

晶体管特性图示仪原理与使用

(修订本)

梁 华 编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书主要叙述晶体管特性图示仪的原理、电路和测试使用方法。内容分两大部分，第一部分阐述图示仪的原理和电路；第二部分说明图示仪的测试方法和使用技巧，重点介绍JT-1型晶体管特性图示仪对晶体管、二极管、特种半导体管、数字和模拟集成电路等的测试方法。所述测试方法都经过实践试验，内容力求通俗实用，以便读者参考应用。

本书适合于从事电子技术的广大工人、工程技术人员、大专院校电子专业的师生以及业余无线电爱好者阅读参考。

晶体管特性图示仪原理与使用

(修订本)

梁 华 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1986年6月第一版
印张：12 页数：192 1986年6月河北第一次印刷
字数：272千字 插页：4 印数：1—11,000册

统一书号：15045·总2368—有5153

定价：2.20 元

修 订 版 前 言

《晶体管特性图示仪原理与使用》一书自1980年初版发行以来，受到广大读者的好评。晶体管特性图示仪是用示波管显示晶体管各种特性曲线，并可测量其静态参数的一种常用测试仪器。但是，如果把图示仪仅仅看作为晶体管与其他半导体管特性和参数的测试仪器，那就太狭窄了。本书将告诉读者，只要熟练掌握图示仪的原理和特点，那末它的应用将非常灵活多样。它不仅能够测试晶体管和多种半导体管的多种特性与参数，还可以测试数字集成电路和模拟集成电路的特性和参数，甚至可以用来进行复杂电路的特性测试与研究。因此，图示仪不仅是测试晶体管和其他半导体管特性的常用仪器，而且是显示、测试和研究各种器件和电路特性的有力工具。这就是本书编写的基本思想，也是作者的希望所在。

另一方面，一个器件乃至一个电路，通过对它的特性曲线的测试，就会对它感到亲切、易于理解，并能深入掌握；反过来，对器件或电路特性的全面了解，就能更为合理地应用它，充分地发挥它的作用。因此，作者认为利用图示仪来显示和测试器件或电路的特性，也是学习和研究器件或电路的一种行之有效的办法。对于初学者，尤其如此。

本书的内容分两大部分。第一部分叙述图示仪的原理和电路。熟悉了解图示仪的原理、电路组成和结构特点，对于正确地、能动地使用图示仪是十分必要的。第一部分共分四章。第一章叙述图示仪的基本原理；第二章介绍阶梯波电压产生的常

用方法；第三章分析目前广泛使用的JT-1型图示仪的基本电路；第四章则针对JT-1型图示仪存在的若干问题，介绍目前若干新型图示仪所采用的一些新技术，此外还介绍一些简易图示仪电路。

本书的第二部分阐述图示仪的测试方法与使用技巧，共分七章。以常用的JT-1型图示仪为例，说明如何应用图示仪对晶体管、二极管、特种半导体管、数字集成电路、模拟集成电路以及组合管和电路特性进行测试的方法。从中可以看出，图示仪具有显示直观、读测简便和使用灵活多样等特点，它是半导体器件的试制和应用、电子电路的分析和设计的一种有力工具。

本版主要对第一版的内容作了如下增订：补写了模拟集成电路的测试，增补了一些新型图示仪的介绍和电路（稳压器）特性的测试，增加了JT-1型图示仪的维修等内容。

书中所述的测试方法，作者都作过试验。但是应当指出这些方法并不是唯一的、呆板的，希望读者能举一反三，灵活应用，并有所创新。书中如有不当之处，恳请批评指正。

梁华 1984年7月于上海

目 录

第一部分 原理和电路

第一章 晶体管特性图示仪的原理	(1)
一、图示仪的基本原理	(1)
二、图示仪的基本方框图	(6)
第二章 阶梯波电压产生电路	(9)
第一节 泵式阶梯波电压产生电路	(9)
一、DD型泵式阶梯波电路	(9)
二、DT型泵式阶梯波电路	(19)
三、TT型泵式阶梯波电路	(22)
第二节 数模转换式(D/A)阶梯波电路	(24)
一、权电阻网络式的数模转换	(24)
二、T型网络式的数模转换	(27)
第三章 JT-1型晶体管特性图示仪及其电路分析	(33)
第一节 JT-1型图示仪的系统组成和技术性能	(33)
第二节 基极阶梯波电路	(36)
一、阻容移相器	(37)
二、脉冲形成电路	(39)
三、阶梯波电压产生电路	(41)
四、阶梯波放大电路	(44)
第三节 集电极扫描电源	(47)
一、集电极扫描电源的工作原理	(47)
二、容性电流的中和问题	(48)
第四节 显示电路	(50)
一、X轴和Y轴放大器	(50)

二、测试转换开关和X轴输入的设计问题	(53)
三、高频高压电源和示波管控制电路	(58)
第五节 主电源供给电路	(60)
第六节 JT-1型图示仪的调整	(61)
一、电源等的调整	(61)
二、Y轴作用的调整	(62)
三、X轴作用的调整	(63)
四、基极阶梯信号的调整	(64)
五、集电极扫描信号的调整	(65)
第四章 其他型式图示仪的电路介绍	(68)
第一节 JT-1型图示仪的改进	(68)
一、被测晶体管的功耗问题	(69)
二、基极的脉冲阶梯波和间歇三角波	(74)
三、容性电流的进一步讨论	(79)
第二节 一些新型图示仪介绍	(82)
一、QT-2型图示仪的特点	(82)
二、带微处理机的数字式图示仪	(84)
第三节 简易图示仪电路举例	(86)
一、晶体管简易图示仪电路	(87)
二、集成电路的简易图示仪	(93)

第二部分 使 用

第五章 晶体管的测试	(97)
第一节 JT-1型图示仪的使用	(97)
一、JT-1面板上的各开关旋钮的作用	(97)
二、JT-1型图示仪的操作方法	(105)
三、JT-1型图示仪使用时注意事项	(107)
第二节 晶体管正常工作的特性曲线及其测试	(109)
一、晶体管的特性及其参数	(109)
二、晶体管的测试方法	(116)

三、常见的晶体管特性不良的现象	(132)
第三节 晶体管反常工作的特性曲线及其测试	(136)
一、晶体管反常工作的特性	(136)
二、晶体管雪崩击穿特性的测试方法和应用举例	(141)
三、晶体管双向工作特性的测试方法	(150)
第六章 场效应晶体管的测试	(153)
第一节 场效应管的特性及其参数	(153)
第二节 场效应管的测试	(160)
一、场效应管的测试方法	(160)
二、常见的场效应管特性不良的现象	(171)
第七章 二极管和电阻的测试	(174)
第一节 二极管的测试	(174)
一、二极管的特性及其参数	(174)
二、二极管的测试方法	(176)
第二节 稳压管的测试	(179)
一、稳压管的特性及其参数	(179)
二、稳压管的测试方法	(182)
三、常见的稳压管特性不良的现象	(183)
四、氖管的测试	(185)
第三节 隧道二极管的测试	(187)
一、隧道二极管的特性及其参数	(187)
二、隧道二极管的测试方法	(189)
第四节 电阻的测试	(190)
第八章 特种半导体管的测试	(193)
第一节 单结晶体管的测试	(193)
一、单结晶体管的特性及其参数	(193)
二、单结晶体管的测试方法	(197)
第二节 可控硅的测试	(202)
一、可控硅的特性及其参数	(202)
二、可控硅的测试方法	(208)

第三节 光电耦合器的测试	(212)
一、光电耦合器的特性和应用举例	(212)
二、光电耦合器的测试方法	(218)
第九章 数字集成电路的测试	(222)
第一节 数字集成电路概述	(222)
第二节 TTL与非门电路的测试	(225)
一、TTL与非门电路的特性及其参数	(225)
二、TTL与非门电路的测试方法	(232)
三、HTL与非门电路的特性与测试	(241)
第三节 ECL集成门电路的测试	(245)
一、ECL集成电路的特性及其参数	(245)
二、ECL集成门电路的测试方法	(252)
第四节 MOS集成门电路的测试	(258)
一、MOS集成门电路的特性及其参数	(258)
二、MOS集成门电路的测试方法	(263)
第十章 模拟集成电路的测试	(270)
第一节 模拟集成电路概述	(270)
第二节 集成运算放大器的测试	(273)
一、集成运算放大器的特性及其参数	(273)
二、特性参数的测试原理	(280)
三、测试方法和测试结果讨论	(285)
四、测试和使用的注意事项	(296)
第三节 集成电压比较器的测试	(303)
一、集成电压比较器的特点	(303)
二、集成电压比较器的测试	(306)
第四节 集成稳压器的测试	(308)
一、集成稳压器的主要参数	(309)
二、集成稳压器的测试方法	(311)
第十一章 组合管和电路特性的测试	(317)
第一节 组合管特性的测试	(317)

一、晶体管达林顿型组合管的测试	(317)
二、晶体管恒流保护特性的测试	(319)
二、晶体管互补开关特性的测试	(320)
四、隧道二极管串接特性的测试	(322)
五、光电耦合器与晶体管组合的负阻电路的测试	(325)
第二节 电路特性的测试与研究	(326)
一、射极跟随器和OCL电路特性的测试	(327)
二、晶体管稳压器过流保护特性的测试	(335)
三、晶体管施密特电路滞后特性的测试	(343)
四、集成施密特电路特性的测试	(350)
附录一 JT-1型图示仪的电原理图和元件分布图	(354)
附录二 JT-1型图示仪的常见故障与维修	(357)
附录三 JT-3型图示仪的原理与使用	(365)

第一部分 原理和电路

第一章 晶体管特性图示仪的原理

晶体管特性图示仪是一种能直接显示晶体管各种特性曲线的测试仪器，通过仪器示波管上的标尺刻度可以直接读出被测晶体管的各项参数。

这种仪器不但能测试晶体管的特性，通过灵活运用，还能够显示和测量各种半导体管和集成电路等多种器件的特性和参数。因此，它的应用是很广泛的。与其他一般的半导体特性参数测试仪器相比，它具有显示直观、读测简便和便于灵活使用等显著的优点。

因此，熟悉它的原理、结构和运用的方法，可以做到多种应用。对于从事电子电路的工作者，在进行半导体管的试制、电子电路的设计和对器件的合理应用等工作时，能提供十分有利的条件。

一、图示仪的基本原理

为了说明晶体管特性图示仪的基本原理和组成，我们先看看不用图示仪时，测试晶体管特性的基本步骤是怎样的？以常用的NPN型晶体管为例，例如，要测定共发射极晶体管的输出特性，可以采用图1-1的基本电路，用逐点测试的方法描绘出

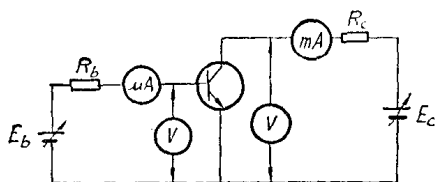


图 1-1

特性曲线。

因为输出特性是指在一一定的基极电流 I_b 时，晶体管集电极与发射极之间的电压 V_{ce} 同集电极电流 I_c 的关系，所以测试的步骤是：

先固定一个 I_b ，然后改变 E_c ，分别测得在不同的 V_{ce} 之下的 I_c 值。以 3DG6 晶体管为例：

第一步：令 $I_b = 0.02 \text{ mA}$ ，改变 E_c ，分别测得 V_{ce} 和 I_c 的一组数据，可画出一条曲线；

第二步：令 $I_b = 0.04 \text{ mA}$ ，改变 E_c ，又分别测得一组 V_{ce} 和 I_c 的数据，又可画出一条曲线；

第三步：令 $I_b = 0.06 \text{ mA}$ ，改变 E_c ，又分别测得一组 V_{ce} 和 I_c 的数据，又可画出一条曲线；

以此类推，对应于不同的 I_b （包括 $I_b = 0$ 的情况），就得出了图 1-2 所示的一组曲线，这就是共发射极晶体管的输出特性曲线，即 $(V_{ce} \sim I_c) \Big|_{I_b = \text{常数}}$ 。

从上述的测试步骤可以看出，如果要将这个特性曲线自动地显示在示波管的荧光屏上，这种仪器至少要能完成以下三个过程：

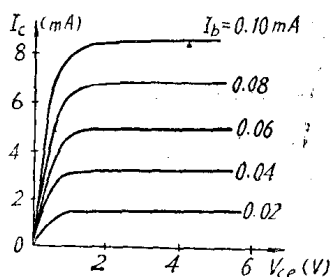


图 1-2

1. 提供对应于每一个测试步骤的基极注入电流 (I_b)。

解决这个问题的办法是对应于整个测试过程，有一个如图 1-3(a) 所示的基极阶梯电流。

2. 在每个固定的 I_b 数值时, 需要改变一次集电极的电源电压 E_c 。

解决的办法是可以利用图1-3 (b、c、d) 所示的锯齿波、三角波和正弦半波等方法来实现电压的变化, 这种变化的电压, 通常称为集电极扫描电压 (V_{ce})。

由于正弦半波可以从市电的整流很方便地取得, 所以大部分图示仪都是利用正弦半波作为集电极扫描电压。

3. 要能把 I_c 和 V_{ce} 的数据信息及时地取出, 送到示波管的荧光屏上去显示如图 1-4 所示。

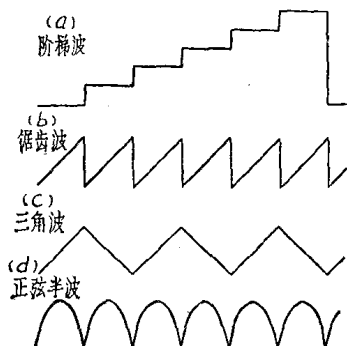


图 1-3

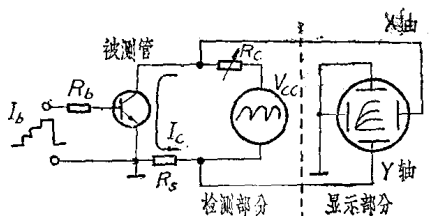


图 1-4

解决这个问题的办法是: 直接从晶体管的集电极和发射极之间取出 V_{ce} 。经过放大送到示波管的水平偏转板上, 就形成了特性曲线的横坐标; 至于纵坐标的 I_c , 因为示波管垂直偏转板上需要的也是电压, 所以可以在 I_c 回路中接入一个电阻 R_s (称为取样电阻), 利用 I_c 在这个电阻上的电压降 $V_s = I_c \cdot R_s$, 就可以取得正比于 I_c 的电压 V_s , 这个 V_s 就直接反映了 I_c 的变化。只要 R_s 取得小, 插入 R_s 是不会影响电路的测试结果的。

解决了以上三个问题, 就在原理上完成了直接显示晶体管特性曲线的要求。当然, 还有不少具体问题要讨论, 例如:

(一) 阶梯波的频率

阶梯波的频率不能太低，设集电极扫描电压 V_{ce} 的频率为 f_c ，由于对应于 V_{ce} 的一个周期出现一条曲线，所以如果我们要同时观察10条曲线的话，就要10级的基极阶梯波（起始电平也算一级），因而基极阶梯波的频率 $f_b = f_c / 10$ 。如果阶梯波频率太低，亦即阶梯波的周期 T_b 很大，若大于示波管荧光屏的余辉时间，将造成被显示的特性曲线严重闪烁而影响观察。对于中余辉的示波管（例如13SJ38J），要得到比较稳定的图象显示，阶梯波最低频率约为20赫，故集电极扫描频率 $f_c = 200$ 赫。因此，集电极扫描电压如果从市电的50赫经全波整流取得，也不过是100赫，所以对中余辉示波管还会有些闪烁现象。为此往往采用100赫的正弦半波的前后两半，分别扫描阶梯波的两极，来提高阶梯波频率的方法，改善闪烁现象。其波形参见下面的图1-5(c)所示。另外，阶梯波的频率也不宜取得太高。虽然这可得到稳定的图象显示，但是集电极扫描频率也相应增大，对于测试大功率管（电流可达几十安培或更大）和高反压管。这时集电极扫描电压发生器必须提供很大的功率和速率，这给扫描电路带来困难，而且也不经济。因此，国内外大多数图示仪产品都采用50Hz市电的全波整流来作为集电极扫描电压（虽然有点闪烁）。

(二) 阶梯波电流与集电极扫描电压的同步

为了稳定图象，基极的阶梯波电流与集电极扫描电压必须要保持同步。同步方式可以采用图1-5所示的三种情况，它们所显示出的特性曲线画在各自的下面，注意它们在特性曲线右边（相当于负载线）的区别。图1-5(a)和(b)的扫描频率与阶

梯波的每阶是同步的，只是集电极扫描电压和阶梯波的相位差不同，前者相位差为 0° ，后者为 90° 。因此在图示仪上，通常把图1-5(a)和(b)的同步方式分别称为上100级/秒(0°)和下100级/秒(90°)。图1-5(c)是将阶梯波的频率增加一倍的同步方式，称为200级/秒。

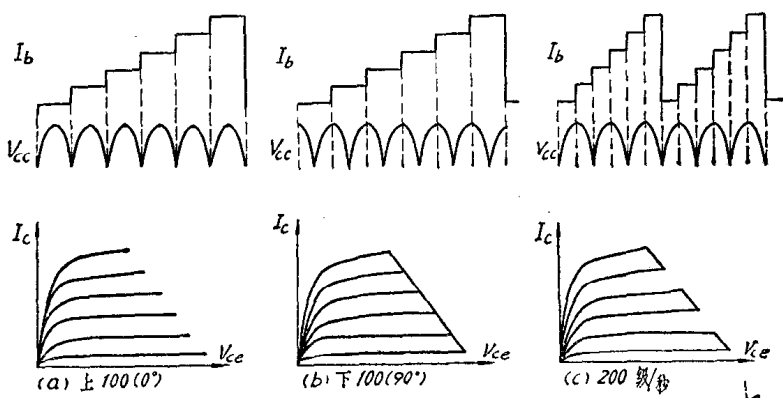


图 1-5

如果集电极扫描电压与基极阶梯波不同步（即起始点不对准），会导致被显示的特性曲线变形，图1-6画出有少量超前和落后的两种不同步的现象。

以上我们讨论了晶体管共发射极接法的输出特性。如果要测量和显示输入特性曲线（ $I_b \sim V_{be}$ ），则如图1-7所示，相应从图中③和④取出 V_{be} 和 I_b ， I_b 的取出如同前述的 I_c 的取出一样，插入取样电阻 r_s 。如果我们要测其他特性曲线（例如 $I_c \sim I_b$ 的特性），只要把图1-7中相应的参量（即①和④）取出并分别送到示波管的X轴和Y轴系统中去即可。共发射极晶体管的各种特性曲线不外乎是在 I_c 、 V_{ce} 、 I_b 和 V_{be} 四种参量中取其二种的组合，这些不同组合可通过测试转换开关实现。而且，晶体

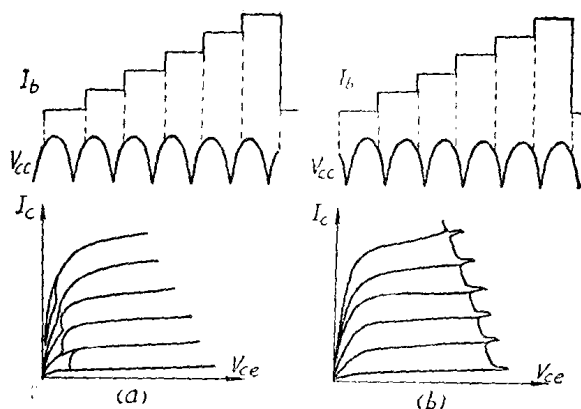


图 1-6

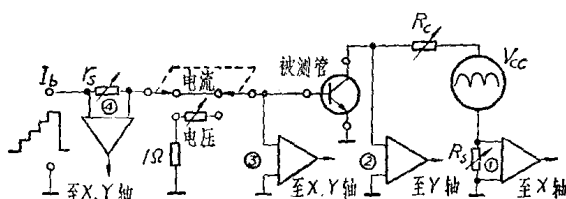


图 1-7

管还有共基极接法等，这也可用测试转换开关的转换来完成。此外，图 1-7 中的阶梯选择开关处的1欧姆电阻，它把基极阶梯电流转变为阶梯电压，用于需要测输入阶梯电压的某些被测管（如场效应晶体管）中。

二、图示仪的基本方框图

由上述的原理说明可以看出，晶体管特性图示仪的基本组成部分如图1-8所示，它应包括：

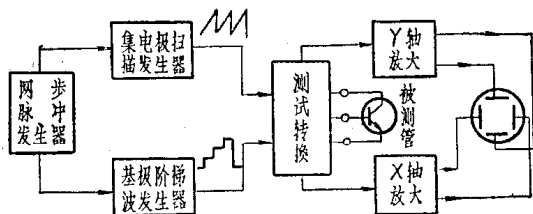


图 1-8

(1) 基极阶梯信号发生器，以提供必需的基极注入电流。

(2) 集电极扫描电压发生器，以提供从零开始可变的集电极电源电压。

(3) 同步脉冲发生器，用来使基极阶梯信号和集电极扫描电压保持同步，以正确而稳定地显示特性曲线。

(4) 测试转换开关，用以转换测试不同接法和不同类型的晶体管的特性曲线和参数的开关。

(5) 放大和显示电路，用以显示被测管的特性曲线。它的作用原理和电路形式与普通示波器基本相同，所以也可以用普通示波器代替。

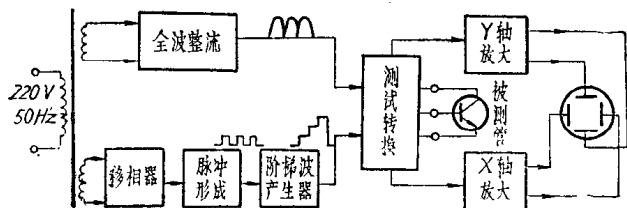


图 1-9

(6) 电源（图中未画出），为各部分电路提供电源电压。

应该指出，由于大多数图示仪的集电极扫描电压直接由市电全波整流取得，所以图 1-8 中的同步脉冲发生器可以由 50 赫

的市电代替，于是变成了图 1-9所示的结构。至于基极阶梯信号和集电极扫描电压之间的某些相位差，可以由移相器产生的相移得到补偿和调整。在国内外的图示仪产品中，多数采用图 1-9的结构形式，而图 1-8的结构则往往用于自制的简易图示仪。