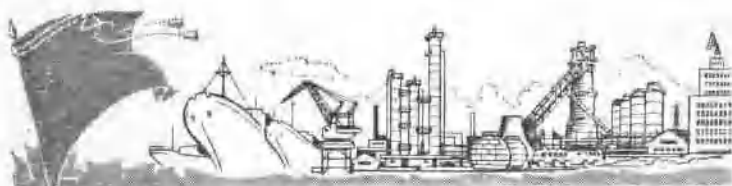


毛主席语录

认识从实践始, 经过实践得到了
理论的认识, 还须再回到实践去。



晶体管热阻简易测试



工业技术资料

第56号

上海人民出版社

出版说明

在伟大领袖毛主席的无产阶级革命路线的光辉指引下，工农业生产出现了新的跃进高潮，形势一派大好！

电子工业战线的广大革命工人、革命干部和革命技术人员，遵循伟大领袖毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的教导，深入开展革命大批判，彻底肃清叛徒、内奸、工贼刘少奇所推行的“洋奴哲学”、“爬行主义”反革命修正主义的流毒，一场大破电子工业“神秘论”、“特殊论”，坚决走我国自己发展电子工业道路的群众运动正在轰轰烈烈地展开。广大革命工人坚持“自力更生”、“艰苦奋斗”，克服一切困难，为巩固无产阶级专政，建设社会主义，为打击帝、修、反，支援世界革命，作出了巨大的贡献。

随着半导体工业中各种新材料、新器件的大量涌现，也相继出现了各种形式的新颖电子线路。遵循伟大领袖毛主席关于“无产阶级认识世界的目的，只是为了改造世界，此外再无别的目的”的教导，为了适应电子工业发展的需要，我们组织编写了电子技术方面的有关技术资料，以供广大革命工人、革命干部和革命技术人员参考。

顺此，我们也请广大工农兵读者对我们编辑出版工作中存在的问题提出宝贵的意见，并希望大家踊跃投稿或提供线索。

晶体管热阻简易测试

上海元件五厂

一、概 述

晶体管在极限运用时, 要受到集电极最大耗散功率 P_{CM} 的限制, 一般地说, 集电结上的温度与加在集电结上的耗散功率的关系, 若集电结和外界散热系统之间导热系数为常数时, 可由下式给出:

$$T_j = T_a + \theta_{j-a} P_C \quad (1)$$

式中: T_j ——集电结温度;

T_a ——环境温度;

θ_{j-a} ——晶体管热阻(或用 R_{th} 表示热阻)。

(1)式亦可表示为:

$$P_{CM} = \frac{T_{jM} - T_a}{\theta_{j-a}} \quad (2)$$

其中 T_{jM} (或 T_{jmax}) 是晶体管最高允许结温, 当结温超过 T_{jM} 时, 半导体的本征热激发会使载流子浓度大到足以使 $P-N$ 结烧坏, 这个温度视半导体材料的不同而异, 如果把管芯的焊料、封装性质等考虑进去, 对锗管 T_{jM} 约为 $70 \sim 100^\circ\text{C}$, 而硅管约为 $150 \sim 200^\circ\text{C}$ 。

要计算晶体管的最大耗散功率 P_{CM} , 则必须知道其热阻 θ_{j-a} 和最高允许结温 T_{jM} 。结温 T_j 是不能直接测量的, 然而可以利用与结温有关的热敏参数如: 反向漏电流 I_{CO} 、正向压降 V_B (或 V_R) 等, 通过测量这些热敏参数与结温(功耗)之间的关系从而求出结温 T_j , 代入(1)式便可算出热阻 θ_{j-a} , 再由(2)式决定 P_{CM} (因 T_{jM} 已由材料、结构决定了)。

常用的方法有 I_{C0} 法和 V_E 法两种, 因锗管 I_{C0} 较大, 可用 I_{C0} 法测量, 而硅管 I_{C0} 却很小, 一般取用 V_E 法。由于 V_E 法对锗管、硅管均适用, 下面仅以 V_E (或 V_B) 法加以说明。

从晶体管 $P-N$ 结的特性可知, 在忽略基区电阻时, 恒定注入下的正向压降与结温有如下的关系:

$$I_+ = I_- \cdot (\exp \frac{qV_+}{kT} - 1) \quad (3)$$

式中: I_+ —— $P-N$ 结加正向电压 V_+ 的电流;

I_- ——反向饱和电流;

V_+ —— $P-N$ 结上的正向压降;

q ——电子电荷量;

k ——玻尔兹曼常数;

T ——绝对温度。

(3)式可以写成: (因 $I_- = A \exp \frac{-V_g}{kT}$)

$$\frac{I_+ + I_-}{A} = \exp \frac{q}{kT} \cdot (V_+ - \frac{V_g}{q}) \quad (4)$$

式中 V_g 为半导体的禁带宽度, A 为物理常数。由(4)式可得

$$\ln \frac{I_+ + I_-}{A} = \frac{q}{kT} (V_+ - V_g) \quad (5)$$

因 $V_g > V_+$, 故(5)式可写成:

$$V_+ = V_g - \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{A}{I_+ - I_-} \quad (6)$$

因 I_+ 远远大于 I_- , 并当 I_+ 为常数时, (6)式可写成:

$$V_+ = V_g - \frac{kT}{q} \cdot c \quad (7)$$

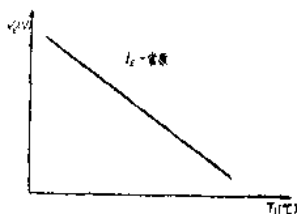


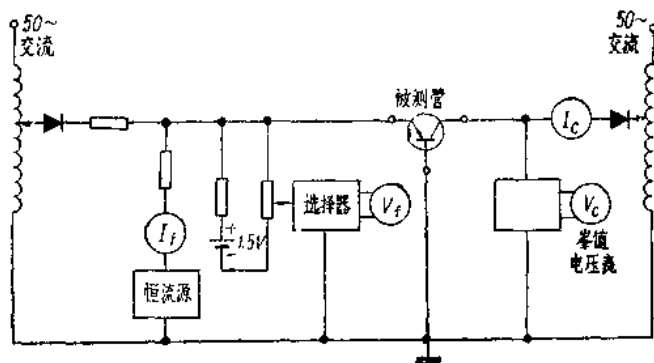
图 1

从(7)式可知: $P-N$ 结的正向压降在注入电流为常数时与温度是单值函数关系, 即 V_+ 随结温的升高而下降, 如图 1 所示。

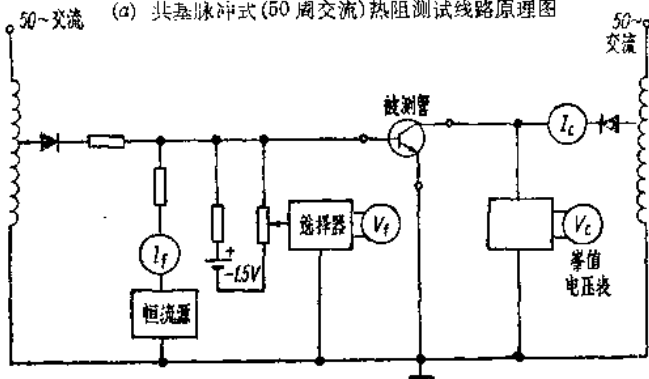
二、测量方法

目前用正向压降法测量热阻的线路很多, 归纳起来有共基供电与共发供电两类, 其中又分为脉冲式和直流式两种。在共基脉冲式测量电路中, 通常测量正向压降 V_{CB} , 由于 V_{CB} 是在集电结上测量的, 因此能准确地反映集电结的结温 T_j , 共发电路则测量 V_{BE} 。

脉冲式是指半周时间内加耗散功率, 另半周加测量讯号, 并



(a) 共基脉冲式 (50 周交流) 热阻测试线路原理图



(b) 共发脉冲式 (50 周交流) 热阻测试线路原理图

图 2

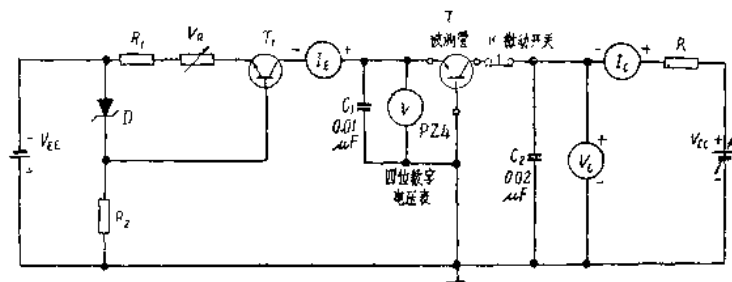
同时用真空毫伏表或电桥检测正向压降的变化量。其测试线路原理图如图 2 所示。

这里着重介绍的是直流式电路,其方法简易可靠。只要一台四位数字电压表或一台 JT-1 晶体管特性图示仪的通用测量仪便能测量。

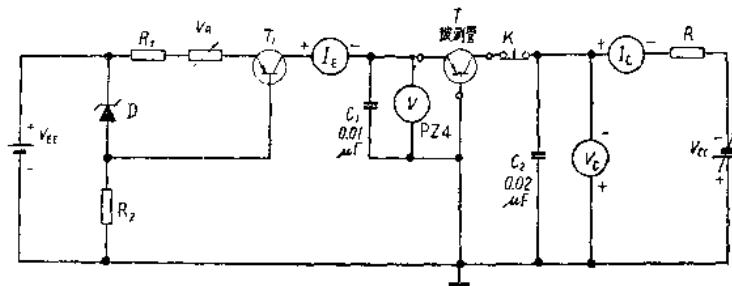
(一) 共基供电

共基供电测量中、小功率管的热阻是很简便的,测试线路如图 3。

在图 3 中,发射极恒定注入的条件是由晶体管 T_1 和稳压管 D 组成的恒流源给以保证, 电位器 V_R 是调节恒定电流 I_E 的, 电容 C_1 、 C_2 是用来消除被测管 T 产生自激的旁路电容。



(a) 共基供电 N-P-N 中、小功率管热阻测试线路



(b) 共基供电 P-N-P 中、小功率管热阻测试线路

图 3

测量步骤如下:

1. 在恒定 I_E ($I_C \neq I_E$) 的条件下, 调 V_G 电压, 供给被测管所需要的不同耗散功率 $P_C = V_G I_C$ (需恒定一定时间到热稳定状态, 一般约 30 分钟左右), 然后在断开集电极电源 (K 断开) 的瞬间从 PZ4 测得 V_E 数值 (用“手动”或“快自动”), 即可作出 $V_E - P_C$ 的关系曲线, 如图 4a 所示。

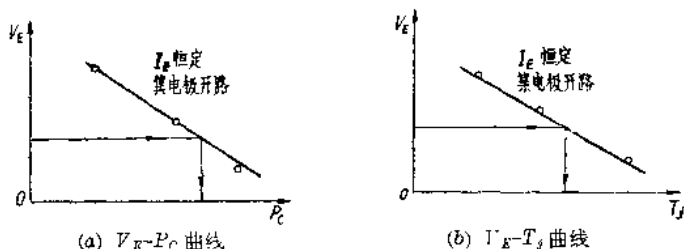


图 4

2. 然后将被测管放置于恒温槽中(或烘箱), 此时 I_E 保持为一恒定值, 集电极开路, 在不同的温度下用 PZ4 读出对应的 V_E , 烘箱温度即为 T_j , 并作出 $V_E - T_j$ 的关系曲线, 如图 4b 所示。

3. 取以上二曲线中 V_E 相等的一点, 求出 P_C 对应的 T_j 值, 代入(1)式即可求得被测管的热阻。

(1) 式为: $T_j = T_0 + \theta_{j-a} P_C$

即
$$\theta_{j-a} = \frac{T_j - T_0}{P_C} \quad (8)$$

将求得的 θ_{j-a} 代入(2)式, 便可得到被测管的 P_{CM} 值。

用图 3 方法测得的热阻, 它的测量误差的引入主要是由于断开集电极电源后才观测 V_E 值的缘故, 对中、小功率管来说, 其热容量小, 当去除电功率的一瞬间结温下降比较快, 因此要求在去除电功率的同时能尽快地读出 V_E 值, 用这一方法测量热阻. 小功率管比中功率管误差大, 对大功率管则误差可小些, 但总的

说来,测量的结果均较偏低。

实际上,由于不同的功率所对应的 V_E 不是很好的单值函数关系,所以图 4a 中的 V_E-P_C 曲线不是很平滑的,故一般是将某一 P_C 对应的 V_E 值,在图 4b 中读出对应 T_j ,再代入 (8) 式求得热阻的。

下面给出用图 3 方法检测硅小功率管 3DK2 的热阻数据。

当 $V_C=10V$, $P_C=V_C \cdot I_E=200\text{mW}$ 时, V_{EB} 测量结果为 $0.82V$ ($T_a=25^\circ\text{C}$), 从图 5 曲线得到所对应的 $T_j=145^\circ\text{C}$, 再代入 (8) 式即得 $\theta_{j-a}=\frac{T_j-T_a}{P_C}=\frac{145-25}{200}=0.6^\circ\text{C/mW}$ 。

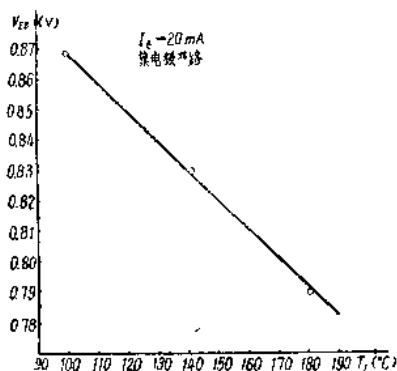


图 5 3DK2 $V_{EB}-T_j$ 曲线

用图 3 方法测量热阻,由于 I_E 是恒定的,而且共基供电,工作点比较稳定,可方便地检测数量较多的同一型号的管子。而对于大功率管,特别是平面大功率管,因基极最大允许电流 $I_{BM} \doteq \frac{I_{EM}}{10}$,所以不能用图 3 方法脱开功率管集电极电源,否则 $I_E=I_B$, 容易烧坏发射结或

基极内引线烧断。图 3 不宜检测大功率管的热阻。

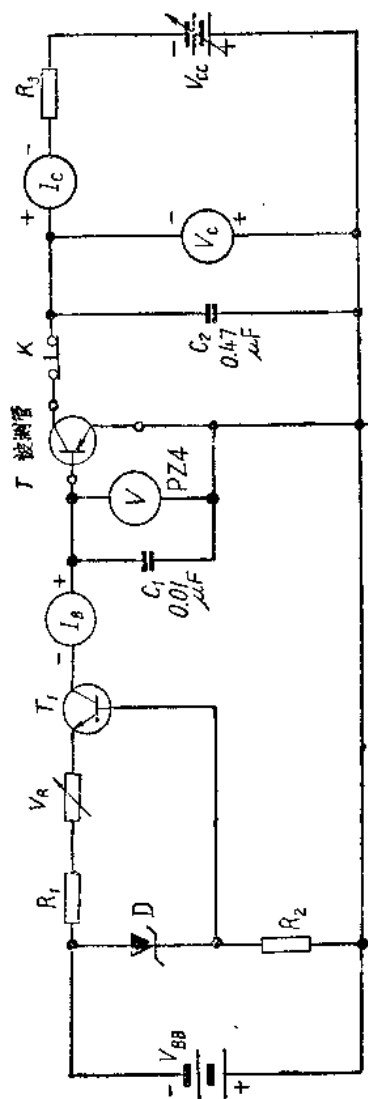
(二) 共发供电

共发供电法多用来检测大功率管的热阻,测试线路如图 6。

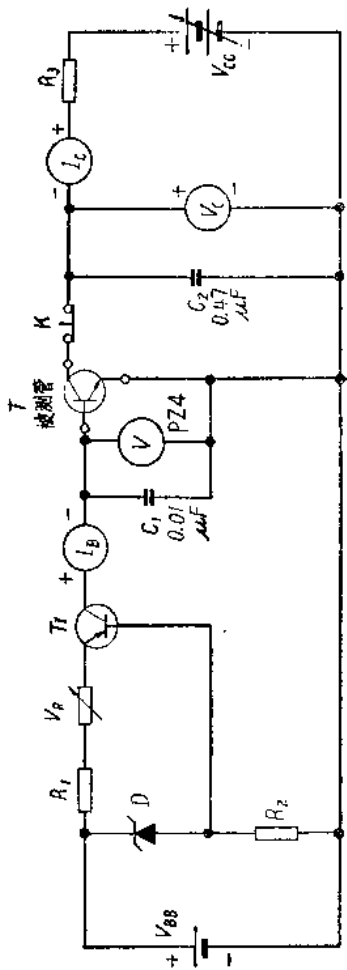
在图 6 中,基极电流 I_B 是恒定注入的(调节 V_R),电容 C_1, C_2 亦是用来防止被测管 T 的高频自激振荡的。

测量步骤如下:

1. 先将 I_B 调至最小值,调节 V_{CE} 电压到预定的数值后再



(a) P-N-P 大功率管共发射阻测试线路



(b) N-P-N 大功率管共发射阻测试线路

加大 I_B , 使工作点 V_C 、 I_C 为所需数值, 功率管在加上功率 $P_C (=V_C \cdot I_C)$ 后 (测热阻时要把大功率管紧固在所需的散热板或散热器上), 其结温即上升, 由于 h_{FE} 受 T_j 的影响颇大, 故需反复调整 I_B 才能使 I_C 、 V_C 满足要求 (线路中 R_3 就是为了在结温上升时, I_C 增大促使 R_3 的压降增大从而减少管子的功率过快增加而接入的), 约 30~60 分钟后可达到热动态平衡, 此时在断开集电极电源 (按微动开关 K) 的瞬间就同时读出 PZ4 所测得的 V_B 值, 即得到对应 P_C 的 V_B 值。

2. 然后将被测管放置于恒温槽中, 集电极开路, 在保持 I_B 恒定的条件下作出 V_B - T_j 关系曲线。

3. 将步骤 1 所得的 V_B - P_C 关系曲线和步骤 2 所得的 V_B - T_j 关系曲线中求得 P_C 所对应的 T_j 值, 代入 (8) 式即求得被测大功率管的热阻, 再将得到的热阻 θ_{j-a} 代入 (2) 式即得到被测管在某一附加散热板时的 P_{CM} 。

如果在步骤 1 中用点温计测量被测管壳底的温度 T_c , 则可求得大功率管的内热阻:

$$\theta_{j-c} = \frac{T_j - T_c}{P_C} \quad (9)$$

用图 6 方法所测得的 θ_{j-a} (或 θ_{j-c}) 亦是在断开集电极后才读 V_B , 因而在此瞬间结温亦有所下降, 但由于大功率管是带散热板测量的, 其热容量较大, 结温的下降速度较慢 (相对中、小功率管而言), 故测得的热阻值稍偏低。

下面给出用图 6 方法测量 3AD30 热阻的数据 (附加 $200 \times 200 \times 4 \text{ mm}^3$ 铝平板散热器)。

当 $V_C = 10 \text{ V}$, $I_C = 2 \text{ A}$ 时 $P_C = V_C \cdot I_C = 20 \text{ W}$, 热平衡后其 $I_B = 60 \text{ mA}$, 此时测得的 V_{BE} 为 0.165 V ($T_a = 25^\circ \text{C}$), 然后以 $I_B = 60 \text{ mA}$ 在烘箱中作出如图 7 所示的 V_{BE} - T_j 曲线, 从曲线中查得对应 V_{BE} 为 0.165 V 的 $T_j = 71^\circ \text{C}$, 代入 (8) 式

$$\text{即得 } \theta_{j-a} = \frac{T_j - T_a}{P_c} = \frac{71 - 25}{20} = 1.8^\circ\text{C/W}$$

当 $P_c = 20\text{ W}$ 时用点温计测得被测管壳底温度为 55°C ，代入(9)式得

$$\theta_{j-c} = \frac{T_j - T_c}{P_c} = \frac{71 - 55}{20} = 0.8^\circ\text{C/W}$$

图3、图6线路中均以PZ4四位数字电压表测量其被测管的正向压降 V_E 或 V_B ，这样得到的数值可以直读到四位，如果我们用JT-1晶体管特性图示仪代替PZ4，也可以较准确地读到三位数值（用 x 轴作用“基极电压”的 $0.1\text{V}/\text{度}$ 或 $0.05\text{V}/\text{度}$ ），具体方法如下：

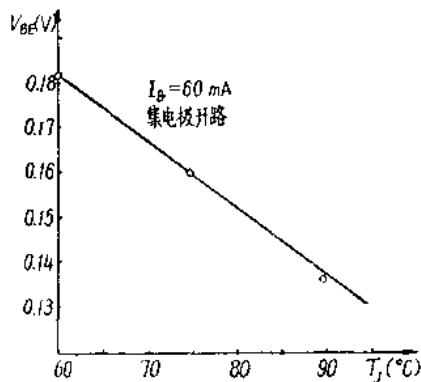


图7 3AD30 $V_{BE}-T_j$ 曲线

在图3或图6中的被测管的基极与发射极分别接入JT-1的B、E接线柱上(代替图3、图6中的PZ4)，此时：

基极阶梯信号中“阶梯作用开关”置“关”

“阶梯选择”置“ $0.01\text{V}/\text{级}$ ”

“串联电阻”置“ 22K ”

“开关”置“零电流”，用橡皮筋栓牢固定它

集电极扫描信号“不用”

x 轴作用置“基极电压 $0.1\text{V}/\text{度}$ ”

y 轴作用置“基极电流或基极源电压”

x 轴“移位”“零点校正”使光点至零(左边，亦可至右边)

y 轴“移位”使光点在坐标轴为“5”(即中间)

调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”旋钮使光点成“瘦1字”，这样JT-1就纯粹作为电压表用(在测量时注意经常校零点)。

用JT-1测量正向压降 V_E 或 V_B ，对测量热阻来说准确度基本能满足，但其视差比较大，测量数值时要眼睛对准光点(不能斜看)，利用中间小分格可以较准确地读出三位数值(视差在几毫伏以内)。

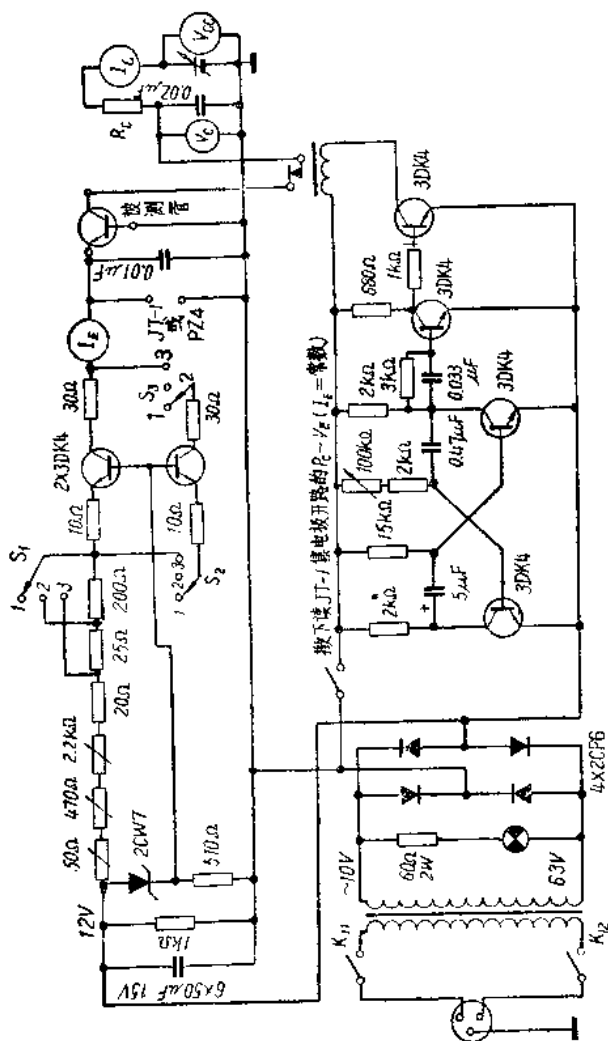
如果同样采用微动开关 K 使集电极开路的同时即读 V_E (或 V_B)值，测量结果亦因降温速度快而带来比PZ4更大的误差(因要加上视差和准确度)，但是这可以用继电器代替微动开关来克服降温快这一缺点，线路原理见图8。

在图8中，继电器触点接“常通”，在加功率时振荡器因电源不接上，继电器不工作，当热平衡后开启振荡器电源，继电器动作，因线路上控制继电器线圈的导通时间只有几毫秒(约为截止时间的1/10)，这样在JT-1上可以得到两个点(一个点系集电极不开路，一个点系集电极开路，由于触点断开的较短，此光点较暗)，这样就大大减少因开断集电极而造成结温下降快的误差，这就对观测结果却带来了方便(观测时间不受限制)，实践证明，只要触点开断时间在几毫秒以下而触点接通时间又较长，其结果是正确的。

如果没有JT-1，不妨以示波器代用，但示波器容易“零飘”，又难“同步”得好，引起的视差可能要比JT-1大些。

三、热阻与工作点 I_C ， V_C 以及散热板面积的关系

上面所测得的热阻是在较低电压下(电流较大)的数值，其实热阻在不同条件下的数值是不同的，加的功率越大(不宜超过 P_{CM})其热阻越小(V_C 为常数时)，加的 V_C 越高其热阻越大(P_C 为常数时)，而在相同的工作点下测量，附加散热板面积越大，其



热阻越小,当散热板面积大到一定时其热阻将接近一常数,此时的散热板面积可视为无穷大。

下面给出一些大功率管的测量结果(用图6法),如图9~图12所示。

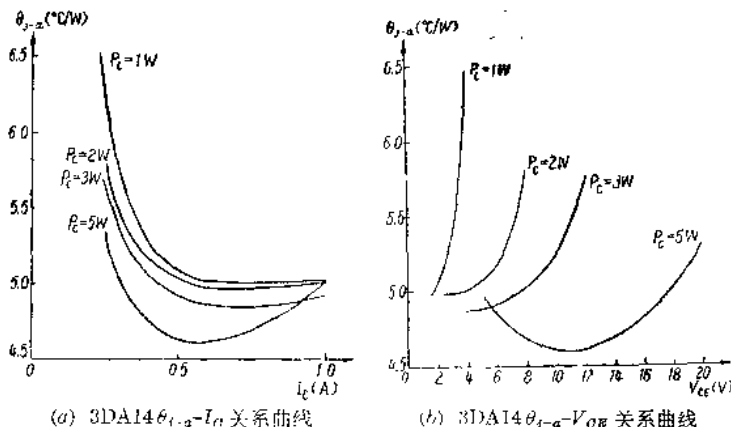


图 9

[注] 加功率时均附加 $120 \times 120 \times 4 \text{ mm}^3$ 铝散热板

(一) 热阻与 I_c, V_{CE} 的关系

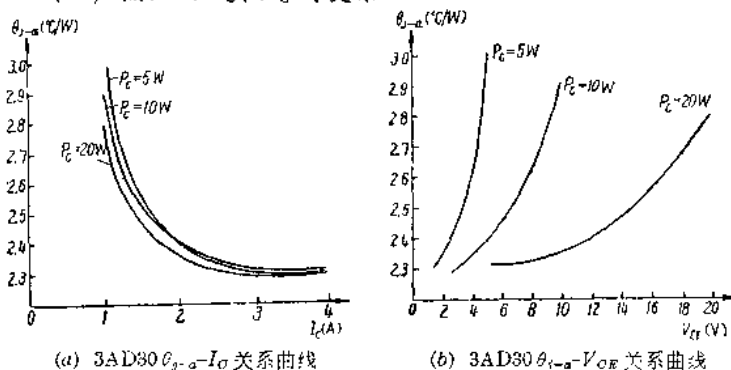


图 10

[注] 加功率时均附加 $200 \times 200 \times 4 \text{ mm}^3$ 铝散热板

(二) 热阻与散热板面积的关系

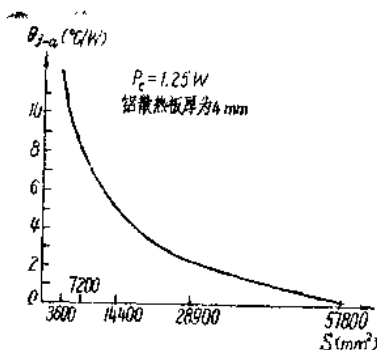


图 11 3DA14 θ_{j-a} - S 关系曲线

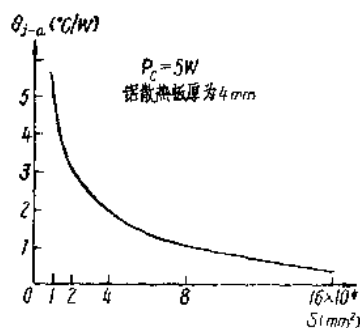
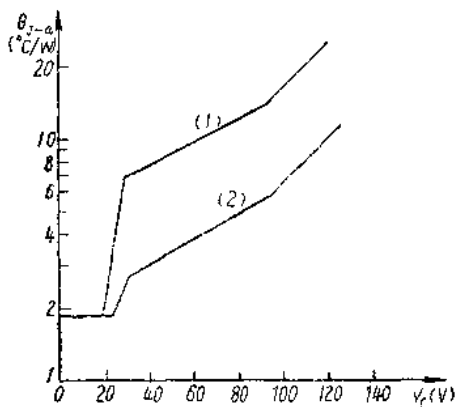


图 12 3AD30 θ_{j-a} - S 关系曲线

四、说 明

以上的测量方法,是把工作的晶体管发热区(主要是集电极区)看成一个均匀的发热面,所测得的热阻数据仅反映其平均值,况且图 3、图 6 的方法均以发射结作为测量的参考点,所以测得的数值又较集电结为标准的稍偏低。

从图 9~图 12 的曲线中可看出热阻并非为一常数,而晶体管手册所给出的热阻数据是在一定条件下得到的。自从平面管(包括外延平面管),特别是平面型大功率管出现以后,在使用中常常出现一些与热阻有关的问题,其中最显著的就是工作电压的增高,热阻要明显地增大(见图 9),这可以用结面的不均匀性来解释,由于高压电场在结面某一局部集中,引入过大的电流密度而造成这一局部的过度发热,其局部的热阻当然比平均热阻大许多,如果引起恶性循环,则管子极易烧坏!下面绘出用远红外线探测法测得的温度最高的点热阻和用 V_D 法测得的平均热阻与工作电压的关系曲线如图 13 所示。



曲线(1)用远红外线探测法测的最高一点的热阻
曲线(2)用 V_{BE} 法测的平均热阻

图 13

随着半导体材料和器件生产工艺的不断提高,平面型大功率管的局部过热现象必将得到很好的解决,因为这种现象与大功率管的二次击穿现象是相互有关连的。

工业技术资料 第56号

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海市日历印刷厂印刷

1971年2月第1版 1971年3月第2次印刷 定价0.02元