

电力半导体模块测试方法
双极型晶体管单相桥和三相桥

JB/T 6307.5-94

1 主题内容与适用范围

本标准规定了双极型电力晶体管单相桥和三相桥模块(带续流二极管)的电特性、热特性和额定值的测试方法及热循环负载试验方法。

本标准适用于电流为 5 A 及 5 A 以上外壳额定的 NPN 型电力晶体管管芯组成的单相桥和三相桥模块。双极型电力晶体管组成的单相桥和三相桥组件也可参照使用。

只要改变电源和电表的极性,本标准也适用于 PNP 型电力晶体管管芯组成的单相桥和三相桥模块。

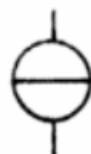
2 电路符号说明与测试一般要求

2.1 电路符号说明

本标准中采用的图形符号和文字符号遵循 GB 4728《电气图用图形符号》和 GB 7159《电气技术中的文字符号制订通则》。



G——直流电压源;



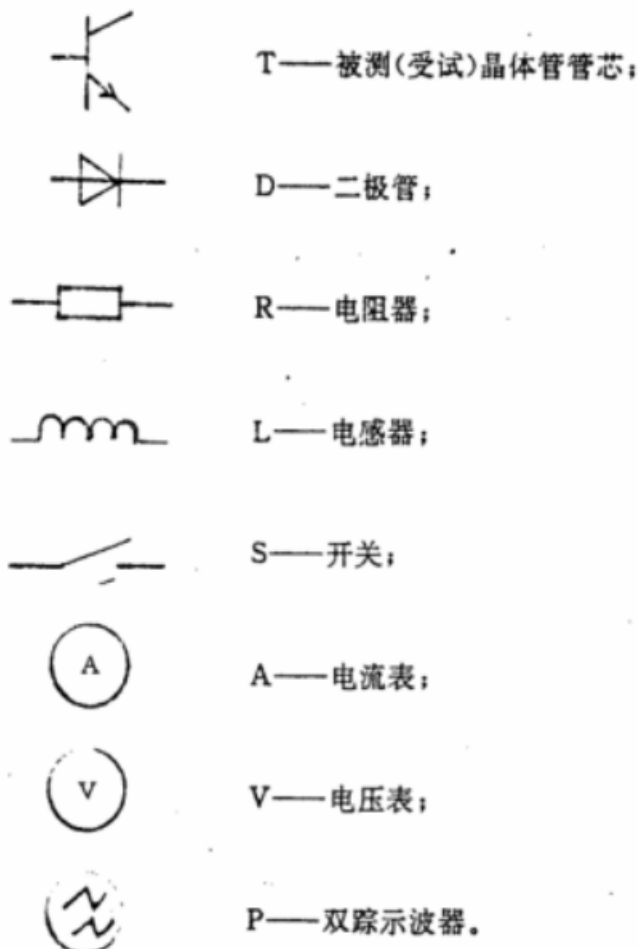
G——直流电流源;



G——单极性脉冲电流源;



G——双极性脉冲电流源;



2.2 测试一般要求

2.2.1 试验电源

2.2.1.1 测试电路中的所有电源均应有钳位措施,以保护被测模块在通断、调整和测量时,不致由于浪涌等瞬态现象损坏。

2.2.1.2 电源波动应不影响测量准确度。交流电源频率为 50 ± 1 Hz,波形为正弦波,波形失真系数不大于 10%。直流电源纹波因数对于反向特性测量应不大于 1%,对于正向特性测量应不大于 10%。

2.2.2 测量仪表和电路条件

2.2.2.1 仪表应有保护措施,以防止由于被测模块的故障或接线错误引起的过负荷。为防止不需要的半周脉冲进入示波器的放大器,可在电路中接入二极管保护。

2.2.2.2 直流和交流电压表、电流表以及测量用分流器的准确度一般应为 0.5 级或更高,且其阻抗对测量系统的影响可以忽略。在下列情况可用低于 0.5 级准确度的仪表:

- 对测量结果没有重要影响;
- 对判定产品合格与否没有重要影响;
- 按国家标准没有 0.5 级标准仪表。

2.2.2.3 测量大电流模块时,电压测量结点应与电流传导结点分开。若测量电流时电路上的电压降引起的误差可观或测量电压时电路上的电流引起的误差可观,则必须对测量结果进行修正。测量小电流时,应采取适当措施,确保杂散电容、电感不影响测量准确度,并使寄生电路电流和外部漏电流远小于被测电流,或对测量结果进行修正。

2.2.3 环境条件:

- 基准大气条件:环境温度 25°C ,相对湿度 65%,大气压强 101.3 kPa ;

b. 仲裁测试大气条件: 环境温度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 $63\% \sim 67\%$, 大气压强 $86 \sim 106 \text{ kPa}$;

c. 常规测试大气条件: 环境温度 $15 \sim 35^\circ\text{C}$, 相对湿度 $45\% \sim 85\%$ 大气压强 $86 \sim 106 \text{ kPa}$ 。

当相对湿度和大气压强对被测参数没有可观影响时, 大气条件可仅以环境温度为准。

2.2.4 对所有电特性测试均应规定温度条件。

除非另有规定或在脉冲条件下完成测量, 所有电特性测试均应在热平衡条件下进行。

被测模块在高、低温箱中或控温夹具上进行高温测试或低温测试时, 温度变化范围为 $1 \sim -1^\circ\text{C}$ 。当温度对被测参数没有明显影响时, 温度变化范围可为 $2 \sim -2^\circ\text{C}$, 否则应对测量结果进行修正。除非另有规定, 高温测试在 $T_{\text{max}} \pm 1^\circ\text{C}$ 下进行 (T_{max} 为额定最高结温), 低温测试在 $T_{\text{min}} \pm 1^\circ\text{C}$ 下进行 (T_{min} 为额定最低结温)。

3 电特性测试

3.1 集电极—发射极截止电流 (I_{CEO} , I_{CER} , I_{CEX}) (直流法)

3.1.1 目的

在规定条件下, 测量模块中晶体管管芯 (以下简称管芯) 的集电极—发射极截止电流。

3.1.2 电路图

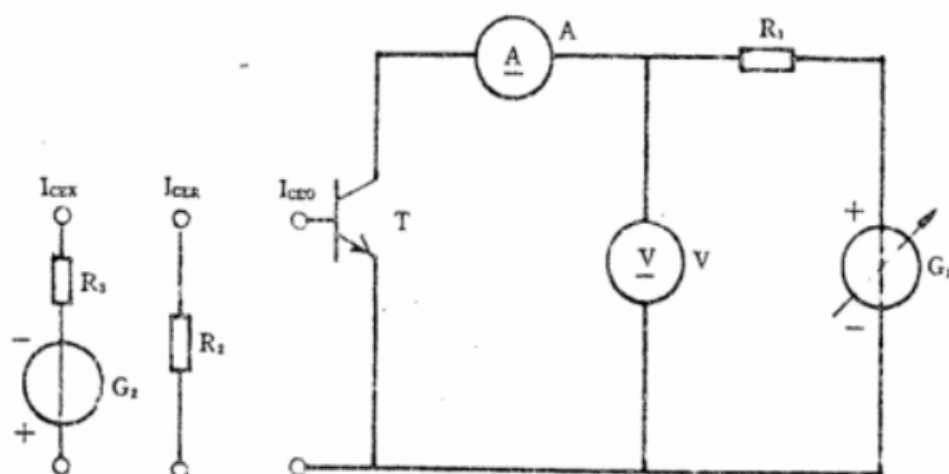


图 1

3.1.3 电路说明与要求

R_1 ——限流电阻器。其值应足够大, 以避免过大的电流流过被测管芯和电流表;

R_2 ——基极偏置电阻器。用于测量 I_{CER} 。

电源 G_2 与电阻器 R_2 构成的串联电路用于测量 I_{CEX} 。

3.1.4 规定条件:

a. 外壳温度 (T_c): 25°C 和最高外壳温度 T_{max} ;

b. 集电极—发射极电压: $V_{\text{(BR)CEO}}$;

c. 基极—发射极间电路参数:

对于 I_{CEO} $I_B = 0$;

对于 I_{CER} 电阻器 R_2 的值;

对于 I_{CEX} G_2 的电压 V_{BE} 和电阻器 R_2 的值, 或电压 V_{BE} 的值。

3.1.5 测量程序

按规定连接被测管芯基极—发射极间电路。

使外壳温度达到规定值。

增加电源 G_2 的电压, 直至电压表 V 的读数达到规定值。

在电流表 A 上读出截止电流值。

测量模块中每只管芯的截止电流，取最大值作为模块的集电极—发射极截止电流。

3.2 集电极—基极截止电流(I_{CBO}) (直流法)

3.2.1 目的

在规定条件下，测量模块中管芯的集电极—基极截止电流。

3.2.2 电路图

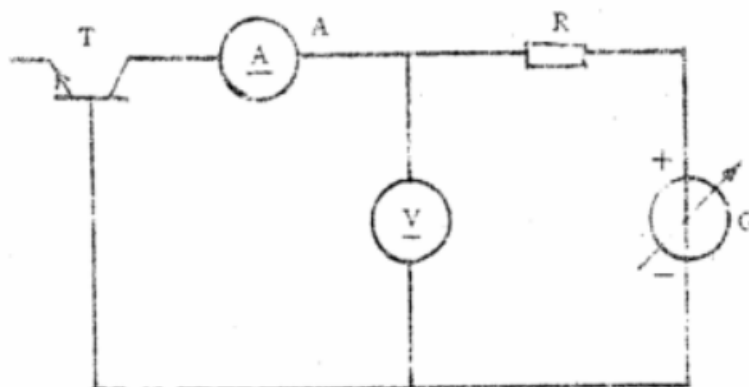


图 2

3.2.3 电路说明与要求

R——限流电阻器，其值应足够大，以避免过大的电流流过被测管芯和电流表。

3.2.4 规定条件：

- 外壳温度(T_c)：25℃和最高外壳温度 T_{jm} ；
- 集电极—基极电压： $V_{(BR)CBO}$ ；
- 发射极开路($I_E=0$)。

3.2.5 测量程序

使外壳温度达到规定值。

增加电源 G 的电压，直至电压表 V 的读数达到规定值。

在电流表 A 上读出截止电流值。

测量模块中每只管芯的截止电流，取最大值作为模块的集电极—基极截止电流。

3.3 发射极—基极截止电流(I_{EBO}) (直流法)

3.3.1 目的

在规定条件下，测量模块中管芯的发射极—基极截止电流。

3.3.2 电路图

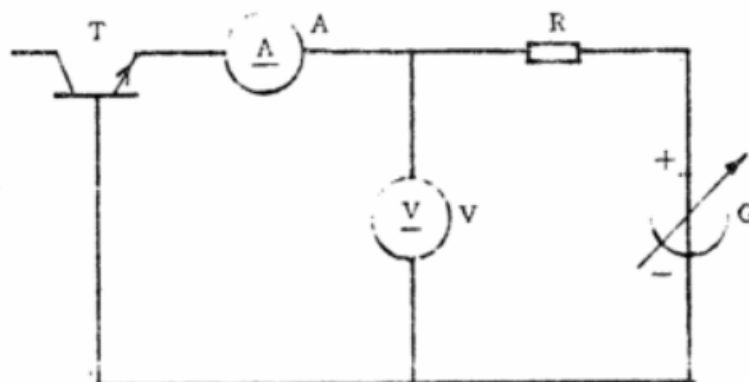


图 3

3.3.3 电路说明与要求

R——限流电阻器。其值应足够大，以避免过大的电流流过被测管芯和电流表。

3.3.4 规定条件：

a. 外壳温度(T_c)：25℃和最高外壳温度 T_m ；

b. 发射极—基极电压： $V_{(BR)EBO}$ ；

c. 集电极开路($I_c=0$)。

3.3.5 测量程序

使外壳温度达到规定值。

增加电源 G 的电压，直至电压表 V 的读数达到规定值。

在电流表 A 上读出截止电流值。

测量模块中每只管芯的截止电流，取最大值作为模块的发射极—基极截止电流。

3.4 集电极—发射极饱和电压(V_{CEsat}) (直流法和脉冲法)

3.4.1 直流法

3.4.1.1 目的

在规定条件下，测量模块中管芯的集电极—发射极饱和电压。

3.4.1.2 电路图

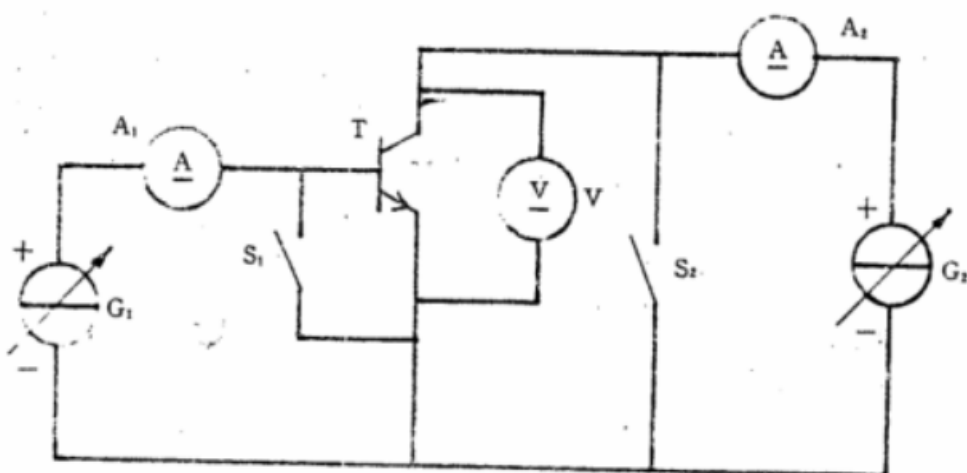


图 4

3.4.1.3 电路说明与要求

恒流源 G_1 的内阻应远大于被测管芯的输入阻抗。

恒流源 G_2 的内阻应远大于 V_{CEsat}/I_c 的值。

必要时，可以在 G_2 的两端接入电压限制电路。

测量饱和电压的测量点位置应在接线端子上尽量靠近模块外壳处。

3.4.1.4 规定条件：

a. 外壳温度(T_c)：25℃，或另一规定温度；

b. 基极电流(I_b)：按产品标准规定；

c. 集电极电流(I_c)：按产品标准规定。

3.4.1.5 测量程序

使外壳温度达到并保持在规定值。

闭合 S_1 ，调节恒流源 G_1 ，使电流表 A_1 的读数达到基极电流规定值。

闭合 S_2 ，调节恒流源 G_2 ，使电流表 A_2 的读数达到集电极电流规定值。

断开 S_1 和 S_2 ，在电压表 V 上读出集电极—发射极饱和电压值。

测量模块中每只管芯的集电极—发射极饱和电压，取最大值作为模块的集电极—发射极饱和电压。

3.4.2 脉冲法

3.4.2.1 目的

在脉冲条件下，测量模块中管芯的集电极—发射极饱和电压。

3.4.2.2 电路图

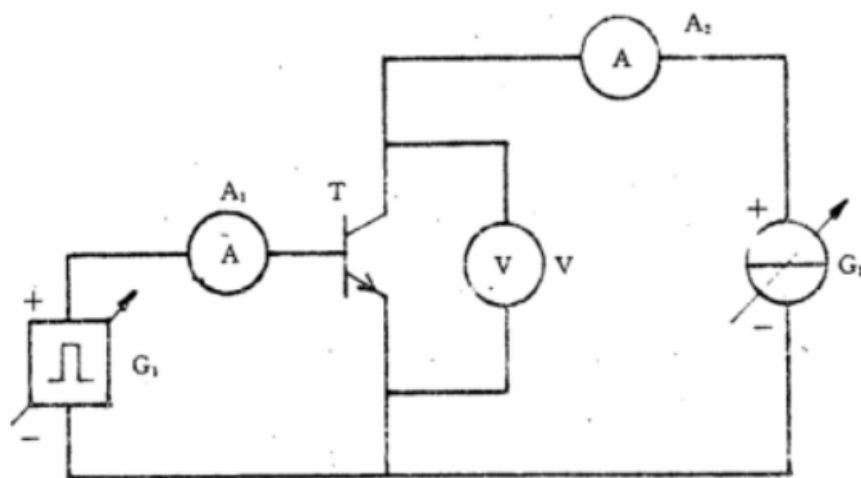


图 5

3.4.2.3 电路说明与要求

G_1 ——脉冲恒流源。其脉冲宽度及占空比应足够小，以使在被测管芯中不产生显著的热耗散；

G_2 ——直流恒流源。其对负载变化的响应时间应小于被测管芯的导通时间，且其最高电压不得超过被测管芯的集电极—发射极击穿电压；

A_1 、 A_2 ——峰值电流表；

V ——指示被测管芯导通期间电压的仪表。

被测管芯导通期间波形平坦部分的稳定电压值就是 V_{CEsat} (如图 6 所示)。应当对电压指示仪表 V 进行调整或校核，使之能够指示此电压值。

测量饱和电压的测量点位置应在接线端子上尽量靠近模块外壳处。

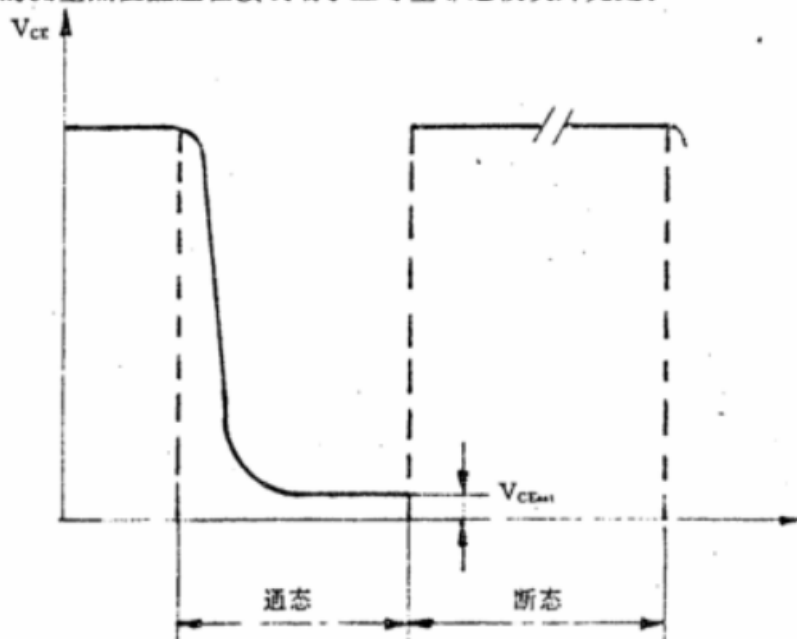


图 6

3.4.2.4 规定条件：

- a. 外壳温度(T_c): 25℃, 或另一规定温度;
- b. 基极峰值电流(I_{BM}): 按产品标准规定;
- c. 集电极峰值电流(I_{CM}): 按产品标准规定;
- d. 脉冲宽度和占空比(t_p 、 δ): $t_p \leq 300\mu s$, $\delta \leq 2\%$ 。

3.4.2.5 测量程序:

使外壳温度达到规定值。

调节恒流源 G_1 , 使峰值电流表 A_1 的读数达到基极电流规定值。

调节恒流源 G_2 , 使峰值电流表 A_2 的读数达到集电极电流规定值。

在电压指示仪表 V 上读出集电极—发射极饱和电压值。

测量模块中每只管芯的集电极—发射极饱和电压, 取最大值作为模块的集电极—发射极饱和电压。

3.5 基极—发射极饱和电压($V_{BE sat}$)(直流法和脉冲法)

3.5.1 直流法

3.5.1.1 目的

在规定条件下, 测量模块中管芯的基极—发射极饱和电压。

3.5.1.2 电路图

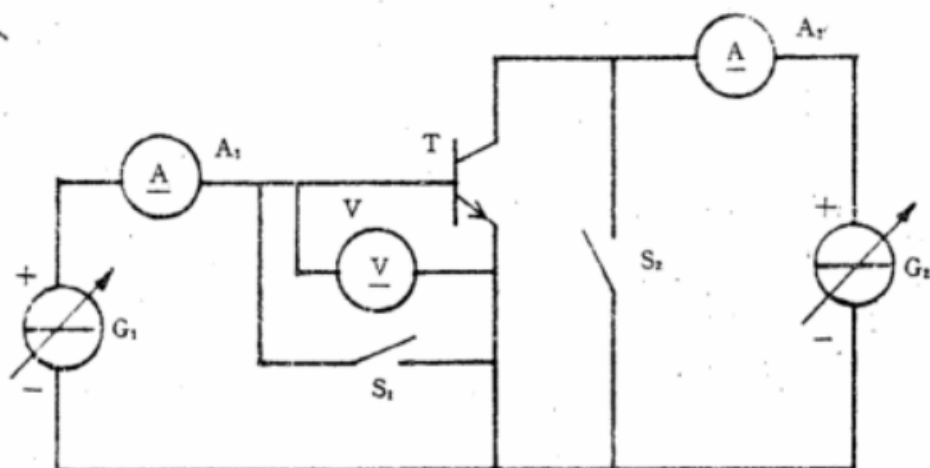


图 7

3.5.1.3 电路说明与要求

恒流源 G_1 的内阻应远大于被测管芯的输入阻抗。

恒流源 G_2 的内阻应远大于 $V_{CE sat}/I_c$ 的值。

必要时, 可以在 G_2 的两端接入电压限制电路。

测量饱和电压的测量点位置应在接线端子上尽量靠近模块外壳处。

3.5.1.4 规定条件:

- a. 外壳温度(T_c): 25℃, 或另一规定温度;
- b. 基极电流(I_b): 按产品标准规定;
- c. 集电极电流(I_c): 按产品标准规定。

3.5.1.5 测量程序

使外壳温度达到并保持在规定值。

闭合 S_1 , 调节恒流源 G_1 , 使电流表 A_1 的读数达到基极电流规定值。

闭合 S_2 , 调节恒流源 G_2 , 使电流表 A_2 的读数达到集电极电流规定值。

断开 S_1 和 S_2 , 在电压表 V 上读出基极—发射极饱和电压值。

测量模块中每只管芯的基极—发射极饱和电压, 取最大值作为模块的基极—发射极饱和电压。

3.5.3 脉冲法

3.5.3.1 目的

在脉冲条件下, 测量模块中管芯的基极-发射极饱和电压。

3.5.3.2 电路图

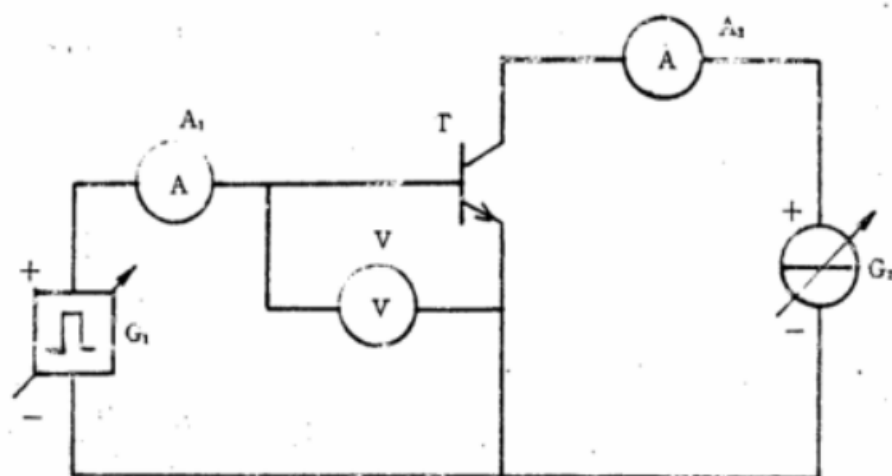


图 8

3.5.2.3 电路说明与要求

G_1 ——脉冲恒流源, 其脉冲宽度及占空比应足够小, 以使在被测管芯中不产生显著的热耗散;

G_2 ——直流恒流源, 其对负载变化的响应时间应小于被测管芯的导通时间, 且其最高电压不得超过被测管芯的集电极-发射极击穿电压;

A_1 、 A_2 ——峰值电流表;

V ——指示被测管芯导通期间电压的仪表, 应当对其进行调整或校核, 使之能够指示被测管芯导通期间波形平坦部分的稳定电压值, 即 $V_{BE sat}$ 。

测量饱和电压的测量点位置应在接线端子上尽量靠近模块外壳处。

3.5.2.4 规定条件:

- 外壳温度(T_c): 25℃, 或另一规定温度;
- 基极峰值电流(I_{BM}): 按产品标准规定;
- 集电极峰值电流(I_{CM}): 按产品标准规定;
- 脉冲宽度和占空比(t_p 、 δ): $t_p \leq 300 \mu s$, $\delta \leq 2\%$ 。

3.5.2.5 测量程序

使外壳温度达到规定值。

调节恒流源 G_1 , 使峰值电流表 A_1 的读数达到基极电流规定值。

调节恒流源 G_2 , 使峰值电流表 A_2 的读数达到集电极电流规定值。

在电压指示仪表 V 上读出基极-发射极饱和电压值。

测量模块中每只管芯的基极-发射极饱和电压, 取最大值作为模块的基极-发射极饱和电压。

3.6 共发射极正向电流传输比的静态值(h_{FE})(直流法和脉冲法)

3.6.1 目的

在规定条件下, 测量模块中管芯的共发射极正向电流传输比的静态值。

3.6.2 电路图

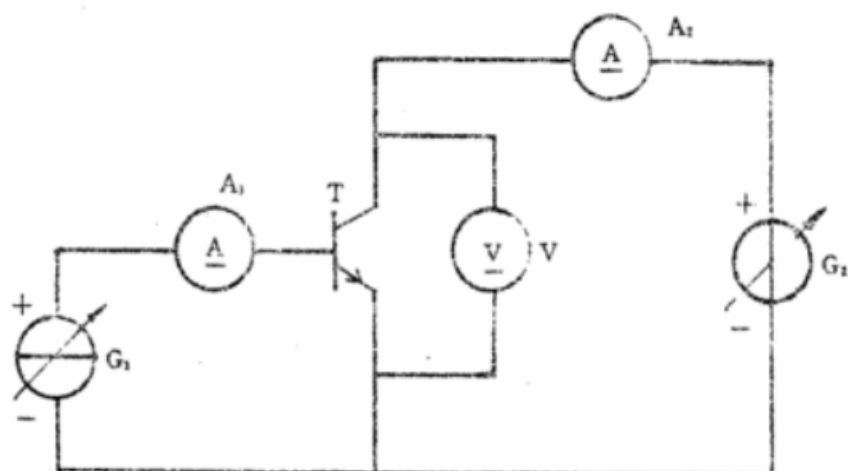


图 9

3.6.3 电路说明及要求

采用脉冲法测试时,应以脉冲恒流源代替直流恒流源 G_1 ,以便提供具有规定脉冲宽度和占空比的基极脉冲电流。这时,电流表 A_1 、 A_2 应为峰值电流表,电压表 V 应能够指示被测管芯导通期间波形平坦部分的稳定电压值。而且,应注意不使瞬态过程影响测量准确度。

3.6.4 规定条件:

- 外壳温度(T_c): 25°C , 或另一规定温度;
- 集电极电流(I_c): 按产品标准规定;
- 集电极—发射极电压(V_{CE}): 按产品标准规定;
- 如果采用脉冲法:
集电极峰值电流(I_{CM}): 按产品标准规定;
脉冲宽度和占空比(t_p 、 δ): $t_p \leq 300\mu\text{s}$, $\delta \leq 2\%$ 。

3.6.5 测量程序

使外壳温度达到并保持在规定值。

将所有电源设定为零,然后接入被测管芯。

调节电压源 G_2 ,使电压表 V 的读数达到规定值。

增加基极电流源 G_1 的输出电流,直至电流表 A_2 的读数达到规定值。

测试过程中,应注意检查并调节集电极—发射极电压 V_{CE} ,使之保持在规定值。

I_c 和 V_{CE} 都为规定值时,记录电流表 A_1 的读数 I_B 。

$$h_{FE} = I_c / I_B \quad \text{..... (1)}$$

式中: h_{FE} ——共发射极正向电流传输比的静态值;

I_c ——规定的集电极电流值, A_2 ;

I_B ——测得的基极电流值, A_1 。

测量模块中每只管芯的共发射极正向电流传输比静态值,取最小值作为模块的共发射极正向电流传输比静态值。

3.7 集电极—发射极维持电压($V_{CE0(SUS)}$ 、 $V_{CER(SUS)}$ 、 $V_{CEX(SUS)}$)

3.7.1 目的

在规定条件下,检验或测量模块中管芯的集电极—发射极维持电压。

3.7.2 电路图

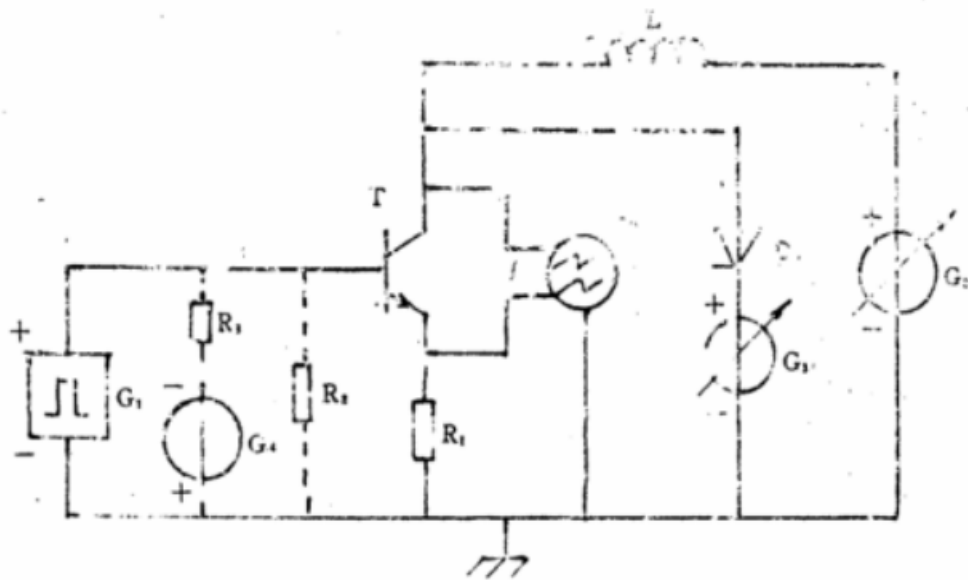


图 10

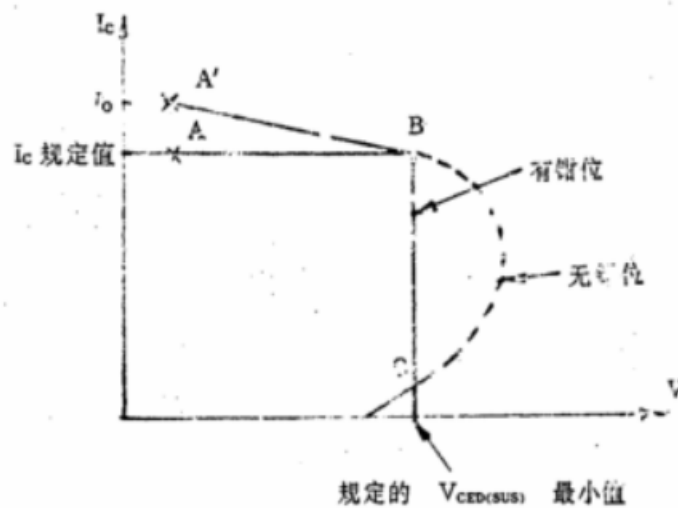


图 11

2.7.3 电路说明与要求

R_1 ——电流测量电阻器。其电感量应尽可能小；

R_2 ——基极偏置电阻器，用于检验或测量 $V_{CE(SUS)}$ ；

D——快恢复二极管。

电源 G_1 与电阻器 R_1 构成的串联电路用于检验或测量 $V_{CE(SUS)}$ 。

受试管芯在脉冲条件下工作在饱和状态。

由于电感器 L ，基极电流的通断使受试管芯在一电流—电压周期中扫描。

电源 G_2 是可调的，以使集电极电流达到规定值。

电源 G_2 与二极管 D 构成电压钳位单元，将受试管芯集电极—发射极间的电压限制在规定的最小维持电压。

电感器的电感量 L 的最小值可以从产品标准中查得，或由公式(2)计算：

$$L_{\min} = (V_{\text{clamp}} - V_{ce}) \frac{t_{\text{off}}}{0.1 I_c} \quad (2)$$

式中： L_{\min} ——电感量的最小值，mH；

V_{clamp} ——电源 G_2 的钳位电压，V；

V_{ce} ——电源 G_1 的电压，V；

t_{off} ——受试管芯的关断时间, μs ;

I_c ——规定的集电极电流值, mA 。

此 I_{min} 值保证集电极电流 I_c 在关断时间 t_{off} 期间的减少量不大于 10%。

3.7.4 规定条件:

- 外壳温度(T_c): 按产品标准规定;
- 集电极电流(I_c): 按产品标准规定;
- 最小维持电压(仅对检验方法): 按产品标准规定;
- 电感器的电感量(L): 按产品标准规定, 或由公式(2)计算;
- 基极—发射极间电路参数:

对于 $V_{CE(sus)}$ $I_B=0$;

对于 $V_{CE(sus)}$ 电阻器 R_2 的值;

对于 $V_{CE(sus)}$ G_1 的电压 V_{BB} 和电阻器 R_1 的值, 或电压 V_{BE} 的值;

f. 基极电流脉冲源频率: 当不是 50 Hz 时, 应予说明。

3.7.5 试验程序

按规定连接受试管芯基极—发射极间电路。

使外壳温度达到规定值。

将 G_1 的钳位电压设定为规定的维持电压值。

将电源 G_2 的电压调节为零, 基极电流 I_B 设定为当集电极电流 I_c 达到规定值时管芯处于饱和状态的值。

逐渐增加电源 G_2 的电压, 直至集电极电流 I_c 达到规定值。然后, 在受试管芯关断期间, 在示波器上可测出相应的维持电压值(图 11 中 B 点)。若此值不低于规定的维持电压值, 则受试管芯的维持电压得到验证。

注: 周期起始时的集电极电流值 I_0 (如图 11 中 A' 点)可能会略高于规定值。

检验模块中每只管芯的维持电压, 若均不低于规定的维持电压值, 则受试模块的维持电压得到验证。

预检时, 应当降低 G_1 的钳位电压来检验电压钳位单元的作用。然后, 将钳位电压增加到规定的维持电压值。

3.7.6 测量程序

按规定连接被测管芯基极—发射极间线路。

使外壳温度达到规定值。

将 G_1 的钳位电压设定为对应于集电极电流规定值的维持电压规定值。

将电源 G_2 的电压调节为零, 基极电流 I_B 设这为当集电极电流 I_c 达到规定值时管芯处于饱和状态的值。

逐渐增加电源 G_2 的电压, 直至集电极电流 I_c 达到规定值。然后, 在被测管芯关断时间, 在示波器上可测出相应的维持电压值(图 11 中 B 点)。

注: 周期起始时的集电极电流值 I_0 (如图 11 中 A' 点)可能会略高于规定值。

测量模块中每只管芯的维持电压值, 取最小值作为被测模块的维持电压值。

3.8 开关时间(t_d 、 t_r 、 t_{on} 、 t_s 、 t_f 、 t_{off})

3.8.1 目的

在规定条件下, 测量模块中管芯的延迟时间、上升时间、开通时间、贮存时间、下降时间和关断时间。

3.8.2 电路图及波形

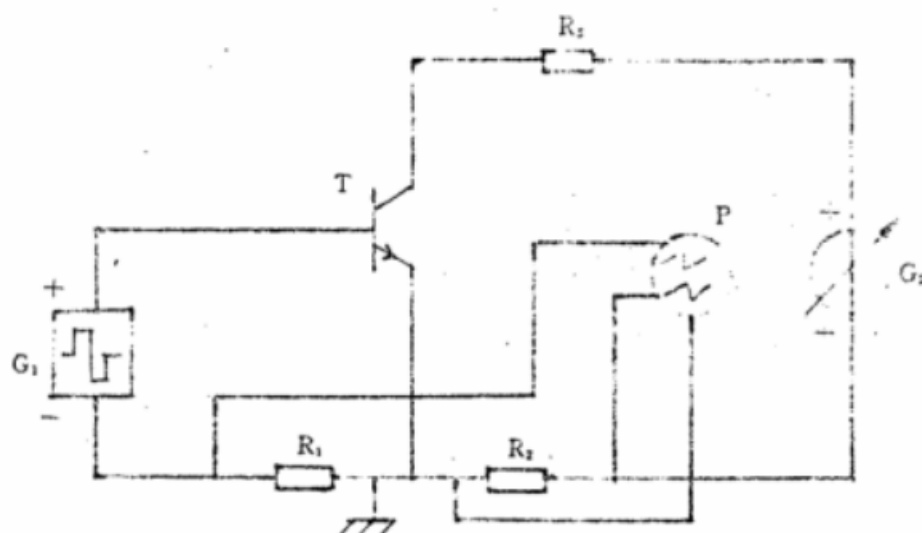


图 12

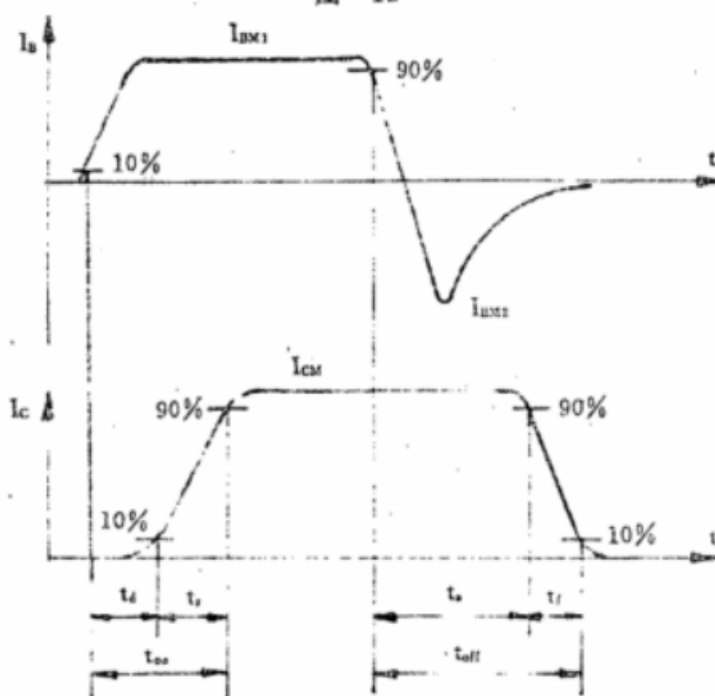


图 13

3.8.3 电路说明及要求

R_1 、 R_2 ——电流测量电阻器；

R_3 ——调整集电极电流的电阻器。

被测管芯在脉冲条件下工作在饱和状态。

整个电路的频率响应对开关时间的测量起决定性作用。因此，测量极短的时间间隔时，电路结构必须满足其频率要求。所有电路元器件应具有良好的频率特性。所有电阻器的电感量应尽可能小。

必须仔细评估示波器的频率响应、触发和上升时间，以保证其性能满足要求。通常使用双踪示波器。这时，应注意保证两路信号送到示波器的延迟时间完全相等。

可能需要辅助电路来防止被测管芯的额定值（特别是 V_{CE} ）在通态之外被超过。

3.8.4 规定条件：

- 外壳温度 (T_C)：按产品标准规定；
- 集电极峰值电流 (I_{CM})：额定集电极连续电流，或按产品标准规定；
- 正向基极峰值电流 (I_{BM})：按产品标准规定；
- 正向基极电流上升时间：按产品标准规定；

- e. 反向饱和峰值电流(I_{SM} , 仅对 t_r 、 t_f 和 t_{off}): 按产品标准规定;
- f. 集电极电源电压(V_{CE}): 按产品标准规定;
- g. 正向饱和电流脉冲宽度与占空比(t_s 、 δ): 按产品标准规定。

3.3.5 测量程序

使外壳温度达到规定值。

施加规定的集电极电流电压 V_{CE} 和基极电流, 使集电极峰值电流达到规定值。

根据图 13 所示波形, 在示波器上测量开关时间。

测量模块中每只管芯的开关时间, 取最大值作为被测模块的开关时间。

3.9 交迭时间(t_s)

3.9.1 目的

在规定条件下, 测量模块中管芯的交迭时间。

3.9.2 电路图及波形

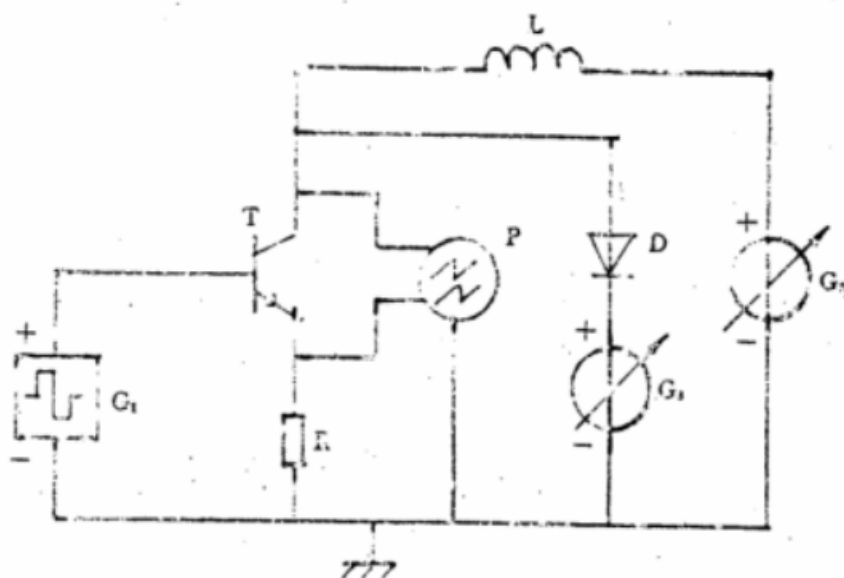


图 14

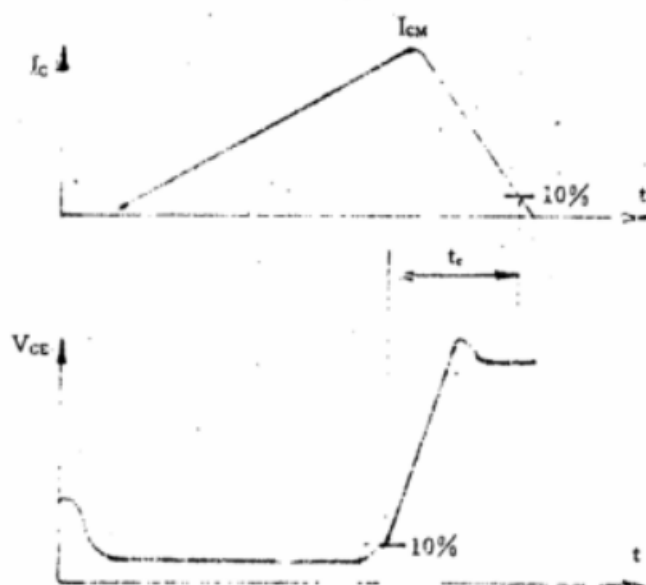


图 15

3.9.3 电路说明与要求

P——电流测量电阻器, 其电感量应尽可能小;

D——快恢复二极管;

被测管芯在脉冲条件下工作在饱和状态。

由于电感器 L ，集电极电流近似线性地增加。其脉冲宽度可由公式(3)计算：

$$t_p \approx \frac{L \cdot I_{CM}}{V_{CC}} \dots\dots\dots (3)$$

式中： t_p ——集电极电流脉冲宽度， μs ；

L ——电感器的电感量， μH ；

I_{CM} ——集电极峰值电流，A；

V_{CC} ——集电极电源电压，V。

当集电极峰值电流 I_{CM} 达到规定值时，施加反向基极电流 I_{BM2} ，切断集电极电流。由于被测管芯的贮存时间，集电极峰值电流 I_{CM} 会略大于基规定值。

应当注意适当选择电感器的电感量 L ，以免导致集电极电流增长速度过慢或被测管芯集电极—发射极间的电压过高。

电源 G_2 与二极管 D 构成电压钳位单元，将被测管芯集电极—发射极间的电压限制在规定值。

使用双踪示波器时，应注意保证两路信号送至示波器的延迟时间完全相等。

可能需要辅助电路来防止被测管芯的额定值(特别是 V_{em})在通态之外被超过。

3.9.4 规定条件：

- a. 外壳温度(T_c)：按产品标准规定；
- b. 集电极峰值电流(I_{CM})：额定集电极连续电流，或按产品标准规定；
- c. 正向基极峰值电流(I_{BM1})：按产品标准规定；
- d. 正向基极电流上升时间：按产品标准规定；
- e. 反向基极峰值电流(I_{BM2})：按产品标准规定；
- f. 电感器的电感量(L)：应予说明；
- g. 钳位电压(V_{clamp})：应予说明；
- h. 电流脉冲宽度与占空比(t_p 、 δ)： $t_p \leq 300 \mu s$ ， $\delta \leq 0.1\%$ 。

3.9.5 测量程序

将钳位电压设定在规定值。

使外壳温度达到规定值。

施加规定的基极电流 I_{BM1} ，逐渐增加集电极电源电压 V_{CC} ，使集电极峰值电流 I_{CM} 达到规定值，然后，施加规定的反向基极电流 I_{BM2} ，切断集电极电流。根据图 15 所示波形，在示波器上测量交迭时间 t_c 。

测量模块中每只管芯的交迭时间，取最大值作为被测模块的交迭时间。

4 热特性测试

4.1 温度测量方法

4.1.1 测量外壳温度的基准点位置

基准点位置为模块外壳底板长边侧面的几何中心点，可规定在该点的表面上，也可规定在深入该点表面 1 mm 处。

4.1.2 温度测量方法

环境温度用具有适当准确度的水银温度计测量。

对于基准点在模块外壳底板表面的情况，外壳温度用可忽略热容量的热敏元件进行测量。为保证热敏元件与模块底板之间的热阻可以忽略，应用焊剂、夹具或卡件使热敏元件与模块外壳底板接触良好。

对于基准点深入模块外壳底板表面 1 mm 的情况，外壳温度用截面直径不大于 0.25 mm 的热偶进行测量。热偶热端应熔焊形成小球(焊球直径应小于 0.3 mm)，不可绞扭或锡焊形成。热偶热端应插入规定点孔，且与模块底板接触良好。在测量过程中，应注意防止热偶热端短路，并使热偶冷端可靠地保持在

0℃或某一定温度值。

为了测量结温，必须采用对温度敏感的器件参数作为结温的读致。通常采用小百分数额定电流下的基极—集电极正向直流电压作为热敏参数。对于达林顿结构，应采用末级晶体管基极—集电极正向直流电压作为热敏参数。

测量热敏电压时，应注意消除非热瞬态效应的影响。

应当注意，这里假设管芯耗散功率和校准热敏曲线时，其结上的温度都是均匀的。

4.2 热阻(R_{th})

4.2.1 目的

测量模块中管芯结到外壳之间的热阻值。

4.2.2 电路图

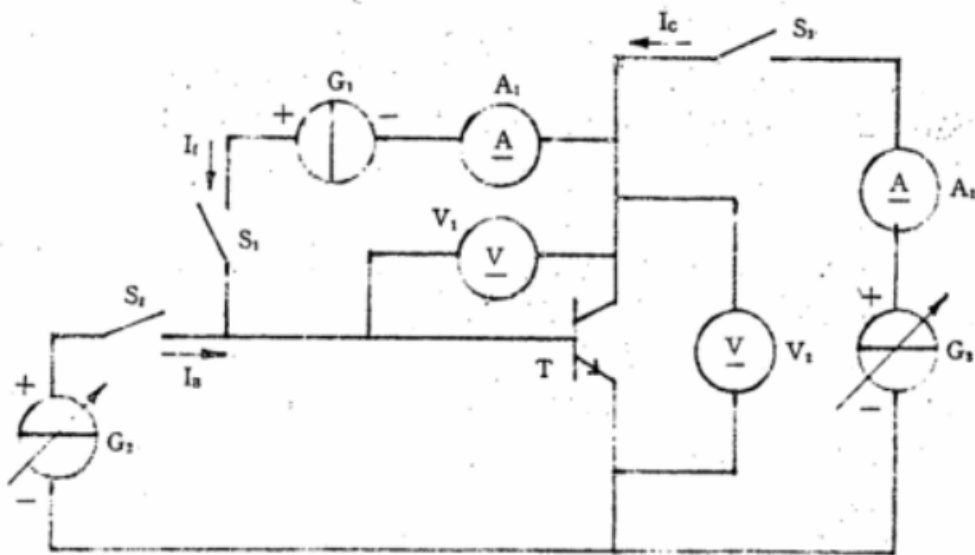


图 16

4.2.3 电路说明与要求

V_1 ——指示热敏电压值的仪表；

I_c ——在被测管芯中产生耗散功率的集电极加热电流；

I_b ——校准热敏电压的基准电流(热敏电流)。

通过调节电源 G_2 和 G_3 可以改变耗散功率。

4.2.4 规定条件

- 热敏电流(I_b)：其大小的选取应使热敏电压相对于结温的变化约为 $2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ ；
- 耗散功率(P) (仅对方法一)：其产生的热耗散应使结温达到或接近额定最高结温 T_{jm} 。
- 外壳温度测量点位置和测温元件安装要求：符合 4.1 条。

4.2.5 测量程序

可采用两种基本方法：

方法一

用外部加热改变被测管芯的温度。此时，开关 S_1 闭合， S_2 及 S_3 断开。在固定的热敏电流下，测出热敏电压与温度的关系曲线。

将被测模块固定在恒温加热器具上，测温元件固定在被测模块的温度测量点处。断开开关 S_1 ，闭合开关 S_2 和 S_3 ，施加加热电流，并通过调节 G_2 和 G_3 在被测管芯中产生规定的耗散功率。

达到热平衡后，分别在电流表 A_2 和电压表 V_2 上读出加热电流的值和被测管芯的电压值。然后断开 S_2 和 S_3 ，闭合 S_1 ，测量热敏电压值，并同时测量外壳温度。

根据测得的热敏电压值，在热敏曲线上查得对应的结温 T_i 。

耗散功率为

$$P = I_c \cdot V_{ce} \dots\dots\dots (4)$$

式中： P ——在被测管芯中产生的耗散功率，W；

I_c ——在被测管芯中产生耗散功率的集电极加热电流，A；

V_{ce} ——产生规定的耗散功率时，被测管芯集电极—发射极端子间的电压，V。

热阻值为：

$$R_{th} = \frac{T_i - T_e}{P} \dots\dots\dots (5)$$

式中： R_{th} ——被测管芯的热阻值， $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；

T_i ——被测管芯的结温， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_e ——外壳温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

P ——由公式(4)计算而得的耗散功率，W。

方法二

将被测模块固定在温度可调的加热器具上，测温元件固定在被测模块的温度基准点处。

S_1 、 S_2 和 S_3 周期性地开关。 S_2 和 S_3 闭合且 S_1 断开时，施加加热电流。 S_2 和 S_3 断开且 S_1 闭合时，测量热敏电压值。

测量分两步进行：

第一步，加热器具保持在较高的温度，施加较小的加热电流 I_{c1} ，在被测管芯中产生较小的耗散功率。达到热平衡后，分别记录电流表 PA_1 的读数 I_{c1} 、电压表 PV_2 的读数 V_{c1} 及外壳温度 T_{c1} ，并根据公式(4)计算耗散功率 P_1 。

第二步，加热器具保持在较低的温度，增大加热电流，使被测管芯的结温与第一步相同。达到热平衡后，分别记录电流表 PA_2 的读数 I_{c2} 、电压表 PV_2 的读数 V_{c2} 及外壳温度 T_{c2} ，并根据公式(4)计算耗散功率 P_2 。

热阻值为

$$R_{th} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{P_2 - P_1} \dots\dots\dots (6)$$

式中： R_{th} ——被测管芯的热阻值， $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；

T_{c1} 、 T_{c2} ——两次分别测得的外壳温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

P_1 、 P_2 ——其值分别对应于 T_{c1} 、 T_{c2} 的耗散功率，其值由公式(4)计算，W。

测量模块中每只管芯的热阻值，将各个管芯的热阻并联，即为模块的总热阻。

4.3 瞬态热阻抗 ($Z_{th}(s)$)

4.3.1 目的

测量模块内管芯结到外壳的瞬态热阻抗。

4.3.2 电路图

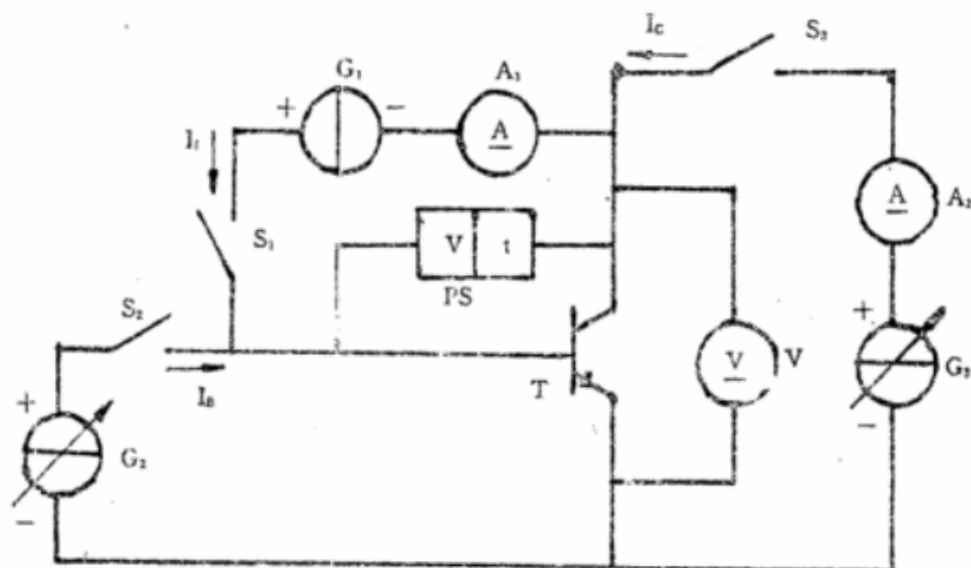


图 17

4.3.3 电路说明与要求

PS——记录热敏电压随时间变化的仪器；

I_c ——在被测管芯中产生耗散功率的集电极加热电流；

I_t ——校准热敏电压的基准电流（热敏电流）。

通过调节电源 G_2 和 G_3 ，可以改变耗散功率。

4.3.4 规定条件

- 热敏电流 (I_t)：其大小的选取应使热敏电压相对于结温的变化约为 $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ；
- 耗散功率 (P)：其产生的热耗散应使结温达到或接近额定最高结温 T_{j0} ；
- 外壳温度测量点位置和测温元件安装要求：符合 4.1 条。

4.3.5 测量程序

用外部加热改变被测管芯温度。此时，开关 S_1 闭合， S_2 和 S_3 断开。在固定的热敏电流下，测出热敏电压与温度的关系曲线。

将被测模块固定在恒温加热器具上，测温元件固定在被测模块的温度基准点处，断开开关 S_1 ，闭合开关 S_2 和 S_3 ，对被测管芯施加加热电流 I_c ，并通过调节 G_2 和 G_3 ，在被测管芯中产生规定的耗散功率 P ，并建立热平衡。

达到热平衡后，分别在电流表 A_1 和电压表 V 上读出热电流 I_c 的值和被测管芯的电压值 V_{ce} 。然后，断开开关 S_2 和 S_3 ，切断加热电流 I_c ，闭合开关 S_1 ，用记录仪器 PS 记录作为降温过程时间函数的热敏电压值，并同时记录作为时间函数的外壳温度。

用已校准的热敏曲线把测得的热敏电压曲线转换成等效结温曲线，用下式计算瞬态热阻抗值。

$$Z_{(th)t} = \frac{[T_{j(t)} - T_{e(t)}] - [T_{j(0)} - T_{e(0)}]}{P} \quad (7)$$

式中： $Z_{(th)t}$ ——被测管芯在时刻 t 时的瞬态热阻抗值， $^\circ\text{C}/\text{W}$ ；

$T_{j(0)}$ ——当开关 S_2 和 S_3 断开，且 S_1 闭合， $t=0$ 时的结温， $^\circ\text{C}$ ；

$T_{e(0)}$ ——当开关 S_2 和 S_3 断开，且 S_1 闭合， $t=0$ 时的外壳温度， $^\circ\text{C}$ ；

$T_{j(t)}$ ——在时刻 t 时的结温， $^\circ\text{C}$ ；

$T_{e(t)}$ ——在时刻 t 时的外壳温度， $^\circ\text{C}$ ；

P ——由公式 (4) 计算而得的耗散功率， W 。

测量模块中每只管芯的瞬态热阻抗值，将各个管芯的瞬态热阻抗并联，即为模块的瞬态热阻抗。

瞬态热阻抗曲线如图 18 所示。

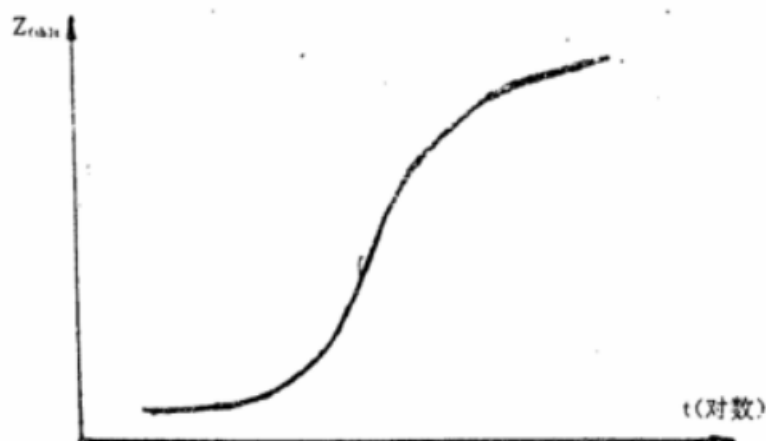


图 18

5 额定值检验

5.1 电压额定值和限制工作电压的可测特性

5.1.1 引言

有关可能施加于晶体管模块的最高电压的资料可由制造厂以额定值的形式给出，例如：

集电极—基极最高电压 V_{CBM} ；

集电极—发射极最高电压 V_{CEM} ；

发射极—基极最高电压 V_{EBM} 。

或以限制电路中工作电压的特性数据的形式给出，例如：

发射极电流为零时的集电极—基极击穿电压 $V_{(BR)CBO}$ ；

集电极电流为零时的发射极—基极击穿电压 $V_{(BR)EBO}$ ；

集电极—发射极击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ 、 $V_{(BR)CER}$ 、 $V_{(BR)CEX}$ 等。

额定值是以大量试验为基础，并考虑电压极限参数及寿命失效机理而确定的。测试这些额定值是不可能的。当上述资料以特性数据(这些特性会限制施加在电路中晶体管模块上的电压)的形式给出时，这意味着有可能在受控制的条件下进行测试。

5.1.2 集电极—基极击穿电压($V_{(BR)CBO}$)

5.1.2.1 目的

在规定条件下，检验模块中管芯的集电极—基极击穿电压。

5.1.2.2 电路图

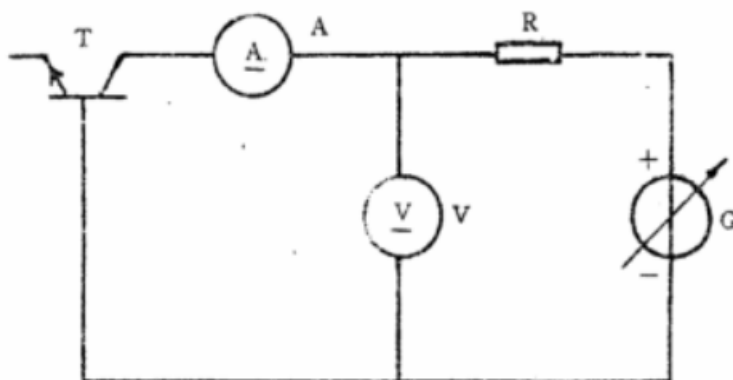


图 19

5.1.2.3 电路说明与要求

R——限流电阻器。其值应足够大，以避免过大的电流流过受试管芯及电流表。

电流表内阻应足够小。电压表内阻应足够大。

5.1.2.4 规定条件：

- a. 外壳温度(T_c)：按产品标准规定；
- b. 集电极电流(I_c)：按产品标准规定；
- c. 发射极开路($I_E=0$)。

5.1.2.5 试验程序

使外壳温度达到规定值。

增加电源G的电压，直至受试管芯集电极—基极端子间电压达到额定值或集电极电流达到规定值。

若在集电极电流小于或等于其规定值时达到规定的集电极—基极最高电压，则电压额定值得到验证。

检验模块中每只管芯的集电极—基极击穿电压，取最小值作为受试模块的集电极—基极电压额定值。

5.1.3 发射极—基极击穿电压($V_{(BR)EBO}$)

5.1.3.1 目的

在规定条件下，检验模块中管芯的发射极—基极击穿电压。

5.1.3.2 电路图

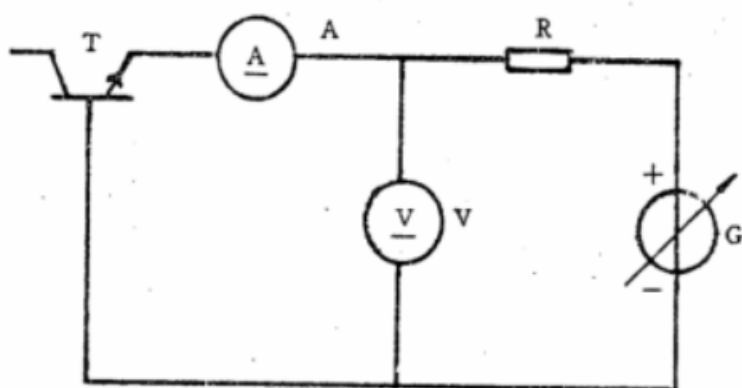


图 20

电路说明与要求

R——限流电阻器。其值应足够大，以避免过大的电流流过受试管芯及电流表。

电流表内阻应足够小。电压表内阻应足够大。

5.1.3.4 规定条件：

- a. 外壳温度(T_c)：按产品标准规定；
- b. 发射极电流(I_E)：按产品标准规定；
- c. 集电极开路($I_c=0$)。

5.1.3.5 试验程序

使外壳温度达到规定值。

增加电源G的电压，直至受试管芯发射极—基极端子间电压达到额定值或发射极电流达到规定值。

若在发射极电流小于或等于其规定值时达到规定的发射极—基极最高电压，则电压额定值得到验证。

检验模块中每只管芯的发射极—基极击穿电压，取最小值作为受试模块的发射极—基极电压额定值。

5.1.4 集电极—发射极击穿电压($V_{(BR)CEO}$ 、 $V_{(BR)CEB}$ 、 $V_{(BR)CEX}$)

5.1.4.2 目的

在规定条件下，检验模块中管芯的集电极—发射极击穿电压。

5.1.4.2 电路图

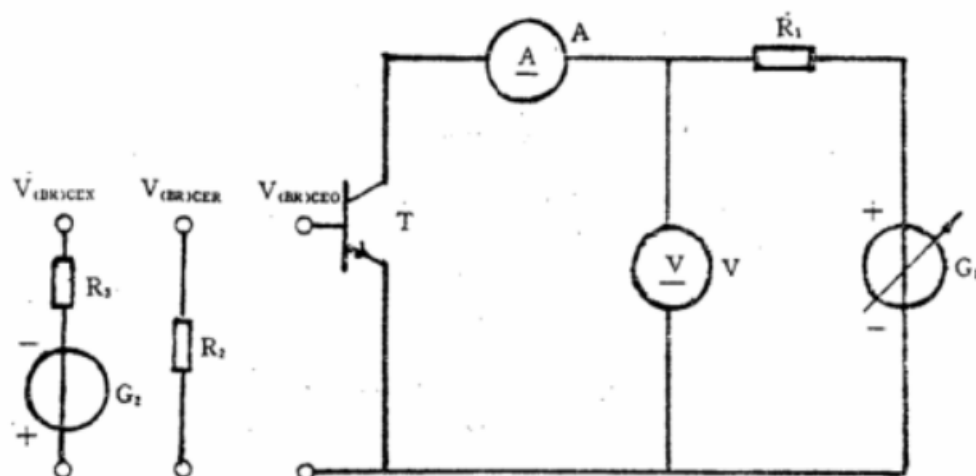


图 21

5.1.4.3 电路说明与要求

R_1 ——限流电阻器。其值应足够大,以避免过大的电流流过受试管芯及电流表;

R_2 ——检验 $V_{(BR)CER}$ 时的基极偏置电阻器;

R_3 ——检验 $V_{(BR)CEX}$ 时的基极偏置电阻器;

G_2 ——检验 $V_{(BR)CEX}$ 时的基极偏置电源。

电流表内阻应足够小。电压表内阻应足够大。

5.1.4.4 规定条件:

a. 外壳温度(T_c):按产品标准规定;

b. 集电极电流(I_c):按产品标准规定;

c. 基极—发射极间电路参数:

对于 $V_{(BR)CEO}$ $I_B=0$;

对于 $V_{(BR)CER}$ 电阻器 R_2 的值;

对于 $V_{(BR)CEX}$ G_2 的电压 V_{BB} 和电阻器 R_1 的值,或电压 V_{BE} 的值。

5.1.4.5 试验程序

按规定连接受试管芯基极—发射极间电路。

使外壳温度达到规定值。

增加电源 G 的电压,直至受试管芯集电极—发射极端子间电压达到额定值或集电极电流达到规定值。

若在集电极电流小于或等于其规定值时达到规定的集电极—发射极最高电压,则电压额定值得到验证。

检验模块中每只管芯的集电极—发射极击穿电压,取最小值作为受试模块的集电极—发射极电压额定值。

5.2 绝缘电压(V_{ISO})

5.2.1 目的

在规定条件下,检验模块各端子与外壳底板之间的绝缘电压。

5.2.2 规定条件:

a. 试验电压(交流电压方均根值); 2500V, 或按产品标准规定;

b. 试验电压频率; 50Hz;

c. 试验电压由零增加至规定值的时间; 不小于 10 s;

d. 受试模块承受试验电压规定值的时间; 1 min。

5.2.3 试验程序

将受试模块的基极、集电极、发射极等端子用导线紧固地连接为等电位点。

在受试模块的接线端子与外壳底板之间施加规定的试验电压，并持续规定的时间。

若未发生击穿或闪络现象，则试验通过。

试验之后应即施加至少 100V 的直流电压测量绝缘电阻。若电压 $V_M/\sqrt{2}$ (V_M 为受试模块任一对端子间预期会出现的最高峰值电压) 的值不大于 1000 V，则绝缘电阻应不小于 1 MΩ。若电压 $V_M/\sqrt{2}$ 的值大于 1000 V，则绝缘电阻按不小于 1000Ω/V 计算。出厂检验可以不测量绝缘电阻。

6 热循环负载试验

6.1 目的

用耐久性试验确认模块承受结温变化的能力。

6.2 电路图及波形

单相桥模块和三相桥模块的热循环负载试验电路分别如图 22 和图 23 所示。

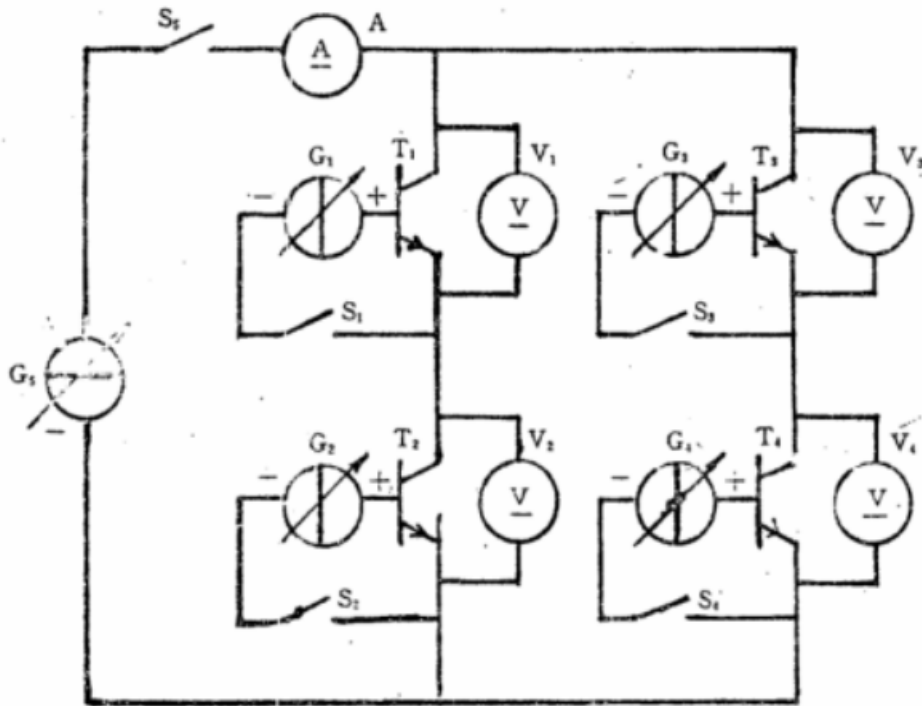


图 22

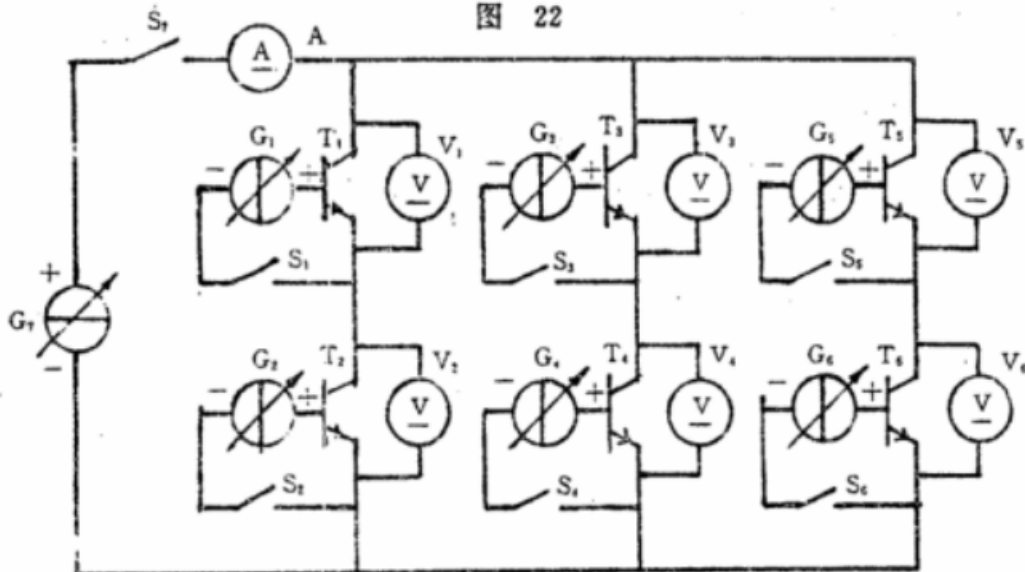


图 23

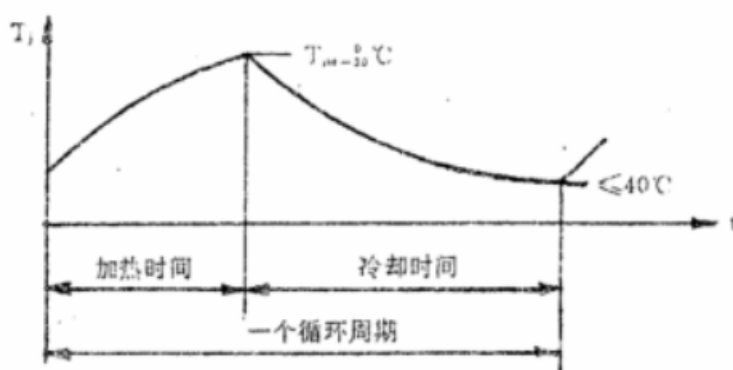


图 24

6.3 电路说明与要求

S——由时间继电器或温度继电器控制的周期性接通和断开的开关，用以控制加热功率 P 的通断。

加热功率 P 由电流 G_1 (或 G_2) 提供。

测量受试管芯电压的导线的连接应按 3.4.1.3 条规定。

6.4 规定条件：

- 加热功率：加热电流波形为直流，其产生的热耗散应使结温达到规定值；
- 结温变化范围：加热期间的最高温度为 $T_{j, \max} = 90^\circ\text{C}$ ，冷却期间的最低温度应不高于 40°C ；
- 加热时间和冷却时间：按产品标准规定；
- 循环次数：按产品标准规定。

6.5 试验程序

6.5.1 单相桥模块

闭合开关 S_1 、 S_2 和 S_3 ，调节电源 G_1 、 G_2 和 G_3 ，对受试管芯 T_1 和 T_2 施加规定的加热功率，并用电流表 A 及电压表 V_1 和 V_2 监视。结温在规定时间内达到规定值后，断开开关 S_3 ，使其在规定时间内冷却到不高于 40°C 。此即一个循环周期。

重复上述过程，直至达到规定的循环次数。

断开开关 S_1 和 S_2 ，闭合开关 S_3 、 S_4 和 S_5 ，用同样方法对管芯 T_1 和 T_2 进行试验，直至达到规定的循环次数。

试验后，按产品标准规定的检验项目对模块进行测量，如均满足规定要求，则认为受试模块通过本项试验。

6.5.2 三相桥模块

闭合开关 S_1 、 S_2 和 S_7 ，调节电源 G_1 、 G_2 和 G_7 ，对受试管芯 T_1 和 T_2 施加规定的加热功率，并用电流表 A 及电压表 V_1 和 V_2 监视。结温在规定时间内达到规定值后，断开开关 S_7 ，使其在规定时间内冷却到不高于 40°C 。此即一个循环周期。

重复上述过程，直至达到规定的循环次数。

断开开关 S_1 和 S_2 ，闭合开关 S_3 、 S_4 和 S_7 ，用同样方法对管芯 T_1 和 T_2 进行试验，直至达到规定的循环次数。

断开开关 S_3 和 S_4 ，闭合开关 S_5 、 S_6 和 S_7 ，用同样方法对管芯 T_1 和 T_2 进行试验，直至达到规定的循环次数。

试验后，按产品标准规定的检验项目对模块进行测量。如均满足规定要求，则认为受试模块通过本项试验。

附录 A

热敏斜率测试方法

(补充件)

A1 概述

热敏斜率测试又称热敏校准曲线测试。本测试是进行结温、热阻、瞬态热阻抗等测试的基础测试。测试时通过被测管芯基极—集电极的热敏电流(I_T)又称热敏基准电流或测量电流。热敏电流在基极—集电极端子间产生的电压称为热敏电压(V_T)。

A2 电路图

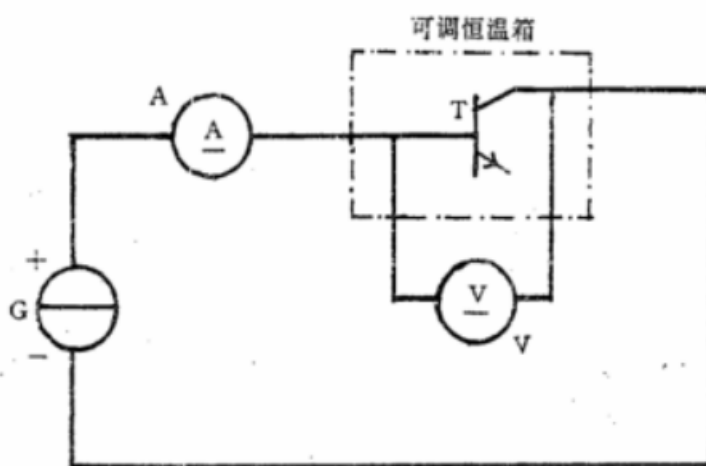


图 A1

A3 电路说明与要求

直流恒流源 G 的纹波因数应不大于 0.5%，以保证测量过程中热敏电流稳定。

测量热敏电压的导线不应与施加热敏电流的导线共用，而应直接接至被测管芯基极—集电极两端，以消除导线及接触的压降。

测量热敏电压的直流毫伏表应尽量采用读数准确度高的电表，如数字电压表或准确度 0.5 级，量程 1 伏或 2 伏的直流电压表。

可调恒温箱的温度均匀、稳定（保持在控制温度的 $1\sim-1^\circ\text{C}$ 以内）。从恒温箱引出的测量线应尽可能短，结点尽可能少，导线的粗细应与热敏电流的大小相适应。导线各结点在高温下也应接触良好。

A4 规定条件：

- a. 热敏电流值的选取必须考虑到可以忽略附加结温升。通常，其大小的选取应使热敏电压相对于结温的变化约为 $2\text{mV}/^\circ\text{C}$ ；
- b. 测试温度范围为室温至额定最高结温。一般取 5 个温度点，最少应取 3 点；
- c. 如取平均热敏斜率，则被测管芯不得少于 10 只；
- d. 测试时，被测模块不带散热器。

A5 测量程序

将被测模块紧固在恒温箱的安装座上，按图 A1 引出施加热敏电流和测量热敏电压的导线。恒温箱先

不升温,保持在室温。

对被测管芯施加热敏电流 I_t , 测量热敏电压并记录相应的被测管芯的温度(室温)。

将恒温箱升温(一般升 20°C 左右)。当温度稳定, 即外部温度计或热电偶的指示能表征被测管芯的结温时, 施加热敏电流 I_t , 测量被测管芯在第 2 温度点的热敏电压, 并同时记录温度值。

重复上一步骤, 分别测量被测管芯在第 3、第 4、第 5 等更高温度点的热敏电压, 并同时记录相应的温度值。

在坐标纸上绘出 $V_t=f(T)$ 曲线即热敏曲线(实际为直线)。取直线上任意两点按下式计算热敏斜率:

$$M = \frac{V_{t2} - V_{t1}}{T_2 - T_1}$$

式中: M ——热敏斜率, $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$;

T_1, T_2 ——热敏曲线上任取两点的温度, $^{\circ}\text{C}$;

V_{t1} ——温度为 T_1 时的热敏电压, mV ;

V_{t2} ——温度为 T_2 时的热敏电压, mV 。

附录 B

术 语

(参 考 件)

B1 集电极—基极截止电流(I_{CBO})

发射极开路(即发射极电流 $I_E=0$)时, 在规定的集电极—基极电压下, 流过集电极—基极结的反向电流。

B2 发射极—基极截止电流(I_{EBO})

集电极开路(即集电极电流 $I_C=0$)时, 在规定的发射极—基极电压下, 流过发射极—基极结的反向电流。

B3 集电极—发射极截止电流(I_{CEO})

基极开路(即基极电流 $I_B=0$)时, 在规定的集电极—发射极电压下, 流过集电极—发射极的电流。

有时, 基极不是开路, 而在基极与发射极间接有一个规定的电阻器或一个规定的电路, 则相应的集电极—发射极截止电流分别用 I_{CEX} 和 I_{CEX} 表示。

B4 基极—发射极饱和电压($V_{BE sat}$)

在规定的基极电流或基极—发射极电压条件(基极电流或基极—发射极电压增加超过此条件时, 集电极电流基本保持不变)下, 基极与发射极之间的电压。

注: 这是当基极—发射极结和基极—集电极结均为正向偏置时, 基极与发射极之间的电压。

B5 集电极—发射极饱和电压($V_{CE sat}$)

在规定的基极电流或基极—发射极电压条件(基极电流或基极—发射极电压增加超过此条件时, 集电极电流基本保持不变)下, 集电极与发射极之间的电压。

注: 这是当基极—发射极结和基极—集电极结均为正向偏置时, 集电极与发射极之间的电压。

B6 正向电流传输比的静态值(h_{FIE})

输出电压保持不变时, 直流输出电流与直流输入电流之比。

B7 延迟时间(t_d)

从在晶体管的输入端施加使其从非导通态转变为导通态的脉冲起,到在其输出端出现载流子产生的脉冲止的时间间隔。

注:通常,此时间以分别对应于所施加脉冲及输出脉冲幅值的10%两点之间的时间间隔来度量。

B8 上升时间(t_r)

晶体管从非导通态向导通态转变时,其输出端脉冲值分别达到规定的下限和上限两时刻之间的时间间隔。

注:通常,下限和上限分别为输出脉冲幅值的10%和90%。

B9 开通时间(t_{on})

延迟时间与上升时间之和,即 $t_d + t_r$ 。

B10 (载流子)贮存时间(t_s)

从施加于晶体管输入端的脉冲开始下降的点起,到载流子在其输出端产生的脉冲开始下降的点止的时间间隔。

注:通常,此时间以两脉冲幅值的90%点之间的时间间隔来度量。

B11 下降时间(t_f)

晶体管从导通态向非导通态转变时,其输出端脉冲值分别达到规定的上限和下限两时刻之间的时间间隔。

注:通常,上限和下限分别为输出脉冲幅值的90%和10%。

B12 关断时间(t_{off})

贮存时间与下降时间之和, $t_s + t_f$ 。

B13 (关断)交迭时间(t_x)

晶体管从导通态向非导通态转变时,从集电极电压上升至其断态峰值的10%点起,到集电极电流脉冲下降其通态峰值的10%点止的时间间隔。

B14 集电极—发射极维持电压($V_{CE0(SUS)}$)

基极开路(即基极电流 $I_B = 0$)时,在较大的集电极电流下的集电极—发射极击穿电压。在此集电极电流下,击穿电压对集电极电流的变化不敏感。

有时,基极不是开路,而在基极与发射极间接有一个规定的电阻器或一个规定的电路,则相应的集电极—发射极维持电压分别用 $V_{CER(SUS)}$ 和 $V_{CEX(SUS)}$ 表示。

B15 集电极—基极击穿电压($V_{CB0(CO)}$)

发射极开路(即发射极电流 $I_E = 0$)时,集电极与基极间的击穿电压。

B16 发射极—基极击穿电压($V_{EB0(CO)}$)

集电极开路(即集电极电流 $I_C = 0$)时,发射极与基极间的击穿电压。

B17 集电极—发射极击穿电压($V_{(BR)CEO}$)

基极开路(即基极电流 $I_B=0$)时,集电极与发射极间的击穿电压。

有时,基极不是开路,而在基极与发射极间接有一个规定的电阻器或一个规定的电路,则相应的集电极—发射极击穿电压分别用 $V_{(BR)CER}$ 和 $V_{(BR)CEX}$ 表示。

B18 集电极—基极电压(V_{CBO})

发射极开路(即发射极电流 $I_E=0$)时的集电极—基极电压。

B19 发射极—基极电压(V_{EBO})

集电极开路(即集电极电流 $I_C=0$)时的发射极—基极电压。

B20 集电极—发射极电压(V_{CEO})

基极开路(即基极电流 $I_B=0$)时的集电极—发射极电压。

有时,基极不是开路,而在基极与发射极间接有一个规定的电阻器或一个规定的电路,则相应的集电极—发射极电压分别用 V_{CER} 和 V_{CEX} 表示。

B21 (模块的)绝缘电压(V_{ISO})

模块的接线端子与外壳底板之间能够承受的工频交流电压。

附加说明:

本标准由机械工业部西安电力电子技术研究所提出并归口。

本标准由西安电力电子技术研究所负责起草。

本标准主要起草人蓝筱屏、蔺红旗、时俭新。

www.bzxz.net

免费标准下载网