

【电子科技大学国家级实验教学示范中心系列教材】

电子技术应用实验教程（一）

电子技术应用实验教程

Dianzi Jishu Yingyong Shiyān Jiāochéng Jīchūpiān 基础篇

主 编 陈 英
副主编 陈 瑜 李 雷 肖 西



电子科技大学出版社

【电子科技大学国家级实验教学示范中心系列教材】

电子技术应用实验教程（一）

电子技术应用实验教程

Dianzi Jishu Yingyong Shiyan Jiaocheng Jichupian 基础篇

主 编 陈 英
副主编 陈 瑜 李 雷 肖 西



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术应用实验教程 基础篇 / 陈英主编. —成都:

电子科技大学出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-5647-0799-6

I. ①电… II. ①陈… III. ①电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 050390 号

内 容 提 要

本教程是电子科技大学国家级实验教学示范中心的系列教程之一。以数字电路、模拟电路为理论知识背景, 以典型的数字、模拟常用电路为实验对象, 针对已掌握了电子技术的基本理论知识, 但对理论的应用方面需进一步加强学习和实践的学生, 使其通过本课程的学习, 逐步提高设计能力和独立思考能力。

全书分为 4 章, 21 个实验项目, 其中常规实验项目 13 个, 基于 Verilog 语言的数字电路实验项目 8 个, 适用于不同专业、不同层次学生的实验教学。其内容安排如下: 第 1 章实验基础知识、第 2 章常用电子测量仪器、第 3 章电子技术应用基础实验、第 4 章电子技术应用 EDA 实验。

本书适合作为高等院校本科生的实验教材, 也可作为电子技术应用爱好者的参考用书。

电子技术应用实验教程 基础篇

主 编 陈 英

副主编 陈 瑜 李 雷 肖 西

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 罗 雅

责任编辑: 罗 雅

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮件: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 成都蜀通印务有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 10 字数 260 千字

版 次: 2011 年 4 月第一版

印 次: 2011 年 4 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-0799-6

定 价: 23.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

21 世纪的人才培养对理工科高等院校提出了更高更新的要求。树立以学生为本，以知识传授、能力培养、素质提高协调发展的教育理念越来越受到重视，构建以学生能力培养为核心，旨在加强学生实践能力和创新能力的工程实践，促进学生的知识、能力、素质综合协调发展的实验教学体系更是显得尤为重要。

电子科技大学电子工程学院电子实验中心作为国家级实验教学示范中心，其实验教学定位为电子信息类专业学生工程训练培养及创新能力培养的重要基地。电子实验中心针对理工科高等院校电子实验教学的特点，构建了“基础型、应用型、综合型、设计型、创新型”的分层次、循序渐进的实验教学体系，保证了实验教学分级分层，从基础到应用和综合，再到设计与创新的全过程。

《电子技术应用实验教程（一）——电子技术应用实验教程基础篇》是在重新修订基础型、应用型和综合型实验教学大纲、补充完善实验项目、改建传统实验室的基础上编写而成。本教程作为电子科技大学国家级实验教学示范中心的系列教程之一，在电子技术实验系列中承上启下，以电子技术应用基础实验为基础，通过对典型电路的应用及设计，将学生引入电子技术应用综合实验，进一步培养学生的实验技能和动手动脑能力。

本教材以数字电路、模拟电路为理论知识背景，以典型的数字、模拟常用电路为实验对象，在实验中既重视学生“应知应会”的基础实验，更强调综合性、设计性、开放性实验教学，加强学生工程训练和设计能力培养。教材针对已掌握了电子技术的基本理论知识，但对理论的应用方面需进一步加强学习和实践的学生，使其通过本课程的学习，逐步提高设计能力和独立思考能力。本书适合作为高等院校本科生的实验教材，也可作为电子技术应用爱好者的参考用书。

本书的编写特点如下：

1. 基础实验部分采用在实验中加“问题驱动”的编写方法。正确回答实验中的问题，对于学生理解实验目的和总结实验结论大有帮助，也能够更好地激发学生的实验兴趣。
2. 本教材在每个实验的基础性实验中增加了“实验中的常见问题及解决办法”，逐步引导学生掌握正确的实验技能和分析问题、解决问题的方法。
3. 教材对于设计性实验提出了若干实验任务，在基础实验的带动下，学生可通过自己独立思考来完成设计，对完成任务有困难的同学也给出了参考方案。

本书突出实验教程的特点，以实验为主线，共分为 4 章，以适应不同专业，不同层次学生的实验教学要求。其内容安排如下：

第 1 章 实验基础知识，列出了一些与本书相关的实验技能知识及理论知识。

第 2 章 常用电子测量仪器，介绍了数字示波器、信号源、数字逻辑箱等常用仪器的使用方法及使用注意事项。

第 3 章 电子技术应用基础实验，内容包括基本门电路、常用中规模组合逻辑电路、常

用中规模时序逻辑电路、运算放大器电路以及 555 常用电路等实验。

第 4 章 电子技术应用 EDA 实验, 本教材基于 Quartus II 介绍数字逻辑设计的基本 EDA 方法, 设置了多个实验任务, 考虑到本教材读者不同层次的需求, 对实验任务给出了一定的提示。

电子技术应用实验室负责应用层的实验教学, 开设电子技术应用实验等课程。实验室通过团队协作, 加强课程建设和实验室建设, 教学团队开展经常性的教学研讨和教学观摩, 交流教学经验、探讨教学中的问题和不足, 共享教学资源。

本书第 1 章、第 3 章 3.8 节、第 4 章由陈瑜编写; 第 3 章 3.2、3.4、3.5 节由李雷编写; 第 3 章 3.12、3.13 节由肖西编写; 第 2 章、第 3 章 3.1、3.3、3.6、3.7、3.9、3.10、3.11 节由陈英编写; 全书由陈英统稿。感谢毛瑞明老师为本书的实验设备制作做出的大量工作以及孙可伟老师为本书提供的图片及照片。感谢全体电子技术应用实验室教师在实验开发及教材编写中所做出的努力。感谢关心本书出版的领导和电子科技大学出版社的大力支持。

由于水平有限, 我们编写的教材难免有错误和问题, 恳请广大读者指正。

编 者
2011 年 3 月

目 录

第 1 章 电子技术应用实验基础知识.....	1
1.1 集成电路外引线的识别.....	1
1.2 电路接地的概念.....	1
1.3 关于仪器的阻抗及阻抗匹配.....	2
1.4 常用元器件的检测方法.....	4
1.5 数字电路中逻辑信号的高低电平范围.....	7
1.6 示波器探头的工作原理与使用方法.....	8
1.7 数字示波器测量的一些问题.....	9
第 2 章 常用实验仪器简介.....	11
2.1 数字示波器.....	11
2.1.1 优利德 2000 系列示波器.....	11
2.1.2 普源 DS1000 系列示波器.....	24
2.2 EE1641B 系列函数信号发生器/计数器.....	38
2.3 EEC-1 型数字逻辑箱.....	40
2.4 YB1731 系列稳压源.....	43
第 3 章 电子技术应用基础实验.....	44
3.1 实验一 数字电路实验仪器使用与测试方法研究.....	44
3.2 实验二 常用数字逻辑门电路的研究.....	47
3.2.1 基础实验.....	47
3.2.2 设计性实验.....	51
3.3 实验三 常用数字逻辑门输入输出特性测试.....	53
3.3.1 基础实验.....	53
3.3.2 设计性实验.....	58
3.4 实验四 编码器与显示译码器的应用.....	60
3.4.1 基础实验.....	60
3.4.2 设计性实验.....	65
3.5 实验五 数据选择器及二进制译码器的应用.....	67
3.5.1 基础实验.....	67
3.5.2 设计性实验.....	74
3.6 实验六 基本 RS 和 D 触发器的应用.....	77
3.6.1 基础实验.....	77
3.6.2 设计性实验.....	81

3.7 实验七 JK 和 T 触发器的应用	83
3.7.1 基础实验.....	83
3.7.2 设计性实验.....	86
3.8 实验八 同步计数器及其应用.....	88
3.8.1 基础实验.....	88
3.8.2 设计性实验.....	94
3.9 实验九 移位寄存器及其应用.....	96
3.9.1 基础实验.....	96
3.9.2 设计性实验.....	102
3.10 实验十 集成运算放大器的特性研究.....	104
3.10.1 基础实验.....	104
3.10.2 设计性实验.....	111
3.11 实验十一 集成运放波形产生电路.....	113
3.11.1 基础实验.....	113
3.11.2 设计性实验.....	118
3.12 实验十二 555 定时器的基本应用（一）	119
3.12.1 基础实验.....	119
3.12.2 设计性实验.....	124
3.13 实验十三 555 定时器的基本应用（二）	127
3.13.1 基础实验.....	127
3.13.2 设计性实验.....	131
第 4 章 电子技术应用 EDA 实验.....	134
4.1 EDA 软件简介	134
4.2 Verilog HDL 语言简介	138
4.3 基于 Verilog 语言的数字电路实验.....	143
附录 1 常用逻辑符号对照表	147
附录 2 标准实验报告模板	148
附录 3 实验报告评分标准	150
参考文献.....	152

第 1 章 电子技术应用实验基础知识

1.1 集成电路外引线的识别

集成电路是现代电子线路的重要组成部分，集成电路按工艺，可分为半导体集成电路、薄膜集成电路和由二者组成的混合集成电路。按功能，可分为模拟集成电路和数字集成电路。按集成度，可分为小规模集成电路、中规模集成电路、大规模集成电路以及超大规模集成电路等。按外形，可分为圆形、扁平形和双列直插形。

使用集成电路前，应认真阅读器件的相关资料，了解各个引脚的功能及分布，避免因接错而损坏器件。扁平型和双列直插型集成电路引脚排列的一般规律是：

将器件的文字符号标记正放，由顶部俯视，从左下脚起，按逆时针方向数，依次为 1, 2, 3, 4, 5 等，如图 1.1.1 所示。

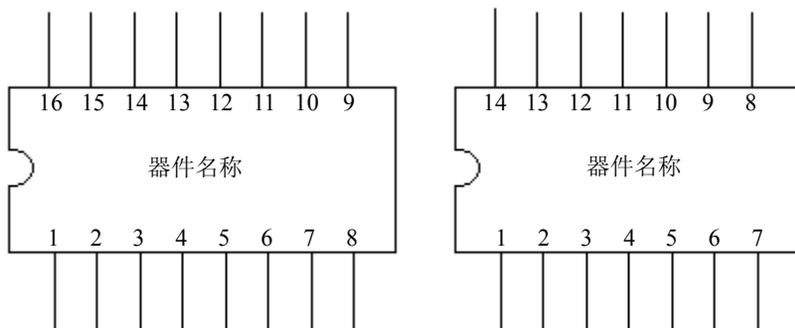


图 1.1.1 16 脚及 14 脚集成电路引脚排列

以上外引线的识别方法针对大多数集成电路，实际使用时最好仔细查看器件手册，以免用错。

1.2 电路接地的概念

电子线路图中总是有许多接地符号，在实验中正确理解接地的概念是很重要的。接地有以下几种含义：

(1) 电子仪器的外壳接地接的是大地，这是保护性接地，这一接地措施可以使仪器的外壳与大地等电位，从而避免了因仪器漏电而使外壳带电造成的触电危险。

(2) 电子电路图中的接地，对电路而言是一个共用参考点，电路中其他各点电压的高低都是以这一参考点为基准的，电路图中所标出的各点电压数据都是相对于地端的大小。接地符号是一种电路连线的省略画法，表示接地点与电源的正极或负极相连，这一接地与仪器外壳保护性接地概念不同。

(3) 相同接地点之间的连线称为地线。

(4) 采用正极性供电的电路图中，接地点是电源的负极，电路中所有与电源负极相连的元器件、线路都可以用同一个接地符号来表示，这样同一个电路图中相同符号接地点之间是相通的，这一接地就是共用参考点。采用这种方法后，可以减少电路图中的连线，从而可以方便电路的分析。

(5) 采用负极性供电的电路图中，接地点是电源的正极，电路中所有与电源正极相连的元器件、线路都可以用同一个接地符号来表示，这一接地也是共用参考点。一般电路中采用正极性电源供电的情况比较多。

(6) 一般情况下，一张电路图中只有一种接地符号，此时所有的接地点是相连的。在少量的电路图中会出现两种不同的接地符号，此时表示这种电路中存在两个彼此独立的直流电源供电系统（相互之间没有共用参考点），这时两种接地点之间是高度绝缘的，操作中不能将这两个地线接通，否则将烧坏有关电路。在彩色电视机电路中就存在这种两种地线的情况，要高度重视。

(7) 电路中某一个元器件与地线之间开路了，这意味着该元器件已不能构成电流回路，该元器件不能正常工作。

接地符号的使用并没有严格地规定；尤其当他们被提及或在文件中出现时特别会混淆。常用的接地符号为，三条向下递减的水平线，这样让人知道是代表地面的意思。

一条水平线加上三条向下延伸的斜线代表大地或机箱的接地。三条向下递减的水平线代表模拟地或者电路地。中空的三角形通常表示数字接地，但是也常被用作参考接地。一个符号或是数字摆在三角形中间的话，可能用来表示与其他参考点共地。

1.3 关于仪器的阻抗及阻抗匹配

一、仪器的阻抗

作为信号源一类的仪器，其输出阻抗都是很低的，通信系列的仪器（例如高频信号发生器）典型值是 50Ω ，电视系列的仪器典型值是 75Ω （例如扫频仪的扫频输出端或电视信号发生器的射频输出端）。虽然有的低频信号发生器也有几百欧姆输出阻抗的输出端子，但是作为电压输出的端子，其输出阻抗一般不会超过 $1k\Omega$ （低频信号发生器的功率输出端子除外）。之所以信号源的输出阻抗一般都做得很低，是因为信号源是产生信号的。在测量过程中，它是要将自己的信号耦合到被测电路上的，如果信号源的阻抗做得很低，就很容易将信号源产生的信号耦合到输入阻抗较高的被测电路上。另外，对于高频测量，由于通信设备和电视设备一般射频输入端的阻抗是 50Ω 和 75Ω ，故而将仪器的输出阻抗设定在 50Ω 和 75Ω ，在测量过程中，就可以满足所要求的阻抗匹配。

一般在低频测量中，并不非要阻抗匹配不可。大多数情况是被测电路的输入阻抗比信号源的输出阻抗大得多，对信号源而言，往往可等效为开路输出（即空载）。而在高频情况下，一般是非要阻抗匹配不可；否则由于反射波的影响，会造成耦合到被测电路上的信号幅度与馈线的长短有关，从而会造成耦合到被测电路输入端的信号幅度与信号源上的指示值不同，这就造成测量结果的不正确。当测量频率上升到几十兆乃至上百兆时，这种影响就会变得

显著。

例如：对于扫频仪，当进行“零分贝校正”时，如果阻抗不匹配，则在频率较低的频段，屏幕上的扫描线是直的（不是指基线），但是在较高频率的频段，扫描线就会变得起伏不平。这尤其对于宽频带测量，就会带来较大的误差。作为电压表（例如晶体管毫伏表）或示波器一类的从被测电路上取得信号来测量的仪器，一般的输入阻抗都较高，典型值为 $1\text{M}\Omega$ ，有的（例如示波器）还标有输入电容（例如 25pF ）。之所以它们阻抗要做得较高，是因为这样可以使得它们对被测电路的影响较小。但是，当被测电路的输出阻抗大到与它们的输入阻抗相比拟时，则仪器的输入阻抗对被测电路的影响就变得显著了，这时测量结果往往不准确了（这一点往往容易被初学者所忽略）。

对于仪器的输入电容来说，在低频情况下对测量没有什么大的影响。但是在高频情况下，有时就得小心。例如用示波器直接测量一个没有经过缓冲的振荡器，由于示波器输入端的电容直接并联在被测振荡器上，就会对振荡器的工作有影响，所得到的测量结果也就不准确。

低频信号发生器的输出阻抗多为 50Ω ，其输出幅度显示常见的有两种形式，高阻输出显示和 50Ω 匹配输出显示。例如信号源采用 50Ω 匹配输出显示，输出显示为 $1V_{\text{p-p}}$ 时，在信号源输出端并接 50Ω 电阻时用示波器测输出幅值为 $1V_{\text{p-p}}$ ，但当输出端不并接 50Ω 电阻而直接用示波器测量时为 $2V_{\text{p-p}}$ 。又如信号源采用高阻输出显示，输出显示为 $1V_{\text{p-p}}$ 时，在信号源输出端并接 50Ω 电阻时用示波器测输出幅值为 $0.5V_{\text{p-p}}$ ，而由于示波器输入阻抗相对于信号源 50Ω 输出阻抗而言是高阻，所以当输出端不并接 50Ω 电阻而直接用示波器测量时为 $1V_{\text{p-p}}$ 。

二、阻抗匹配

信号源耦合到被测电路上的信号幅度在匹配和非匹配状态下是不同的，仪器面板上所指示的输出幅度一般要么是空载输出的幅度，要么是匹配输出的幅度，这可通过仪器使用说明或通过实测来确定。如果被测电路的输入阻抗不是比信号源输出阻抗大得多，也不与信号源的输出阻抗相匹配，则不可以通过信号源的面板指示来确定耦合到被测电路上的信号幅度，而要通过实测确定。

实际的电压源总是有内阻的，如图 1.3.1 所示。我们可以把一个实际电压源，等效成一个理想的电压源跟一个电阻 r 串联的模型。图 1.3.1 中 R 为负载电阻， r 为电源 E 的内阻， E 为电压源。由于 r 的存在，当 R 很大时，电路接近开路状态；而当 R 很少时接近短路状态。显然负载在开路及短路状态都不能获得最大功率。所以，当负载电阻等于电源内阻时，负载将获得最大功率。这就是电子电路阻抗匹配的基本原理。

当阻抗不匹配时，有哪些办法让它匹配呢？第一，可以考虑使用变压器来做阻抗转换；第二，可以考虑使用串联/并联电容或电感的办法，这在调试射频电路时常使用；第三，可以考虑使用串联/并联电阻的办法。一些驱动器的阻抗比较低，可以串联一个合适的电阻来跟传输线匹配，例如高速信号线，有时会串联一个几十欧的电阻。而一些接收器的输入阻抗则比较高，可以使用并联电阻的方法，来跟传输线匹配。

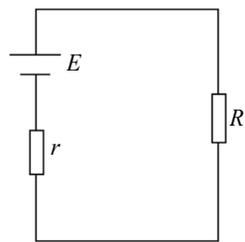


图 1.3.1 电压源的等效电路

1.4 常用元器件的检测方法

元器件的检测是实验过程中的一项基本功,如何准确有效地检测元器件的相关参数,判断元器件是否正常,必须根据不同的元器件采用不同的方法,从而判断元器件的正常与否。以下对常用电子元器件的检测方法进行介绍并提供参考。

一、电阻器的检测方法

(1) 固定电阻器的检测。将两表笔(不分正负)分别与电阻的两端引脚相接即可测出实际电阻值。为了提高测量精度,应根据被测电阻标称值的大小来选择量程。

注意:测量电阻阻值应该将电阻与其他电路断开。

(2) 电位器的检测。检查电位器时,首先要转动旋柄,看看旋柄转动是否平滑,开关是否灵活,开关通、断时“喀哒”声是否清脆,并听一听电位器内部接触点和电阻体摩擦的声音,如有“沙沙”声,说明质量不好。用万用表测试时,先根据被测电位器阻值的大小,选择好万用表的合适电阻挡位。

二、电容器的检测方法 with 经验

1. 固定电容器的检测

(1) 检测 10pF 以下的小电容:

因 10pF 以下的固定电容器容量太小,用万用表进行测量,只能定性地检查其是否有漏电、内部短路或击穿现象。测量时,可选用万用表的 $R \times 10k$ 挡,用两表笔分别任意接电容的两个引脚,阻值应为无穷大。若测出阻值(指针向右摆动)为零,则说明电容漏电损坏或内部击穿。

(2) 检测 10pF~0.01 μ F 固定电容器是否有充电现象,进而判断其好坏。万用表选用 $R \times 1k$ 挡。两只三极管的 β 值均为 100 以上,且穿透电流要小。可选用 3DG6 等型号硅三极管组成复合管。万用表的红和黑表笔分别与复合管的发射极 e 和集电极 c 相接。由于复合三极管的放大作用,把被测电容的充放电过程予以放大,使万用表指针摆幅度加大,从而便于观察。

注意:在测试操作时,特别是在测较小容量的电容时,要反复调换被测电容引脚接触 A、B 两点,才能明显地看到万用表指针的摆动。

(3) 对于 0.01 μ F 以上的固定电容,可用万用表的 $R \times 10k$ 挡直接测试电容器有无充电过程以及有无内部短路或漏电现象,并可根据指针向右摆动的幅度大小估计出电容器的容量。

2. 电解电容器的检测

(1) 因为电解电容的容量较一般固定电容大得多,所以,测量时,应针对不同容量选用合适的量程。根据经验,一般情况下,1~47 μ F 间的电容,可用 $R \times 1k$ 挡测量,大于 47 μ F 的电容可用 $R \times 100$ 挡测量。

(2) 将万用表红表笔接负极,黑表笔接正极,在刚接触的瞬间,万用表指针即向右偏转较大偏度(对于同一电阻挡,容量越大,摆幅越大),接着逐渐向左回转,直到停在某一位置。此时的阻值便是电解电容的正向漏电阻,此值略大于反向漏电阻。实际使用经验表明,电解电容的漏电阻一般应在几百千欧以上,否则,将不能正常工作。在测试中,若正向、反向均无充电的现象,即表针不动,则说明容量消失或内部断路;如果所测阻值很小或为零,说明电容漏电大或已击穿损坏,不能再使用。

(3) 对于正、负极标志不明的电解电容器,可利用上述测量漏电阻的方法加以判别。即先任意测一下漏电阻,记住其大小,然后交换表笔再测出一个阻值。两次测量中阻值大的那一次便是正向接法,即黑表笔接的是正极,红表笔接的是负极。

(4) 使用万用表电阻挡,采用给电解电容进行正、反向充电的方法,根据指针向右摆动幅度的大小,可估测出电解电容的容量。

三、二极管的检测方法与经验

1. 检测小功率晶体二极管

(1) 判别正、负电极。

1) 观察外壳上的符号标记。通常在二极管的外壳上标有二极管的符号,带有三角形箭头的一端为正极,另一端是负极。

2) 观察外壳上的色点。在点接触二极管的外壳上,通常标有极性色点(白色或红色)。一般标有色点的一端即为正极。还有的二极管上标有色环,带色环的一端则为负极。

3) 以阻值较小的一次测量为准,黑表笔所接的一端为正极,红表笔所接的一端则为负极。

(2) 检测最高工作频率 f_M 。晶体二极管工作频率,除了可从有关特性表中查阅出外,实用中常常用眼睛观察二极管内部的触丝来加以区分,如点接触型二极管属于高频管,面接触型二极管多为低频管。另外,也可以用万用表 $R \times 1k$ 挡进行测试,一般正向电阻小于 $1k\Omega$ 的多为高频管。

(3) 检测最高反向击穿电压 V_{RM} 。对于交流电来说,因为不断变化,因此最高反向工作电压也就是二极管承受的交流峰值电压。需要指出的是,最高反向工作电压并不是二极管的击穿电压。一般情况下,二极管的击穿电压要比最高反向工作电压高得多(约高一倍)。

2. 变容二极管的检测

将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,无论红、黑表笔怎样对调测量,变容二极管的两引脚间的电阻值均应为无穷大。如果在测量中,发现万用表指针向右有轻微摆动或阻值为零,说明被测变容二极管有漏电故障或已经击穿损坏。对于变容二极管容量消失或内部的开路性故障,用万用表是无法检测判别的。必要时,可用替换法进行检查判断。

3. 单色发光二极管的检测

在万用表外部附接一节 1.5V 干电池,将万用表置 $R \times 10$ 或 $R \times 100$ 挡。这种接法就相当于给万用表串接上了 1.5V 电压,使检测电压增加至 3V(发光二极管的开启电压为 2V)。检测时,用万用表两表笔轮换接触发光二极管的两管脚。若管子性能良好,必定有一次能正常发光,此时,黑表笔所接的为正极,红表笔所接的为负极。

四、三极管的检测方法

1. 中、小功率三极管的检测

(1) 已知型号和管脚排列的三极管,可按下述方法来判断其性能好坏。

1) 测量极间电阻。将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡,按照红、黑表笔的六种不同接法进行测试。其中,发射结和集电结的正向电阻值比较低,其他四种接法测得的电阻值都很高,约为几百千欧至无穷大。但不管是低阻还是高阻,硅材料三极管的极间电阻要比锗材料三极管的极间电阻大得多。

2) 三极管的穿透电流 I_{CE0} 的数值近似等于管子的倍数 β 和集电结的反向电流 I_{CB0} 的乘积。 I_{CB0} 随着环境温度的升高而增长很快, I_{CB0} 的增加必然造成 I_{CE0} 的增大。而 I_{CE0} 的增大将直接影响管子工作的稳定性, 所以在使用中应尽量选用 I_{CE0} 小的管子。

通过用万用表电阻直接测量三极管 e-c 极之间的电阻方法, 可间接估计 I_{CE0} 的大小, 具体方法如下:

万用表电阻的量程一般选用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡, 对于 PNP 管, 黑表笔接 e 极, 红表笔接 c 极, 对于 NPN 型三极管, 黑表笔接 c 极, 红表笔接 e 极。要求测得的电阻越大越好。e-c 间的阻值越大, 说明管子的 I_{CE0} 越小; 反之, 所测阻值越小, 说明被测管的 I_{CE0} 越大。一般说来, 中、小功率硅管、锗材料低频管, 其阻值应分别在几百千欧、几十千欧及十几千欧以上, 如果阻值很小或测试时万用表指针来回晃动, 则表明 I_{CE0} 很大, 管子的性能不稳定。

3) 测量放大能力 (β)。目前有些型号的万用表具有测量三极管 h_{FE} 的刻度线及其测试插座, 可以很方便地测量三极管的放大倍数。先将万用表功能开关拨至 h_{FE} 挡, 量程开关拨到 ADJ 位置, 把红、黑表笔短接, 调整调零旋钮, 使万用表指针指示为零, 然后将量程开关拨到 h_{FE} 位置, 并使两短接的表笔分开, 把被测三极管插入测试插座, 即可从 h_{FE} 刻度线上读出管子的放大倍数。

另外, 有此型号的中、小功率三极管, 生产厂家直接在其管壳顶部标示出不同色点来表明管子的放大倍数 β 值, 但要注意各厂家所用色标并不一定完全相同。

2. 检测判别电极

(1) 判定基极。用万用表 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡测量三极管三个电极中每两个极之间的正、反向电阻值。当用第一根表笔接某一电极, 而第二表笔先后接触另外两个电极均测得低阻值时, 则第一根表笔所接的那个电极即为基极 b。这时, 要注意万用表表笔的极性, 如果红表笔接的是基极 b。黑表笔分别接在其他两极时, 测得的阻值都较小, 则可判定被测三极管为 PNP 型管; 如果黑表笔接的是基极 b, 红表笔分别接触其他两极时, 测得的阻值较小, 则被测三极管为 NPN 型管。

(2) 判定集电极 c 和发射极 e。(以 PNP 为例) 将万用表置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 挡, 红表笔接基极 b, 用黑表笔分别接触另外两个管脚时, 所测得的两个电阻值会是一个大一些, 一个小一些。在阻值小的一次测量中, 黑表笔所接管脚为集电极; 在阻值较大的一次测量中, 黑表笔所接管脚为发射极。

3. 判别高频管与低频管

高频管的截止频率大于 3MHz, 而低频管的截止频率则小于 3MHz, 一般情况下, 二者是不能互换的。

4. 在路电压检测判断法

在实际应用中, 小功率三极管多直接焊接在印刷电路板上, 由于元件的安装密度大, 拆卸比较麻烦, 所以在检测时常常通过用万用表直流电压挡, 去测量被测三极管各引脚的电压值, 来推断其工作是否正常, 进而判断其好坏。

5. 大功率晶体三极管的检测

利用万用表检测中、小功率三极管的极性、管型及性能的各种方法, 对检测大功率三极管来说基本上适用。但是, 由于大功率三极管的工作电流比较大, 因而其 PN 结的面积也较大。PN 结较大, 其反向饱和电流也必然增大。所以, 若像测量中、小功率三极管极间电阻

那样,使用万用表的 $R \times 1k$ 挡测量,必然测得的电阻值很小,好像极间短路一样,所以通常使用 $R \times 10$ 或 $R \times 1$ 挡检测大功率三极管。

1.5 数字电路中逻辑信号的高低电平范围

我们知道,0 和 1 是数字世界的两个基本元素,在数字电路中它们由特定范围的高低电平来表示。数字电路发展的早期,绝大多数数字器件都采用 TTL 和 CMOS 数字逻辑标准。近几年,在功耗低、体积小的便携式设备(蜂窝电话、PDA、笔记本电脑、数码相机等)和高速通信设备应用需求驱动下,产生了许多针对不同应用的低压、高速的数字逻辑标准,例如 LVTTTL、LVCMOS、HSTL、SSTL、LVPECL 等。在现代数字电路设计中,往往需要在同一系统中采用许多不同逻辑标准的器件。

首先了解一下数字逻辑信号的几个重要专业术语。

一、门限电压 (V_{TH})

顾名思义, V_{TH} 为逻辑状态高或低转换的门限电压,在逻辑器件中,当信号电压高于 V_{TH} 为逻辑高,反之则为逻辑低,通常 CMOS 电路 V_{TH} 为电源电压的 1/2。

二、输出高电平 (V_{OH}) 和输出低电平 (V_{OL})

确切地说 V_{OH} 应该为逻辑器件输出高电平的下限, V_{OL} 为输出低电平的上线。通常在 V_{OH} 和 V_{OL} 之间有一个电压缓冲区,这样在实际电路中输出逻辑信号叠加噪声后,就不会导致对逻辑状态的错误判断。

三、输入高电平 (V_{IH}) 和输入低电平 (V_{IL})

V_{IH} 为输入高电平的上线, V_{IL} 为输入低电平的上线。在许多数字系统中,前一个逻辑器件的输出就是后一个逻辑器件的输入,所以必须满足 $V_{OH} > V_{IH}$ 、 $V_{OL} < V_{IL}$,否则就会出现逻辑状态判断错误。另外,它们之间的差值称为噪声容限,外部叠加的噪声应小于噪声容限,否则也会出现逻辑状态判断错误。

TTL、CMOS 系列是应用最广泛的数字逻辑标准,被数字逻辑器件厂商普遍采用,下面介绍其逻辑信号的高低电平范围。

TTL 电路和 CMOS 电路的输出高低电平不是一个值,而是一个范围。同样,它的输入高低电平也有一个范围,即它的输入信号允许一定的容差,称为噪声容限。

典型 CMOS 逻辑系列(HC 系列)的规格如图 1.5.1 所示。图 1.5.1 中所有参数都是由 CMOS 厂商在一定温度和输出负载范围内担保的,同时这些参数还在一定的电源电压 V_{CC} 范围内担保,典型值为 $(5.0 \pm 10)\%$ 。TTL 信号也像 CMOS 信号那样,可以更加精确的定义 TTL 输出和输入电平,如图 1.5.2 所示。

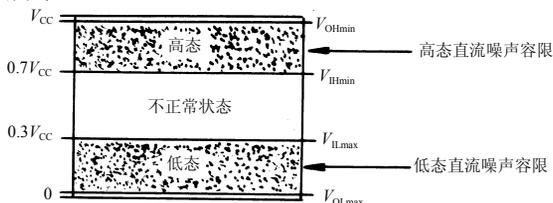


图 1.5.1 HC 系列 CMOS 器件的逻辑电平和噪声容限

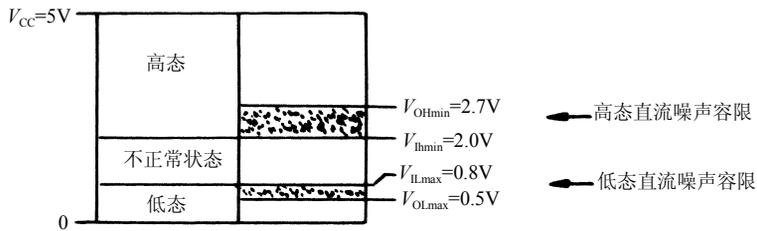


图 1.5.2 TTL 逻辑系列 (74LS、74S、74ALS、74AS、74F) 的逻辑电平和噪声容限

1.6 示波器探头的工作原理与使用方法

示波器探头是示波器的专用测试电缆。探头的正确使用在测试中具有重要的作用，如图 1.6.1 所示。探头的等效电路中包含了电阻、电容和电阻。

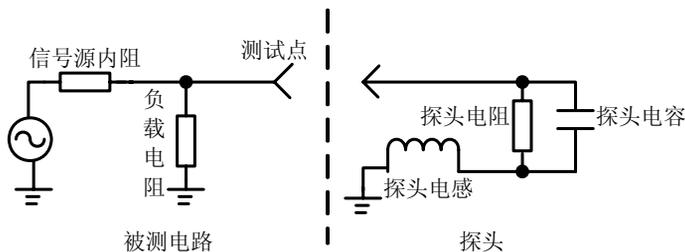


图 1.6.1 探头的等效电路

探头是介于示波器和被测信号之间的环节，如果信号在探头处就已经失真，示波器的显示功能就会受到很大影响。探头本身有输入电阻，和万用表测电压的原理一样，为尽可能减少对测量的影响，希望探头的输入电阻尽量大，但由于不可能做到无穷大，总会对被测电路有分压的影响，所以实际测到的电压不是探头测试点本身之前的电压，这种现象经常出现在电源或放大器电路的测试中。为减小分压的影响，一般要求探头的输入电阻比被测源的输出电阻大 10 倍以上，我们可以利用具有衰减的探头中的 10×比例来增大探头的输入电阻。

其次，探头本身有输入电容，是由探头的寄生电容等效而来的，这个电容是影响探头带宽的重要因素，这个电容会衰减信号中的高频成分，使波形的边沿变缓，一般无源探头的输入电容在 10pF 至几百皮法之间，有源探头的输入电容在 0.2pF 至几皮法之间。

再次，探头的输入端还会受到电感的影响，电感来自探头和被测电路之间的导线电感，探头的寄生电感和寄生电容组成了谐振回路，在电感值太大时，在输入信号激励时可能会产生高频谐振，造成信号的失真，所以高频测试时应严格控制信号和地线的长度，否则会产生振铃。等效电感的大小还与接地线长度有关，其越长电感效应就越大，对波形的破坏效应就是会产生脉冲信号的振荡、过冲等信号完整性问题。

有些示波器探头里没有串联的电阻，这类探头主要就由一段电缆和一个测试头构成，因此，在其有用带宽之内，探头对信号没有衰减作用。这类探头称为 1:1 或 X1 探头。由于这类探头在测试点处将其自身的电容（包括电缆的电容）与示波器的输入阻抗连在了一起，所以这种探头具有负载效应。信号频率升高时，探头的容性负载效应就变得更加显著。由于电

缆的类型和长度的不同以及探头本身构造等原因，1：1 探头的输入电容通常可以从大约 35pF 到 100pF 以上，这等于给被测电路施加了一个低阻抗负载，具有 47pF 输入电容 1：1 探头在 20MHz 之下的电抗仅为 169 Ω ，这就使得这个探头在此频率无法使用。

我们可以在探头中增加一个和示波器输入阻抗相串联的阻抗，用这种办法就可以减小探头的负载效应。然而，这就意味着输入电压不能完全加到示波器的输入端，因为我们现在已经引入了一个电阻分压结构。

图 1.6.2 给出了 10 倍无源电压探头的等效电路， R_p 和 R_s 构成了一个 10：1 的分压器， R_s 为示波器的输入阻抗。调节补偿电容 C_3 使得探头和示波器通道 RC 乘积相匹配，这样就能保证在探头的尖端获得正确的频率响应曲线，并且这种探头的频率响应比 1：1 探头频率响应要宽得多。

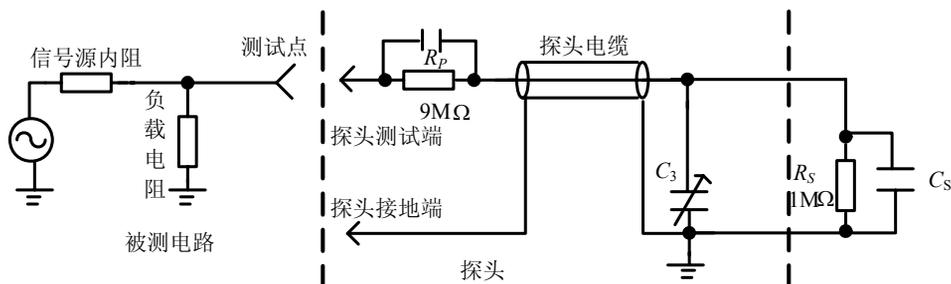


图 1.6.2 10 倍无源电压探头等效电路

一个实际的 10：1 探头具有几个可调的电容和电阻以便在很宽的频率范围内获得正确的频率响应，这些可调元件的大多数都是在制造探头时由工厂调好的。只有一个微调电容留给用户去调节。这个电容称为低频补偿电容，应当通过调节这个电容使得探头和与相配用的示波器匹配，使用示波器前面板上的信号输出可以很容易地进行这项调节工作，示波器的这个输出端标有“探头调节”“校准器”“CAL”或者“探头校准”等标志，并能送出一个方波输出电压。方波中包含很多频率分量。当所有这些分量都以正确的幅度送至示波器时，就能在示波器屏幕上再现方波信号。

多数通用 10：1 探头的构造使这些探头适合于最大输入电压为峰值 400V 或 500V 的情况下使用，所以这些探头可以用于信号电平高达数百伏的广泛的应用场合，对于需要测量更高电压的场合，我们推荐使用电压额定值更高的 100：1 探头。

1.7 数字示波器测量的一些问题

1. 示波器指标中的带宽

带宽是示波器的基本指标，和放大器带宽的定义一样，是所谓的一 3dB 点，即，在示波器的输入加正弦波，幅度衰减为实际幅度的 70.7% 时的频率点称为带宽。也就是说，使用 100MHz 带宽的示波器测量 1V，100MHz 的正弦波，得到的幅度只有 0.707V。这还只是点频正弦波的情形。因此，我们在选择示波器的时候，为达到一定的测量精度，应该选择信号最高频率 5 倍的带宽。

2. 在使用示波器时如何消除毛刺

如果毛刺是信号本身固有的，而且想用边沿触发同步该信号（如正弦信号），可以用高频抑制触发方式，通常可同步该信号。如果信号本身有毛刺，但想让示波器滤除该毛刺，不显示毛刺，通常很难做到。可以试着使用限制带宽的方法，但不小心可能也会把信号本身滤掉一部分信息。

3. 示波器的实时采样率

实时采样是指对波形进行等时间间隔取样，按照取样先后的次序进行 A/D 转换并存入存储器中，实时取样是最明显和最直观的取样方式，这类取样只需要简单地在时间上分布取样点，所有的取样点是响应示波器的一次触发而获得的。

4. 示波器的等效时间采样

等效时间采样指的是示波器把多次采集（多次触发）采集到的波形拼凑成一个波形，每次采样速率可能很慢，两次采集触发点有一定的偏移，最后形成的两个点间的最小采样间隔的倒数称为等效采样速率。其指标可以达到很高。

5. 测量中应用触发释抑功能的作用

触发释抑的含义是暂时将示波器的触发电路封闭一段时间（即释抑时间），在这段时间内，即使有满足触发条件的信号波形点示波器也不会触发，示波器的触发部分的作用就是稳定的显示波形，触发释抑也是为了稳定显示波形而设置的功能。主要针对大周期重复而在大周期内有很多满足触发条件的不重复的波形点而专门设置的。

6. 测量直流电压

首先需要设置耦合方式为直流，根据大概的范围调节垂直挡位到一个合适的值，然后比较偏移线跟通道标志的位移。

7. 测量系统的总带宽

数字信号的测量时，信号的上升时间决定系统的总带宽，测量系统的总带宽 = $0.35 / \text{上升时间}$ 。