

将电源电压 V_{CC} 调节到规定值。然后,增加 I_{BB} 到规定值。测量 I_{C1} 和 I_{C2} 。

d) 规定条件

规定条件如下:

- 1) 电源电压(V_{CC});
- 2) 电流源电流(I_{BB});
- 3) 环境温度或管壳温度(T_a 或 T_c)。

6.3.16 电阻偏置晶体管的测试方法

6.3.16.1 通态输入电压 $[V_{I(ON)}]$,断态输入电压 $[V_{I(OFF)}]$

6.3.16.1.1 目的

在规定条件下,测量输入-公共端的通态输入电压 $[V_{I(ON)}]$ 或断态输入电压 $[V_{I(OFF)}]$ 。

6.3.16.1.2 电路图

通态输入电压 $[V_{I(ON)}]$ 或断态输入电压测试电路见图 52。

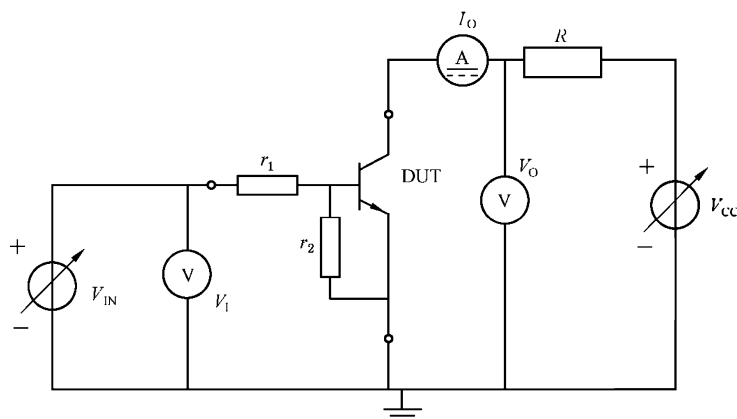


图 52 通态输入电压 $V_{I(on)}$ 和断态输入电压 $V_{I(off)}$ 测试电路图

6.3.16.1.3 测试步骤

在输出-公共端施加规定的电压。调节输入-公共端电压,使输出电流达到规定值时, V_1 测量的电压就是输入-公共端的通态输入电压或断态输入电压。

6.3.16.1.4 规定条件

规定条件如下:

- a) 参考点温度或等效结温(T_{ref} 或 T_{vj});
- b) 输出电流(I_O);
- c) 输出电压(V_O)。

注:在逻辑应用中,规定出维持通态时的最低电压和维持断态时的最高电压。

6.3.16.2 偏置电阻 1(r_1)

6.3.16.2.1 目的

测量连接在晶体管输入端和基极之间的内置电阻。

6.3.16.2.2 电路图

偏置电阻 1 的测试电路图见图 53。

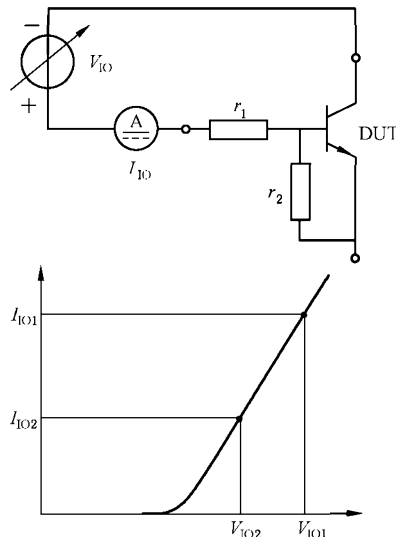


图 53 偏置电阻 r_1 测试电路图

6.3.16.2.3 测试步骤

施加规定的输入-输出电压 V_{IO1} ,测量输入电流 I_{IO1} 。施加规定的输入-输出电压 V_{IO2} ,测量输入电流 I_{IO2} 。

偏置电阻 1(r_1)由公式(49)给出;

$$r_1 = (V_{IO1} - V_{IO2}) / (I_{IO1} - I_{IO2}) \quad \cdots \cdots \cdots (49)$$

6.3.16.2.4 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度或结温(T_a 或 T_c 或 T_j);
- b) V_{IO} 电压。

注：在这种情况下，电阻 r_1 可在输入-输出端测量，也可以在输入-公共端测量。

6.3.16.3 偏置电阻 $2(r_2)$ ，偏置电阻比

6.3.16.3.1 目的

测量连接在晶体管基极和发射极之间的内置电阻。

6.3.16.3.2 电路图

偏置电阻 2 的测试电路图见图54。

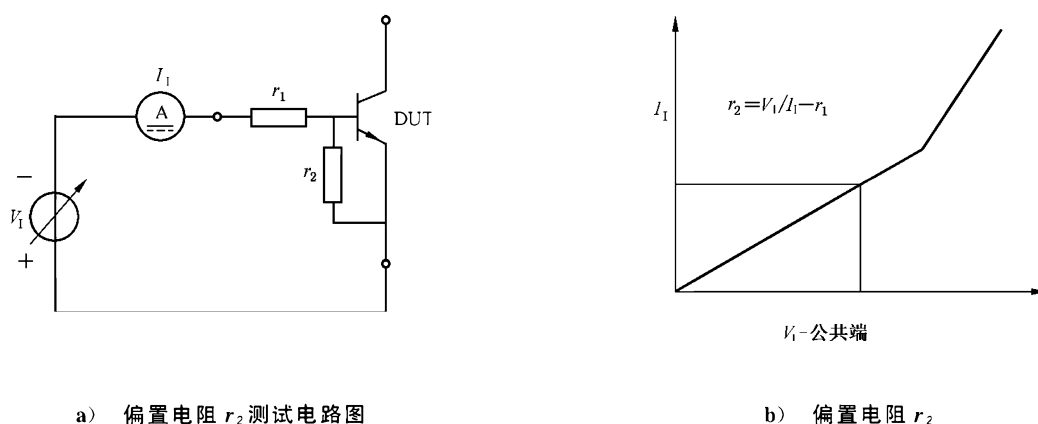


图54 偏置电阻 r_2 测试电路图和偏置电阻 r_2

6.3.16.3.3 测量程序

当输入电压达到规定值时，即为 I_1 测量的输入电流。

偏置电阻 $2(r_2)$ 由公式(50)给出：

$$r_2 = V_1/I_1 - r_1 \quad \dots\dots\dots (50)$$

偏置电阻比由公式(51)给出：

$$r_2/r_1 \text{ 或 } r_1/r_2 \quad \dots\dots\dots (51)$$

6.3.16.3.4 规定条件

规定条件如下：

- a) 环境温度或管壳温度或结温(T_a 或 T_c 或 T_j);
- b) V_1 电压。

6.3.16.4 通态输出电压 $[V_{O(on)}]$

6.3.16.4.1 目的

在规定条件下，测量输出-公共端通态输出电压 $[V_{O(ON)}]$ 。

6.3.16.4.2 电路图

电路图见图55。

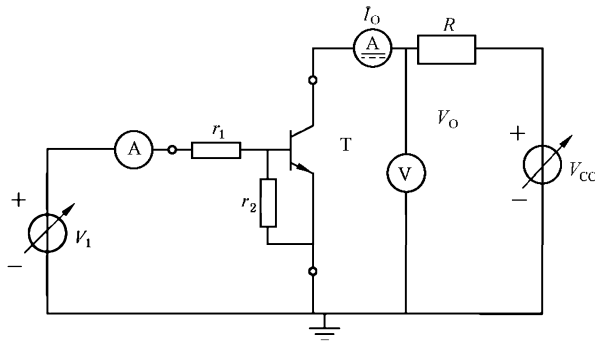


图 55 通态输出电压 $V_{O(on)}$ 测试电路图

6.3.16.4.3 测试步骤

在输入-公共端施加规定的电流。调节输出-公共端电压,当输出电流达到规定值时,对应的电压值为通态输出电压。

6.3.16.4.4 规定条件

规定条件如下:

- a) 环境温度或管壳温度或结温 (T_a 或 T_c 或 T_j);
- b) 输入电流 (I_I);
- c) 输出电流 (I_O)。

6.3.16.5 断态输出电流 [$I_{O(off)}$]

6.3.16.5.1 目的

在规定条件下,测量输出端-公共端的断态输出电流 [$I_{O(off)}$]。

6.3.16.5.2 电路图

断态输出电流测试电路见图 56。

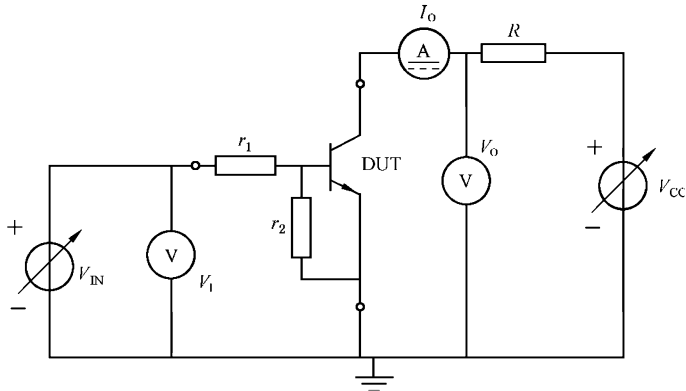


图 56 断态输出电流 $I_{O(off)}$ 测试电路图

6.3.16.5.3 测试步骤

在输入端-公共端施加规定的电压。调整输出端-公共端的电压到规定值。

6.3.16.5.4 规定条件

规定条件如下：

- a) 输入电压(V_i)；
- b) 输出电压(V_o)；
- c) 环境温度或管壳温度或结温(T_a 或 T_c 或 T_j)。

7 接收和可靠性

7.1 一般要求

IEC 60747-1:2006 第 7 章分立器件的接收和可靠性及其子条款适用于本文件。

7.2 特殊要求

7.2.1 耐久性试验一览表

耐久性试验选用的电路图见图 57、图 58 和图 59，适用于所有类型的双极型晶体管。

7.2.2 耐久性试验条件

图 57、图 58 和图 59 中列出了试验条件和试验电路。在相关规范中规定适用的试验项目。

7.2.3 可靠性试验中判定接收的特性和接收判据

判定接收的特性、接收判据和测试条件均在表 15 中列出。

注：由于某些失效机理引起的性能变化可能受其他测试的影响而被全部或部分掩盖起来，所以应按表 15 所列出的顺序进行性能测试。

表 15 双极型晶体管耐久性试验后判定接收的特性

器件类型	判定接收的特性	接收判据 ^a	测试条件
除功率开关晶体管和电阻偏置晶体管外的双极型晶体管	I_{CBO}	USL	为测试 I_{CBO} 而规定的最高 V_{CB}
	h_{21E} (h_{21e}) ^b	>LSL USL	为测试 h_{21E} (h_{21e}) 偏差(下限和上限)而规定的 I_C 的值
	V_{CEsat}	USL	为测试 V_{CEsat} 而规定的最大 I_C
	F ^c	USL	为测试 F 而规定的最小 I_C
功率开关晶体管	I_{CES}	USL	规定的 V_{CE}
	V_{CEsat}	USL	为测试 V_{CEsat} 而规定的 I_C 和 I_B
	R_{th}	USL	
电阻偏置晶体管	$I_{O(off)}$	<USL	规定的 V_O
	$V_{O(on)}$	<USL	规定的 I_O 和 I_i
	h_{FE}	>LSL	规定的 I_O 和 V_O
^a USL 为规范的上限值；LSL 为规范的下限值。 ^b 仅用于未规定 h_{21E} 的偏差或未规定 h_{21E} 的情况下。 ^c 适用时。			

7.3 耐久性和可靠性试验方法

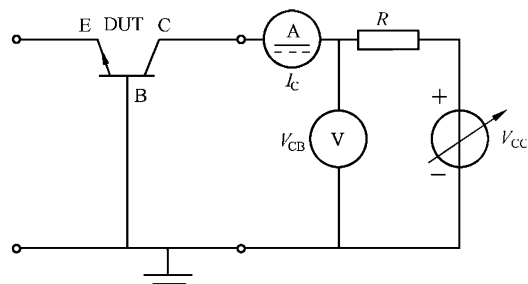
7.3.1 高温反偏(HTRB)

7.3.1.1 工作条件

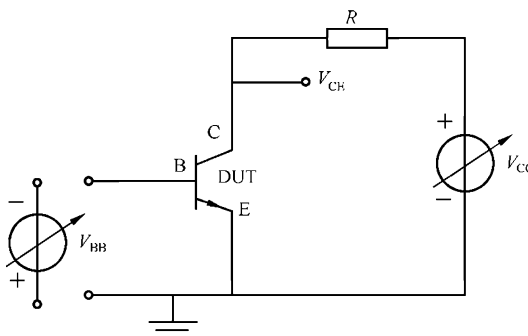
电压: 优先选择 V_{CESmax} 的 80 %
温度: 优先选择最高等效结温, $T_{vj(max)}$ 或 T_c 为规定的 $T_{sig(max)} - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.1.2 电路图

方法 1 电路图见图 57 a), 方法 2 电路图见图 57 b)。



a) 高温反偏试验电路图(方法 1)



b) 高温反偏试验电路图(方法 2)

图 57 高温反偏试验电路图

7.3.1.3 电路描述和要求

R 是一个限流电阻。方法 2 主要应用于大电流晶体管。 V_{BB} 是一个反向基极电压源。

7.3.2 间歇寿命试验

7.3.2.1 工作条件

集电极电流: 规定值;
集电极-发射极电压: 规定值;
温度: 按照规定的 ΔT_{vj} ;
管壳温度;
方法 1: T_c 为常数;

方法 2: T_C 随 T_{vj} 变化;
加电时间 t_p 和断电时间 $(t_c - t_p)$ 按规定。

注: 方法 1 中的机械应力集中在模块型受试器件的发射极引线键合部位。方法 2 中的机械应力主要集中在受试器件的焊接材料部位或管芯的压力接触部位。

7.3.2.2 电路图

间歇工作寿命试验电路见图 58, 期望的周期数与温升 ΔT_{vj} 的关系见图 59。

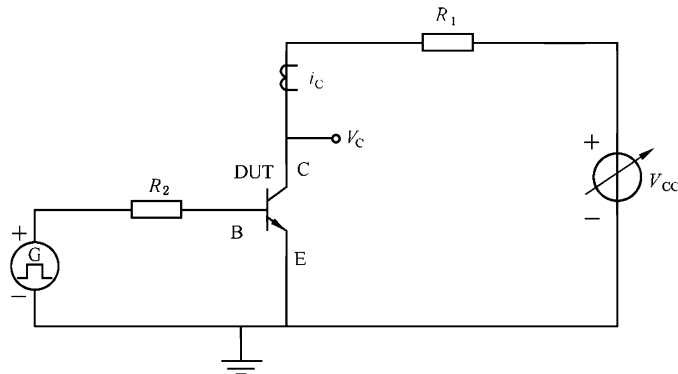


图 58 间歇工作寿命试验电路图

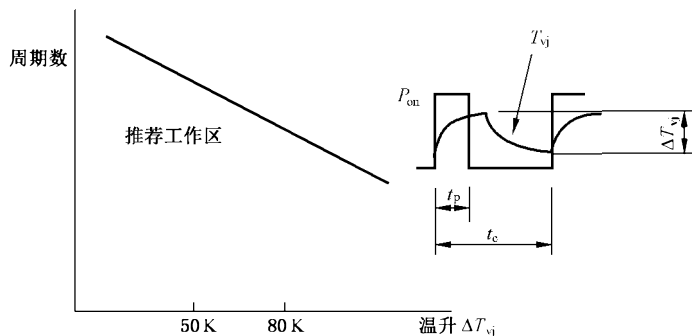


图 59 期望的周期数与温升 ΔT_{vj} 的关系

7.4 型式试验和例行试验

7.4.1 型式试验

型式试验是基于一定样本的新产品进行的, 目的是确认数据手册中给出的电、热额定值(极限值)和特性, 并为将来的例行试验提供可参考的试验极限。

可以从当前生产或交付的产品中抽取样品, 不定期重复进行部分或全部型式试验, 以确认产品质量持续符合规定要求。

表 16 列出了晶体管进行型式试验的最少试验项目。

部分型式试验是破坏性的。

7.4.2 例行试验

通常对当前生产或交付的产品 100% 进行例行试验, 目的是验证每个产品都符合数据手册中规定

的额定值(极限值)和特性。

例行试验可由选择的分组检验组成。

除非供方和采购方另有约定,表 16 列出了晶体管要进行例行试验的最少试验项目。

a) 测量和试验方法

测量和试验方法见表 16,可参考子条款。

表 16 晶体管型式试验和例行试验最少试验项目

条款	项目	型式试验	例行试验
额定值的验			
6.2.2	集电极电流 I_C	✓	—
6.2.4	基极电流 I_B	✓	—
6.2.7	集电极-发射极电压(V_{CES} 、 V_{CER} 、 V_{CEX})	✓	✓
6.2.8	发射极-基极电压 V_{EB}	✓	✓
6.2.9.1	反向偏置安全工作区(RBSOA)	✓	—
6.2.9.2	短路安全工作区	✓	—
特性的测试			
6.3.3	集电极-发射极截止电流(I_{CES} 、 I_{CER} 、 I_{CEX})	✓	✓
6.3.6	集电极-发射极饱和电压(V_{CEsat})	✓	✓
6.3.7	基极-发射极饱和电压(V_{BEsat})	✓	✓
6.2.11	集电极-发射极维持电压[$V_{CE(sus)}$]	✓	—
6.3.10.6	正向电流传输比的静态值 h_{FE}	✓	✓
6.3.12	开通时间(t_{on}),延迟时间(t_d),上升时间(t_r)	✓	—
6.3.12	关断时间(t_{off}),载流子贮存时间(t_s),下降时间(t_f)	✓	—
6.3.1	开通损耗(每个脉冲)(E_{on})	✓	—
6.3.2	关断损耗(每个脉冲)(E_{off})	✓	—
6.3.13	结到外壳的热阻 [$R_{th(j-c)}$] 和瞬态热阻抗结到外壳 [$Z_{th(j-c)}$]	✓	—
耐久性和可靠性试验			
7.3.1	高温反偏	✓	—
7.3.2	间歇工作寿命	✓	—
注:“✓”表示需进行此项试验,“—”表示无需进行此次试验。			

附 录 A
(资料性)
安全工作区的确定

即使器件工作在额定值范围以内,有时也能因二次击穿(S/B)而失控。因此,规定安全工作区(SOA)对功率晶体管尤为重要。

利用热阻的测量,可以很容易地确定安全工作区(从短脉冲工作到直流工作)。其步骤如下:当 I_H 和 t_p 给定时, ΔV_{EB} 随集电极-基极电压 V_{CB} 的增加而增加,当 V_{CB} 增加到某一值时, ΔV_{EB} 增加特别迅速,这表示开始发生二次击穿,进一步增加可能使晶体管进入二次击穿并将晶体管毁坏。这些现象如图 A.1 所示。

通常,SOA 规定在 ΔV_{EB} 上升点以下。固定 V_{CB} 而改变加热电流 I_H 的值也可得到相同的结果。

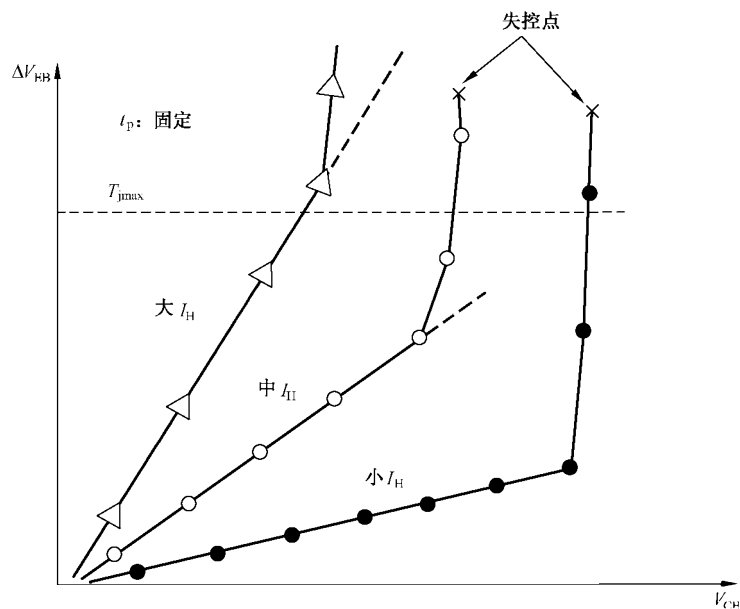


图 A.1 典型的 ΔV_{EB} 与集电极-基极电压 (V_{CB}) 关系曲线

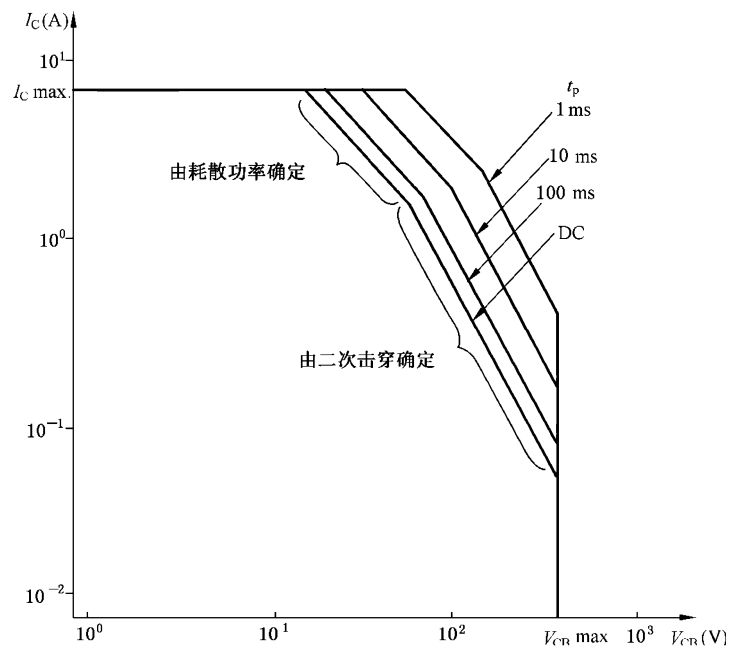


图 A.2 典型的安全工作区

图 A.2 给出了 I_C 和 V_{CE} 在规定的最大值范围内不同 t_p 时的典型安全工作区 (SOA)。

当 V_{CE} 比较小时,由二次击穿确定的 SOA 往往要超过最大耗散功率 (P_{tot})。所以,当 V_{CE} 小的时候,SOA 由最大耗散功率额定值来确定。

附 录 B
(资料性)
结构编号对照一览表

表 B.1 给出了本文件与 IEC 60747-7:2019 结构编号对照一览表。

表 B.1 本文件与 IEC 60747-7:2019 结构编号对照情况

本文件结构编号	IEC 60747-7:2019 结构编号
6.2.2.1~6.2.2.5	6.2.2 的字母列项
6.2.3.1~6.2.3.5	6.2.3 的字母列项
6.2.4.1~6.2.4.5	6.2.4 的字母列项
6.2.5.1~6.2.5.5	6.2.5 的字母列项
6.2.6.1~6.2.6.5	6.2.6 的字母列项
6.2.7.1~6.2.7.5	6.2.7 的字母列项
6.2.8.1~6.2.8.5	6.2.8 的字母列项
6.2.9.1.1~6.2.9.1.5	6.2.9.1 的字母列项
6.2.9.2.1~6.2.9.2.5	6.2.9.2 的字母列项
6.2.10.1~6.2.10.4	6.2.10 的字母列项
6.2.11.1~6.2.11.7	6.2.11 的字母列项
6.3.1.1~6.3.1.5	6.3.1 的字母列项
6.3.2.1~6.3.2.5	6.3.2 的字母列项
6.3.3.1~6.3.3.5	6.3.3 的字母列项
6.3.6.1.1~6.3.6.1.5	6.3.6.1 的字母列项
6.3.6.2.1~6.3.6.2.6	6.3.6.2 的字母列项
6.3.7.1.1~6.3.7.1.5	6.3.7.1 的字母列项
6.3.7.2.1~6.3.7.2.5	6.3.7.2 的字母列项
6.3.8.1~6.3.8.4	6.3.8 的字母列项
6.3.9.2.1~6.3.9.2.4	6.3.9.2 的字母列项
6.3.10.2.1~6.3.10.2.5	6.3.10.2 的字母列项
6.3.10.3.1~6.3.10.3.5	6.3.10.3 的字母列项
6.3.10.4.1~6.3.10.4.5	6.3.10.4 的字母列项
6.3.10.5.1~6.3.10.5.5	6.3.10.5 的字母列项
6.3.10.6.1~6.3.10.6.5	6.3.10.6 的字母列项
6.3.12.1~6.3.12.6	6.3.12 的字母列项
6.3.13.1.1~6.3.13.1.6	6.3.13.1 的字母列项
6.3.16.1.1~6.3.16.1.4	6.3.16.1 的字母列项
6.3.16.2.1~6.3.16.2.4	6.3.16.2 的字母列项

表 B.1 本文件与 IEC 60747-7:2019 结构编号对照情况（续）

本文件结构编号	IEC 60747-7:2019 结构编号
6.3.16.3.1~6.3.16.3.4	6.3.16.3 的字母列项
6.3.16.4.1~6.3.16.4.4	6.3.16.4 的字母列项
6.3.16.5.1~6.3.16.5.4	6.3.16.5 的字母列项
