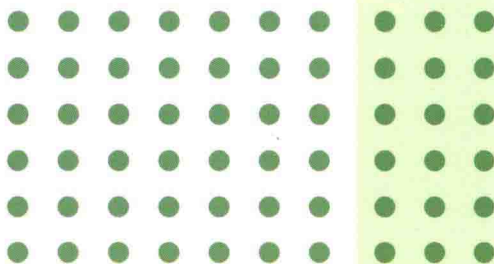




“十三五”普通高等教育规划教材

MONI DIANLU CESHI JISHU

模拟电路 测试技术



刘佳宇 袁秀湘 主编

扫码下载



实验数据记录模板
&
实验报告模板



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育规划教材

模拟电路 测试技术

主 编 刘佳宇 袁秀湘
副主编 李志勇 李小颖 蔡 灏
编 写 刘建新 王 晖 金维香
李 平 湛海霞



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材，与《数字电路测试技术》(ISBN978-7-5198-2681-9)配套使用。

本书以实验为主线，共分为3部分17个实验项目，以适应不同专业、不同层次学生的实验教学要求。主要内容安排如下：第1部分介绍了模拟电路实验基础知识及常见故障检排方法；第2部分介绍了模拟电路常用仪器、仪表、元器件；第3部分为模拟电路测试实验，内容包括共射极单管交流放大电路、场效应管放大电路、两级交流放大负反馈电路、射极跟随器、差动放大器、比例求和运算放大电路的设计与调试等。

本书在编写上突出实验教材特点，强调提出问题与解决问题的思路，适当简化了理论知识叙述，增强了设计思路与实验技能方面的引导。

本书可作为高等院校电类专业学生中高年级的实验教材，也可作为模拟电子技术应用爱好者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路测试技术/刘佳字，袁秀湘主编. —北京：中国电力出版社，2019.2

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5198-2680-2

I. ①模… II. ①刘…②袁… III. ①模拟电路-电路测试-高等学校-教材 IV. ①TN710.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第011426号

出版发行：中国电力出版社

地 址：北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址：<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑：乔 莉(010-63412535)

责任校对：黄 蓓 郝军燕

装帧设计：郝晓燕

责任印制：钱兴根

印 刷：三河市百盛印装有限公司

版 次：2019年2月第一版

印 次：2019年2月北京第一次印刷

开 本：787毫米×1092毫米 16开本

印 张：4.75

字 数：110千字

定 价：19.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换

前言

当前高等工科教育的改革迫在眉睫,构建以加强学生实践能力和创新能力为核心的实验教学体系,促进学生知识、能力、工程素质综合协调发展,更是尤为重要。为此,长沙理工大学近期对电子技术相关实验课程的教学大纲进行了全面修订,为配合新教学大纲的要求,编写了电子技术实验教材。

本书编写的总体思想为:在“认识→验证→设计→综合性设计→创新实践”的电子技术实验教学体系中,作为系列教材之一,在电子技术实践教学体系中承上启下。本书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多种手段的实验设计,引入电子技术应用综合性、设计性实验,着力培养学生对理论知识的运用能力。

本书在编写过程中参考了许多同类教材,并融入了编者多年教学实践中积累的心得体会和教学经验。书中加入了“模拟电路实验中的常见故障及解决方法”;在实验内容中强调了实验方法说明,逐步引导学生掌握正确的实验技能和分析、解决问题的方法。在保证教材内容的全面性与系统性的前提下,取材力求少而精,实验项目在方法、设计上注意循序渐进、分层次教学。

本书以模拟电路为理论知识背景,以典型的模拟电子常用电路为实验对象,在实验中既重视学生的基础实验,更强调综合性、设计性实验教学。综合设计性项目达到70%,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。

通过本书的学习,学生应掌握常用电子仪器的原理和使用方法,熟悉相应的测试技术和测量方法,掌握典型的电子线路的装配、调试和基本参数的测试,学会排除实验故障、正确处理测量数据、分析测量结果,并能写出合格翔实的实验报告,具备初步的研究、创新能力。

本书由刘佳宇、袁秀湘任主编,李志勇、李小颖任副主编。全书由刘佳宇、袁秀湘组织编写,李志勇、李小颖、蔡灏、金维香参与了部分编写,长沙理工大学电工电子实验中心李平、湛海霞、刘建新、王晖等全体教师给予了大力支持,并提出许多宝贵意见,在此谨致以诚挚的感谢。

限于编者水平,书中难免出现问题和错误,恳请读者批评指正。

编者

2018年11月于长沙理工大学

目 录

前言

第 1 部分 模拟电路实验基础知识	1
1.1 电子电路接地的概念	1
1.2 关于仪器的阻抗及阻抗匹配	1
1.3 示波器探头的工作原理与使用方法	3
1.4 模拟电路实验常见故障检排方法	4
第 2 部分 常用实验仪器及元器件	6
2.1 TDS 系列双踪数字示波器	6
2.2 DG1000 系列双通道函数/任意波形发生器	12
2.3 交流毫伏表	14
2.4 数字式万用表	15
2.5 常用元器件的检测方法	16
第 3 部分 模拟电路测试实验	20
实验 1 常用仪器仪表的使用	20
实验 2 共射极单管交流放大电路	22
实验 3 场效应管放大电路	26
实验 4 两级交流放大负反馈电路	29
实验 5 射极跟随器	33
实验 6 差动放大器的设计与实现	36
实验 7 比例求和运算放大电路的设计与调试	37
实验 8 积分与微分电路设计	40
实验 9 电压比较器的分析与设计	43
实验 10 RC 正弦波振荡电路的调试与设计	43
实验 11 方波和三角波发生器的设计与调试	46
实验 12 电压—频率转换电路	48
实验 13 有源滤波器的设计与调试	50
实验 14 串联型晶体管稳压电源	55
实验 15 线性集成稳压器	59
实验 16 OTL 功率放大器	61
实验 17 火灾报警器的设计与调试	65
参考文献	68

第1部分 模拟电路实验基础知识

1.1 电子电路接地的概念

电子电路图中有许多接地符号,正确理解接地的概念是很重要的。接地有以下七种含义:

(1) 电子仪器的外壳接地是指外壳接大地,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害。

(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,否则将烧坏相关电路。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,尤其当它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,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。

1.2 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(如高频信号发生

器等)的输出阻抗典型值是 50Ω ，电视系列的仪器的输出阻抗典型值是 75Ω (如扫频仪的扫频输出端或电视信号发生器的射频输出端)，虽然有些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很小，是因为信号源是产生信号的。在测量过程中，它要将自己的信号耦合到被测电路上，如果信号源的阻抗很小，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 或 75Ω ，故而将仪器的输出阻抗设定为 50Ω 或 75Ω ，在测量过程中，就可以满足所要求的阻抗匹配。

在低频测量中，通常并不要求阻抗匹配。大多数情况下，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，通常要保证阻抗匹配，否则由于反射波的影响，会导致耦合到被测电路上的信号幅度与馈线的长短有关，从而会引起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，这就会造成测量结果的不正确。当测量频率上升到几十兆赫兹甚至上百兆赫兹时，这种影响就会变得显著。

对于仪器的输入电容而言，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 $1V_{pp}$ 时，在信号源输出端并接 50Ω 电阻时用示波器测输出幅值为 $1V_{pp}$ ，但当输出端不并接 50Ω 电阻而直接用示波器测量时为 $2V_{pp}$ 。又如，信号源采用高阻输出显示，输出显示为 $1V_{pp}$ 时，在信号源输出端并接 50Ω 电阻时用示波器测输出幅值为 $0.5V_{pp}$ ，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 $1V_{pp}$ 。

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为空载输出的幅度或匹配输出的幅度，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。

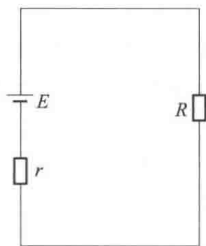


图 1-1 电压源的等效电路

实际的电压源总是有内阻的，如图 1-1 所示。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 1-1 中， R 为负载电阻， r 为电压源 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 很小时接近短路状态。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，可以考虑串联或并联电容或电感，这在调试

射频电路时经常使用；第三，可以考虑串联或并联电阻。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。

1.3 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1-2所示。探头的等效电路中包含了电阻、电容和电感。

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，为尽可能地减少对测量的影响，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，这种现象经常会

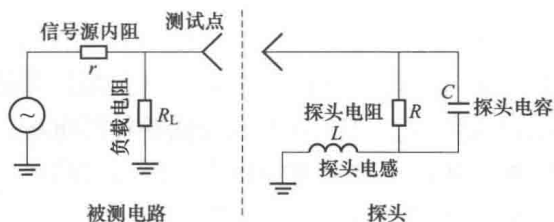


图 1-2 探头的等效电路

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，通常可以利用具有衰减的探头中的 10 倍比例来增大探头的输入电阻。

其次，探头本身有输入电容，这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，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 探头或 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 35pF 到 100pF，这等于给被测电路施加了一个低阻抗负载。例如，具有 47pF 输入电容的 1:1 探头在 20MHz 之下的电抗仅为 169Ω，这就使得这个探头在此频率无法使用。

通常可以在这类探头中增加一个和示波器输入阻抗相串联的阻抗，这样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，因为现在已经引入了一个电阻分压结构。

图 1-3 所示为 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。

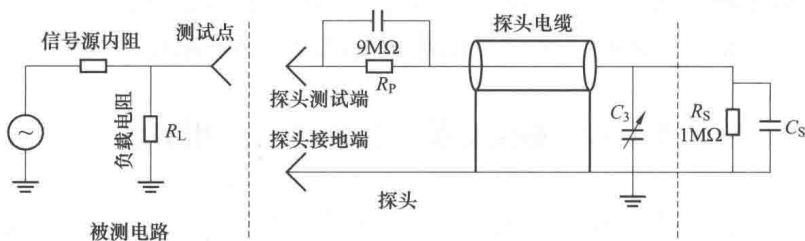


图 1-3 10 倍无源电压探头等效电路

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，通过调节这个电容可使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，示波器这个输出端标有“探头调节”“校准器”“CAL”或“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 探头的构造使得这些探头适合在最大输入电压为峰值 400V 或 500V 下使用，所以这些探头可以广泛应用于信号电平高达数百伏的场合，对于需要测量更高电压的场合，推荐使用电压额定值更高的 100 : 1 探头。

1.4 模拟电路实验常见故障检排方法

在模拟电路实验中，经常出现如电路没有输出、实测数据与理论分析不一致、自激等现象，这些现象都属于实验中出现的故障。这些故障的出现往往是不可避免的，因此称为常见故障。为了做好实验和提高实验技能，应当有正确对待故障的求实态度，还应该具有分析故障现象、查找故障原因的方法和能力。

作为学生，应当在实验前充分预习，做到心中有数，实验中善于发现故障、分析故障、查找原因，从而排除故障。

除了常见故障，还有如接通电源后元件损坏、熔丝烧毁、电源短路等现象，被称之为“非正常”故障。这种故障应该极力避免。出现这种故障的主要原因是没有严格按照实验要求进行实验或没有按照操作规程进行操作所致。一旦出现“非正常”故障，应立即断掉电源，并请指导教师帮助查找原因排除故障，及时总结教训。

一、产生常见故障的主要原因

- (1) 实际接线与原理电路不一致造成接线错误。
- (2) 器件的极性 or 引脚接错，诸如电解电容的正、负极性弄错；组件引脚引线接错等。
- (3) 接线不合理、重叠交错造成自激振荡。
- (4) 测量仪器使用错误，如因示波器旋钮不对而看不到波形；仪表因长期使用磨损老化，使得开关错位所造成的读数错误；测量交、直流电压时选错挡位等。
- (5) 仪器或设备由于长期使用损耗过多而发生的故障。

二、减少常见故障应采取的主要措施

(1) 实验前做好充分预习,要熟悉实验电路、实验内容和所用仪器的性能、操作方法及注意事项。

(2) 认真按实验电路图连接实验电路,应在接线时保证连接正确。实验电路连好以后应反复检查连线是否正确、电容极性和引脚引线是否接对、电阻阻值是否与要求一致(若标称值模糊不清可用万用表实调)等。

(3) 接线应可靠,避免不良接触,各元件之间不要互相碰触。

(4) 电路布局要合理,导线之间尽量不要交错、过长以避免自激。

(5) 测量前要检查仪器各有关旋钮的位置是否得当。

三、常见故障的查找及排除方法

当实验中出现常见故障时,一般是通过边查找、边测量、边分析、边解决的办法去排除故障。由于造成故障的因素较多,查找和排除故障的方法不是一成不变的,因此应具体情况具体分析。下面对常见故障查找及排除的基本方法做简要介绍。

(1) 首先逐级地检查接线、元件标称值等与电路图是否吻合。

(2) 将仪器接通电源检查是否正常工作,主要包括:

1) 用万用表直流挡检查稳压电源输出是否正常。

2) 用示波器的自校信号检查示波器是否正常,如果示波器没有显示波形,说明示波器工作不正常(操作错误或有故障)。

3) 用示波器观察信号发生器的输出波形,判断其工作是否正常。

4) 用毫伏表测信号发生器输出判断毫伏表是否正常。

(3) 检查实验电路。当仪器工作正常时,则要从实验电路着手检查原因,通常包括不带电检查和带电检查两种方法。

1) 不带电检查,是指使用万用表检查电阻值是否正确,连接导线是否断开,各节点是否存在电阻等。接好线后或连接电路之前,要判断连接线是否完好。由于连接线使用较久,经常拔插,很多已老化,虽然外表看起来很好,但内部的铜芯可能已断,所以使用前最好测试一下是否完好。可使用万用表电阻挡或蜂鸣器挡,检查电阻是否为0,或蜂鸣器是否蜂鸣。

2) 带电检查,应在电路没有出现“非正常”故障的情况下进行,包括静态检查和动态检查。静态检查是指检查各级静态电压是否正常。例如,放大电路中的晶体管是否工作在放大状态,集成运放电路的静态输出是否为零等。动态检查是指当电路输入信号以后,用示波器逐级检查电流、电压波形。在进行小信号放大实验时,由于所用信号发生器及连接电缆的缘故,往往在进入放大器前就出现噪声或不稳定,有些信号源调不到毫伏以下,实验时可采用在放大器输入端加衰减的方法。一般可用实验箱中电阻组成衰减器,这样连接电缆上信号电平较高,不易受干扰。做放大器实验时如发现波形削顶失真,甚至变成方波,应检查工作点设置是否正确,或输入信号是否过大。

第 2 部分 常用实验仪器及元器件

2.1 TDS 系列双踪数字示波器

示波器能把肉眼看不到的输入待测信号采样、量化、存储，然后在存储器中取出量化值，将量化值转化为数字图像在屏幕上显示。数字示波器在低频信号测量中，功能优异，在实验室及相关的电子技术测量中，是用途最广的观测仪器。掌握数字示波器的基本功能及基本操作，是做好电子技术实验最重要的必备技能。

数字示波器有很多品牌系列，但操作方法大同小异。下面以 TDS 系列双踪数字示波器为例进行介绍。

TDS 系列双踪数字示波器的面板及背部如图 2-1 所示。

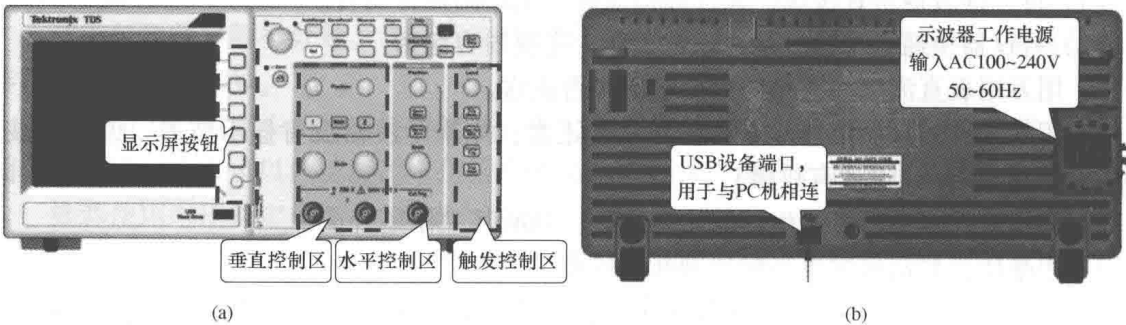


图 2-1 TDS 系列双踪数字示波器
(a) 面板；(b) 背部

一、面板按键及操作简介

TDS 系列双踪数字示波器面板上端按键区如图 2-2 所示。具体按键功能和基本操作如下：

(1) Run/Stop（运行/停止）键：示波器连续采集波形/示波器停止采集波形。如果想静止观察某一波形时，可按一下该按钮；反之，则再按一次该按钮，如图 2-2 所示。

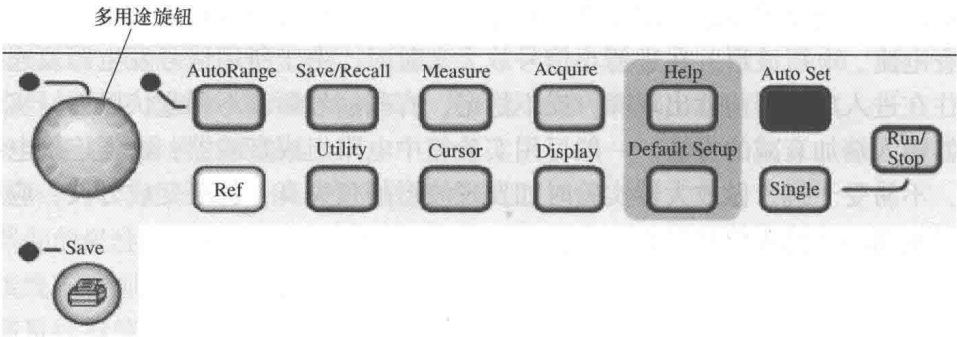


图 2-2 面板上端按键区

(2) Auto Set (自动设置) 键: 按下“自动设置”键时, 示波器自动识别波形的类型并调整垂直刻度、水平刻度和触发设置等控制方式, 从而获得显示稳定的波形。根据检测到的信号类型, 在显示屏的波形区域中显示相应的自动测量结果。

(3) Default Setup (默认设置) 键: 调出示波器的出厂默认设置, 示波器将显示 CH1 波形, 并清除其他所有波形。

(4) Single (单次序列) 键: 示波器在采集单个波形后停止。示波器检测到某个触发后, 完成采集然后停止。每次按下 Single 键, 示波器便会采集另一个波形。

(5) Help (帮助) 键: 显示示波器的帮助系统, 涵盖了示波器的所有功能。帮助系统提供了多种方法来查找所需信息, 包括上下文相关帮助、超级链接、索引。

(6) Acquire (采集) 键: 设置采集参数, 选项包括采样、峰值检测、平均值、平均次数, 如图 2-3 所示。“采样”用于采集和精确显示多数波形, 这是默认方式。“峰值检测”用于检测毛刺并减少假波现象的可能性。“平均值”用于减少信号显示中的随机或不相关的噪声。

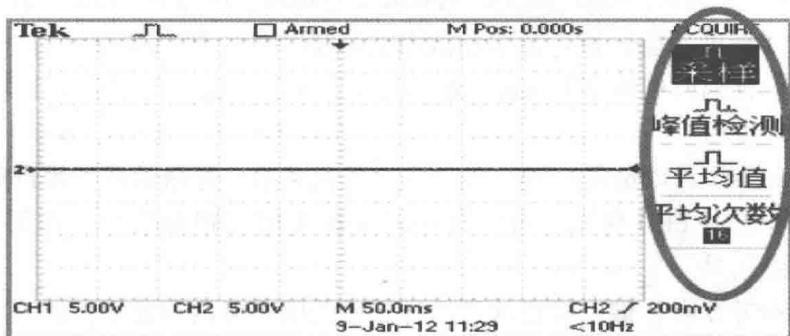


图 2-3 Acquire 键菜单

(7) Display (显示) 键: 选择波形如何出现以及如何改变整个显示的外观, 选项包括类型、持续、格式、对比度, 如图 2-4 所示。

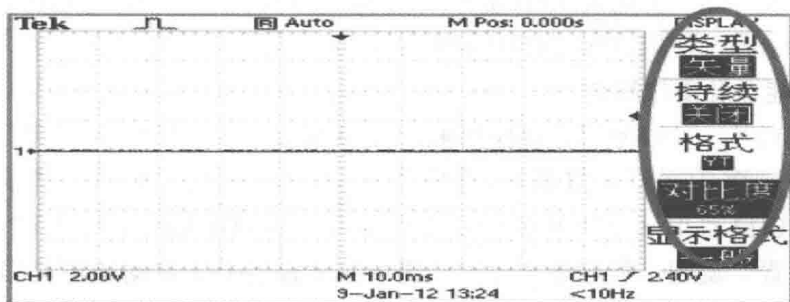


图 2-4 Display 键菜单

(8) Measure (测量) 键: 共有 11 种测量类型可供选择, 包括频率、周期、平均值、峰—峰值、均方根值、最小值、最大值、上升时间、下降时间、正频宽、负频宽, 一次最多可显示五种。按下顶部的选项按钮可以显示“测量 1”菜单。可以在“信源”选项中选择测量的通道, 如图 2-5 中的 CH1; 在“类型”选项中选择采用的测量类型, 如图 2-5 中的“频率”。按下“返回”选项按钮可以返回到“测量”菜单并显示选定的测量。

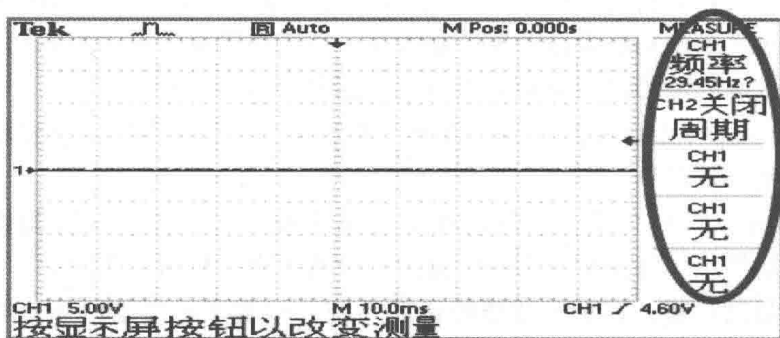


图 2-5 测量 1 菜单

(9) Cursor (光标) 键: 显示测量光标和光标菜单, 使用多用途旋钮改变光标的位置。选项包括幅度、时间、信源。

(10) Save/Recall (保存/调出) 键: 储存示波器设置、屏幕图像或波形, 或者调出示波器设置或波形。包含多个子菜单, 包括全储存、存图像、存设置、存波形、调出设置、调出波形。

(11) Utility (辅助功能) 键: 显示示波器的辅助功能, 包括系统状态、选项、自校正、文件功能、语言。任何时候按下 Utility (辅助功能) ► Language (语言) 选项, 即可选择一种语言。

(12) AutoRange (自动量程) 键: 显示自动量程菜单, 并激活或禁用自动量程功能。自动量程激活时, 旁边的 LED 变亮。可以自动调整设置值以跟踪信号, 如果信号发生变化, 其设置将持续跟踪信号。

(13) Ref (参考波形) 键: 可以从显示打开或关闭参考内存波形, 该波形表存储在示波器的非易失性存储器中。可以同时显示一个或两个参考波形, 但参考波形无法缩放或平移。

(14) 多用途旋钮: 当旋钮处于活动状态时, 旁边的 LED 灯会亮。多用途旋钮可以在示波器的多个功能菜单中使用, 比较常用到的是 Cursor (光标) 菜单。

(15) Save/Print (保存/打印) 键 (共用一个键): 可以将屏幕图像、示波器设置或波形数据进行储存及打印。旁边的 LED 提示 (点亮), 可将数据存储在 UBS 闪存; 当示波器连接到打印机时, 可以使用打印键打印屏幕图像。

二、面板功能区及操作简介

(1) 垂直控制区: 可以使用垂直控制来显示和删除波形、调整垂直刻度和位置、设置输入参数, 以及进行数学运算。包括伏/格旋钮 (VOLTS/DIV)、垂直位置旋钮、CH1 菜单 (CH1 MENU)、CH2 菜单 (CH2 MENU)、数学菜单 (MATH MENU), 如图 2-6 所示。

1) “垂直位置”旋钮: 使用垂直位置旋钮可在屏幕上上下移动通道波形。比较数据时, 可以将一个波形排列在另一个波形的上面, 或者可以把波形相互叠放在一起。

2) “CH1 菜单” (CH2 菜单与 CH1 菜单类似): 按下 CH1 菜单, 可以打开耦合、带宽限制、伏/格、探头、反相等设置选项, 如图 2-7 所示。

3) VOLTS/DIV (伏/格) 旋钮: 使用伏/格旋钮控制, 示波器可放大或衰减通道波形的信源信号, 旋转伏/格旋钮时, 示波器将增加或减少显示屏上波形的垂直位置。

4) MATH MENU (数学菜单) 按钮: 按下数学菜单, 可以显示波形的数学运算, 再次按下数学菜单, 则可取消波形的数学运算。



图 2-6 垂直控制区

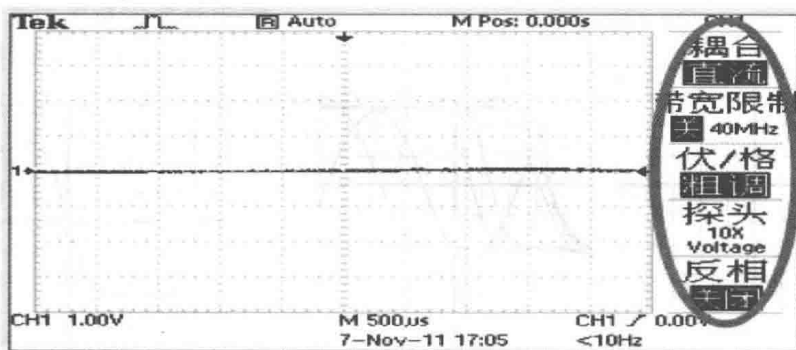


图 2-7 CH1 菜单

(2) 水平控制区：包括水平位置旋钮（Horiz Menu）、水平菜单（Position）、设置为 0（Set To Zero）按钮和秒/格（SEC/DIV）旋钮，如图2-8所示。

- 1) “水平位置”旋钮：用来控制触发相对于屏幕中心的位置。
- 2) “水平菜单”按钮：包括主时基、视窗设定、视窗扩展、设置释抑。
- 3) “设置为 0”按钮：用来将水平位置设置为 0。
- 4) “秒/格”旋钮：用于改变水平时间刻度，以便放大或压缩波形。秒/格范围是从 5ns/格到 50s/格，按序列 1、2.5、5 排列。

(3) 触发控制区：包括“触发电平（LEVEL）”旋钮、“触发菜单（TRIG MENU）”按钮、“SET to 50%”按钮、“强制触发（FORCE TRIG）”按钮、“触发视图（TRIG VIEW）”按钮，如图 2-9 所示。

1) “触发电平”旋钮：用于控制触发电平，触发确定示波器开始采集数据和显示波形的时间。正确设置触发后，示波器就能将空白显示屏或不稳定的显示结果（见图 2-10）转换为有意义的波形（见图 2-11）。

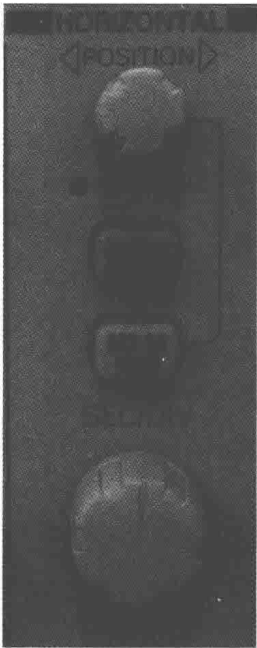


图 2-8 水平控制区

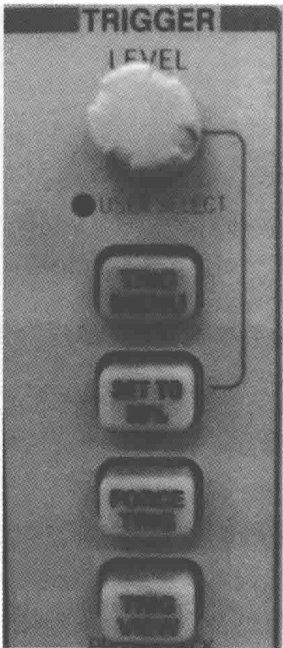
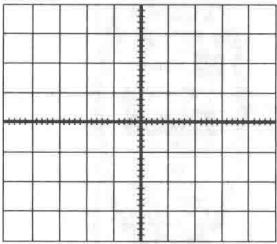
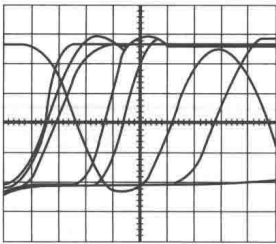


图 2-9 触发控制区



(a)



(b)

图 2-10 未触发的波形

(a) 空白显示屏；(b) 不稳定显示结果

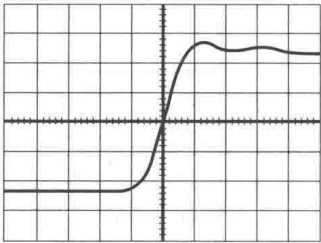


图 2-11 已触发的波形

2) “触发菜单” (Trig Menu) 按钮：包括触发类型、信源、斜率、触发方式、耦合。

3) “Set to 50%” 按钮：使用 Set to 50% 按钮，可以快速稳定波形。示波器可以自动将“触发电平” 设置为大约是最小和最大电压电平间的一半。

4) “强制触发” 按钮：无论示波器是否检测到触发，都可以使用强制触发按钮完成波形采集。对于 Single Seq (单次序列) 采集和“正常” 触发模式，此按钮很有用。在“自动” 触发模式中，如果未检测到触发，则示波器会定期自动强制触发。

(4) 显示区：除显示波形外，显示屏上还含有很多关于波形和示波器控制设置的详细信息。如图 2-12 所示，显示区主要包括：

- 1) 显示图标表示获取方式。
- 2) 触发状态显示。
- 3) 显示水平触发位置。旋转“水平位置” 旋钮可以调整标记位置。
- 4) 显示中心刻度处时间的读数。触发时间为零。

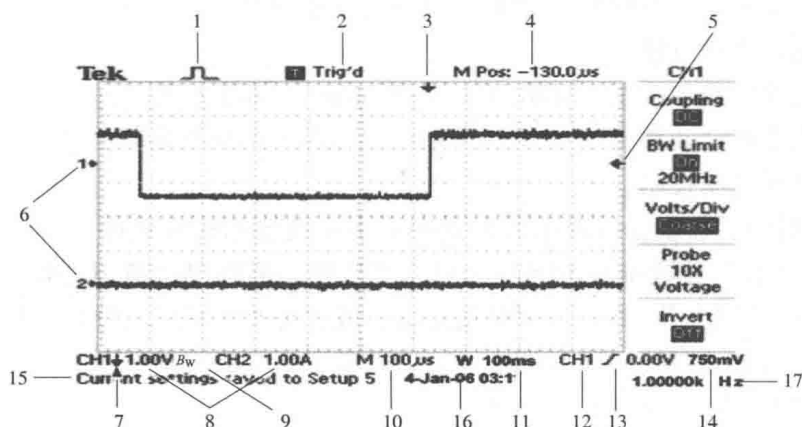


图 2-12 显示屏有关信息

- 5) 显示边沿或脉冲宽度触发电平的标记。
- 6) 屏幕上的标记指明所显示波形的地线基准点。如没有标记，不会显示通道。
- 7) 箭头图标表示波形是反相的。
- 8) 读数显示通道的垂直刻度系数。
- 9) B_w 图标表示通道带宽受限制。
- 10) 读数显示主时基设置。
- 11) 如果使用视窗时基，读数显示视窗时基设置。
- 12) 读数显示触发使用的触发源。
- 13) 采用图标显示选定的触发类型。
- 14) 读数显示边沿或脉冲宽度触发电平。
- 15) 显示操作时可能出现的结果或给出一些提示、说明，有些仅显示 3s。
- 16) 读数显示日期和时间。
- 17) 读数显示触发频率。

三、应用举例

【示例一】要测量信号的频率、周期、峰—峰值幅度、上升时间以及正频宽，可按以下步骤进行操作：

- (1) 按下 Measure (测量) 按钮以查看“测量菜单”。
- (2) 按下顶部选项按钮，显示 Measure 1 Menu (测量 1 菜单)。
- (3) 按下类型►“频率”，“值”读数将显示测量结果及更新信息。
- (4) 按下返回选项按钮。
- (5) 按下顶部第二个选项按钮，显示 Measure 2 Menu (测量 2 菜单)。
- (6) 按下类型►“周期”，“值”读数将显示测量结果及更新信息。
- (7) 按下返回选项按钮。
- (8) 按下中间的选项按钮，显示 Measure 3 Menu (测量 3 菜单)。
- (9) 按下类型►“峰—峰值”，“值”读数将显示测量结果及更新信息。
- (10) 按下返回选项按钮。
- (11) 按下底部倒数第二个选项按钮，显示 Measure 4 Menu (测量 4 菜单)。

(12) 按下类型►“上升时间”。“值”读数将显示测量结果及更新信息。

(13) 按下返回选项按钮。

(14) 按下底部的选项按钮；显示 Measure 5 Menu (测量 5 菜单)。

(15) 按下类型►“正频宽”。“值”读数将显示测量结果及更新信息。

(16) 按下返回选项按钮。

说明：①测量前，须根据所选用的测量探头将示波器相应通道的“探头电压倍数”调成一致；②如果“值”读数中显示问号(?)，则表明信号在测量范围之外。此时应调节相应通道的垂直刻度旋钮(伏/格)以降低敏感度，或者更改水平刻度设置(秒/格)。

【示例二】示波器上显示一个如图 2-13 (a) 所示的带噪声的信号时：

(1) 若想分析噪声，可执行以下步骤：①按下 Acquire (采集) 按钮以查看“采集”菜单；②按下峰值检测 选项按钮。峰值测量侧重于信号中的噪声尖峰和干扰信号，特别是使用较慢的时基设置时，如图 2-13 (b) 所示。

(2) 要分析信号形状，并忽略噪声，要减少示波器显示屏中的随机噪声，执行以下步骤：①按下 Acquire (采集) 按钮以查看“采集”菜单；②按下平均值选项按钮；③平均值操作可降低随机噪声，更容易查看被测信号的详细信息，如图 2-13 (c) 所示。

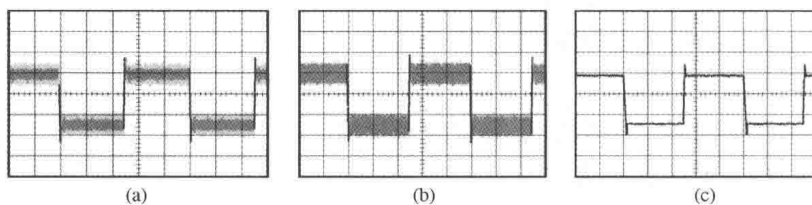


图 2-13 测试带噪声信号

(a) 初始信号；(b) 峰值检测后；(c) 平均值检测后

2.2 DG1000 系列双通道函数/任意波形发生器

一、概述

DG1000 系列双通道函数/任意波形发生器使用直接数字合成 (DDS) 技术，可生成稳定、精确、纯净和低失真的输出信号。

二、面板介绍

DG1000 系列双通道函数/任意波形发生器的前面板、后面板分别如图 2-14 和图 2-15 所示。

三、DG1000 提供的 3 种页面显示模式

DG1000 提供了 3 种页面显示模式：单通道常规模式、单通道图形模式及双通道常规模式，分别如图 2-16~图 2-18 所示。这 3 种显示模式可通过前面板左侧  (通道切换) 按键切换，用户可通过 **View** 来切换活动通道，以便于设定每通道的参数、观察和比较波形。

四、应用举例

DG1000 系列双通道函数/任意波形发生器经设置可输出多种波形，如正弦波、方波、锯齿波、脉冲波、噪声波、内建任意波、自定义任意波和 AM 调制波等。