

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

综合设计篇

DIANZI JISHU YINGYONG
SHIYAN JIAOCHENG

主 编 陈 瑜

副主编 李 雷 肖 西 陈 英 朱晓霞



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 综合设计篇

主 编 陈 瑜

副主编 李 雷 肖 西 陈 英 朱晓霞

DIANZI JISHU YINGYONG

SHIYAN JIAOCHENG



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. 综合设计篇 / 陈瑜主编.

—成都: 电子科技大学出版社, 2016. 9

ISBN 978-7-5647-3753-5

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(2016)第 199273 号

内 容 提 要

本书突出实验教程的特点,以实验为主线,共分为 4 章,12 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。其内容安排如下。

第 1 章 常用电子测量仪器,内容包括示波器、信号源等常用仪器的组成原理、使用方法及使用注意事项;第 2 章 数字电路综合实验,内容包括触发器应用、555 常用电路、动态显示电路以及电子秒表等实验;第 3 章 模拟电路综合实验,内容包括模拟乘法器应用、集成稳压电源、DC-DC 开关电源和集成功放等实验;第 4 章 开放实验室实验,内容包括课后可由学生自主完成的一些设计等。

本教材是电子技术应用实验教程 综合篇,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。在附录中附有实验报告,便于与教学内容相结合开展教学。本书在内容上可以与电子技术应用实验教程 基础篇的内容相辅相成、循序渐进,又可以作为独立的硬件电路应用实验教程使用,本教材可作为高等院校电子类专业学生中高年级的实验教材,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 综合设计篇

主 编 陈 瑜

副主编 李 雷 肖 西 陈 英 朱晓霞

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: 成都煤田地质制图印刷厂

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 15.5 字数 400 千字

版 次: 2016 年 9 月第一版

印 次: 2016 年 9 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-3753-5

定 价: 40.00 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

本教材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,在电子技术系列实验教程中承上启下,以电子技术基础实验为前提,以电路为研究对象,将常用电路模块结合电子技术基础实验中的单元模块构成小型系统并实现一定的功能应用。课程注重各功能电路之间的连接关系,在电路应用的基础上增加了带有设计性的趣味实验内容,并将实验技能、测试方法和实验素养的培养贯穿于实验教材之中。在教材内容的设计上既重视学生对基础理论知识的认知过程,又强调对知识的灵活应用技巧,为学生逐步提高电路应用能力、设计能力和独立思考能力提供了实验方法与设计指导。

本套教程共分为两册。第一册名称为《电子技术应用实验教程 基础篇》,该书以数字逻辑原理和低频模拟电路作为理论基础,包含了数字逻辑电路的基本单元电路实验、模拟电路中具有应用性的单元电路实验以及数字逻辑中基础性的 EDA 实验,是学生进行电子技术应用实验的基础。第二册名称为《电子技术应用实验教程 综合设计篇》,本书内容以数字逻辑原理和低频模拟电路作为理论基础,在单元功能模块电路的基础上,实现数字及模拟电路的综合实验。

本书为第二册,在内容上即可以与第一册内容相辅相成、循序渐进,又可以作为硬件电路应用实验教程独立使用。本套教材可作为高等院校电子类专业学生中、高年级的实验教材,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。

本书的编写特点如下。

1. 基础实验部分设置了预习思考题,采用“问题驱动”的编写方法,通过预习问题使学生产生疑问并自我思考,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. 在每个基础实验中增加了“实验中的常见问题及解决办法”,从提出问题到解决办法,逐步引导学生排除实验中易出错的步骤,掌握正确的实验技能和分析问题、解决问题的方法,为更好地独立完成实验提供了有力的帮助。

3. 设计性实验部分提出了实验任务,给出了设计方案,并举出设计实例,在基础实验的带动下,学生可通过独立思考来完成设计,扩展了学生学习的知识面与动手能力培养的途径,也为学生课后的设计与制作提供了参考。

4. 教材中对于开放实验室中的实验给出了一些实例,包括电路的焊接及调试方法、实验原理与方案举例等,使学生能够通过教材快速入门,动手开始今后的实践与设计。

5. 对电子设计中常用的仪器进行了原理分析与详细的使用说明,使学生不仅掌握仪器的使用而且了解仪器的组成原理,对于今后的电路设计与测试大有帮助。

6. 教材的第 2 章及第 3 章作为电子技术应用实验的核心内容,配备了设计精美、功能

完整的实验电路板,节约了学生在实验中搭接基本电路的时间,使学生将更多精力集中于电路功能的实现与各个功能电路之间的连接关系,为实现更大规模的电路设计打好基础。

7. 第2章中的四个基础实验环环相扣,虽然每次都有新实验内容,每次都有新的设计性实验,但每个实验原理之间又相互联系与交汇,在最后一个实验电子秒表中将前三个实验的内容一一应用,使学习过程丰富且有序。本书的编写方法保证了可将每个基础实验教程作为四学时实验教程,也可以将每个基础实验教程分为两个两学时的实验教程,教材在实验内容的编写上兼顾了两种课时安排,划分合理,均可达到较好的实验教学目的。

8. 在附录中总结了实验报告的标准格式,对实验报告的评价指标给予了说明,可以很好地引导学生养成良好的实验习惯,善于总结与分析实验原理及测试数据,掌握完整的实验过程,培养学生基本的实验表述能力。

9. 在附录4中附有第2章实验内容中的全部实验报告,实验报告以问题驱动的方式引导学生学习,设计了原始记录页以及相应的报告内容,使本教材在教学应用中更为方便。

本书突出实验教程的特点,以实验为主线,共分为4章,16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。其内容安排如下:

第1章 常用电子测量仪器。内容包括示波器、信号源等常用仪器的组成原理、使用方法及使用注意事项。

第2章 数字电路综合实验。内容包括触发器应用、555常用电路、动态显示电路以及电子秒表等实验。

第3章 模拟电路综合实验。内容包括模拟乘法器应用、集成稳压电源、DC-DC开关电源和集成功放等实验。

第4章 开放实验室实验。内容包括课后可由学生自主完成的一些设计等。

电子科技大学电子工程学院电子实验中心的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。本书是由多年工作在实验教学一线的教师编写的。

本书由陈瑜老师主编,副主编有陈英、李雷、肖西、朱晓霞。同时参与本书部分编写工作的还有李春梅、孙可伟、曾洁、李庆嵘。感谢毛瑞明老师为本书的实验设备制作做出的大量工作。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。

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

2016年6月

◆ 与本书配套的EEC-1型数字逻辑实验箱以及多种实验电路板由电子科技大学电子实验中心独自开发,如需使用请与电子科技大学电子实验中心联系。

电话:(028) 61830102 (028) 83202209

第 1 章 常用电子测量仪器	1
1.1 数字示波器简介	1
1.1.1 鼎阳 SDS1000X 系列数字示波器使用指南	3
1.1.2 普源 DS1000 系列示波器	17
1.1.3 应用示例	31
1.2 函数信号发生器	38
1.2.1 F40 型数字合成函数信号发生器/计数器	38
1.2.2 33120A 任意波形发生器	44
1.2.3 TFG2040 DDS 函数信号发生器	50
1.2.4 EEI641B 系列函数信号发生器/计数器	56
1.3 直流稳压电源	57
1.4 频率特性测试仪	62
1.5 高频 Q 表	65
第 2 章 数字电路综合实验	69
2.1 实验一 触发器实现波形整形及脉冲延时的研究	69
2.1.1 基础实验	69
2.1.2 设计性实验	77
2.2 实验二 555 集成定时器的应用	80
2.2.1 基础实验	80
2.2.2 设计性实验	89
2.3 实验三 数据选择和译码显示	93
2.3.1 基础实验	93
2.3.2 设计性实验	102
2.4 实验四 电子秒表	105
2.4.1 基础实验	105
2.4.2 设计性实验	114
第 3 章 模拟电路综合实验	117
3.1 实验五 调幅与检波的研究	117
3.1.1 基础实验	117
3.1.2 设计性实验	128
3.2 实验六 混频与倍频的研究	130
3.2.1 基础实验	130

3.2.2 设计性实验	137
3.3 实验七 直流稳压电源、DC/DC 开关电源	139
3.3.1 基础实验	139
3.3.2 设计性实验	147
3.4 实验八 音频功率放大器	149
3.4.1 基础实验	149
3.4.2 设计性实验	154
第 4 章 开放实验室实验	157
4.1 实验九 简易函数发生器设计	157
4.2 实验十 声光控延时灯设计	163
4.3 实验十一 用 555 定时器组成函数发生器	166
4.4 实验十二 汽车尾灯控制电路设计	172
4.5 实验十三 人体反应速度测试器的设计	177
附录 1 常用逻辑符号对照表	182
附录 2 标准实验报告模板	183
附录 3 实验报告评分标准	185
附录 4 实验报告	187
参考文献	240

第 1 章 常用电子测量仪器

1.1 数字示波器简介

示波器（Oscilloscope）是一种用途十分广泛的电子测量仪器，利用示波器能观察不同信号幅度随时间变化的波形曲线，并测试多种信号参数（非精确测量），如电压、电流、频率、相位差、调幅度等。

示波器可分为模拟、数字两大类。模拟示波器又有通用示波器、多束示波器、取样示波器、记忆示波器和专用示波器等，采用 CRT 屏显示波形。数字示波器将输入信号数字化（时域取样和幅度量化）后，由 D/A 转换器输出重建波形，具有记忆、存储功能，所以又称为数字存储示波器（DSO, Digital Storage Oscilloscope）。受模拟电路的带宽限制，100MHz 以上的示波器多以数字示波器为主，下面以数字示波器为例进行介绍。

数字示波器的主要技术指标有：

1. 频带宽度：示波器面板上显示的带宽是指模拟带宽，带宽是示波器的基本指标，它反映了可以观测信号的最高频率（或最小脉冲宽度），在数字示波器中，该项指标主要由 A/D 转换器的转换速率决定。在制定的带宽下，其输出相应将下降 3dB，例如 100MHz 带宽的示波器，10V 信号输入，示波器将观测到 7.07V 的信号，这还只是正弦波的情形。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。上升时间与带宽有关，一般定义上升时间 t_r 为

$$t_r = \frac{0.35}{BW} \quad (1-1)$$

当测试高频方波信号时，若其上升沿变化陡峭，上升时间参数说明了能否准确显示快速上升的电平的能力。带宽越宽则输入信号的高频分量衰减越少，显示波形越陡峭，上升时间越小。数字示波器的带宽有模拟带宽和数字实时带宽两种。数字示波器对重复信号采用顺序采样或随机采样技术所能达到的最高带宽为示波器的数字实时带宽，

2. 时基因数：时基因数表示单位距离代表的时间，常分为很多挡，当选择较小的时基因数时，可将高频信号在水平方向上展开。图 1.1.1 中测试波形的时基因数为每格 500μs，信号周期为 2 格，可知周期为 1000μs，即 1ms。

3. 垂直偏转因数：指在垂直方向上移动 1cm 所需的电压值，也通常分为许多挡，偏转因数越小表示示波器观测微小信号的能力越强。图 1.1.1 中通道 1 测试波形的偏转因数为每格 5V，通道 2 测试波形的偏转因数为每格 1V。

4. 输入阻抗：示波器的输入阻抗可看成被测信号的等效负载，常包括输入电阻和输入电容两部分。

5. 输入耦合方式：一般可选择直流、交流和接地三种耦合方式之一，直流耦合时，输入信号的所有成分都加到示波器上，交流耦合用于只需要观察输入信号的交流波形时；接地方式则断开输入信号，将通道直接接地。

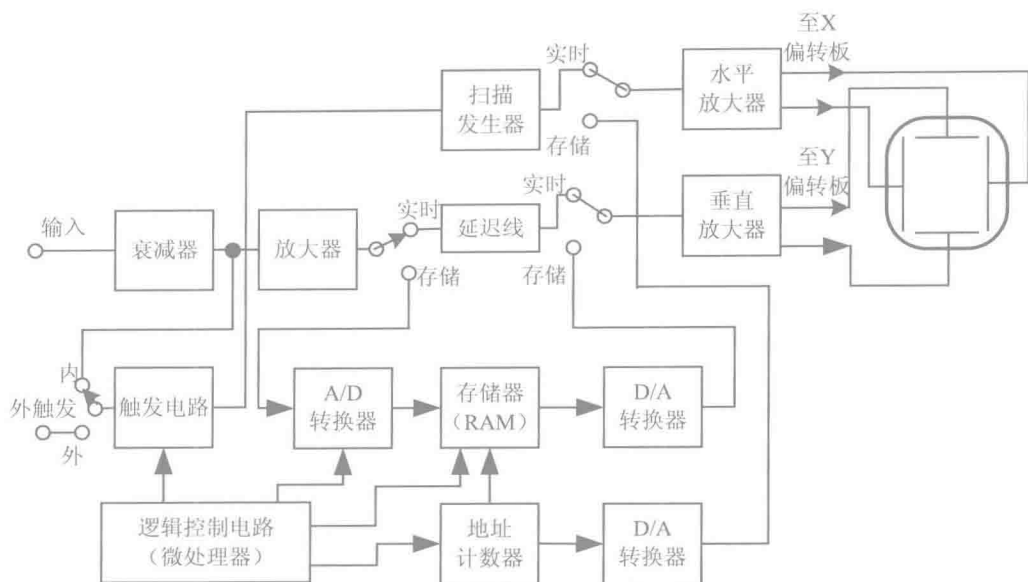


图 1.1.1 典型数字存储示波器原理框图

6. 数字存储示波器的最高取样速率：单位时间内采样的次数，常以 MS/s 表示，也可用每秒完成的 A/D 转换的最高次数来衡量。取样速率越高反应示波器捕捉高频或快速测量信号的能力越强。根据奈奎斯特定理，采样速率至少高于信号高频成分的 2 倍才不会发生混迭。

7. 示波器探头：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 1.1.2 所示，探头的等效电路中包含了电阻、电容和电阻。

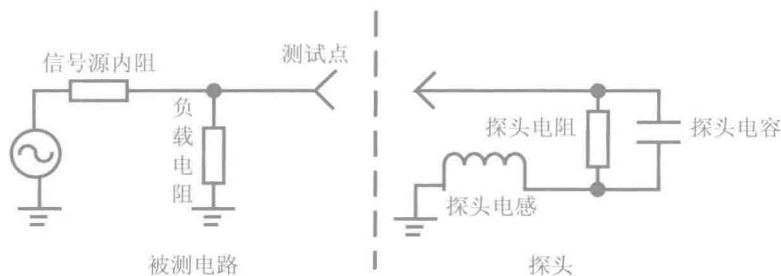


图 1.1.2 探头的等效电路

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 $10 \times$ 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 10 皮乏至几百皮乏之间，有源探头的输入电容在 0.2 皮乏至几皮乏之间。

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。

1:1 或 $X1$ 探头在其有用带宽之内,对信号没有衰减作用。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 $35\sim 100\text{pF}$,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 169Ω ,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,由于引进了一个电阻分压结构,这就意味着输入电压不能完全加到示波器的输入端。

图 1.1.3 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。

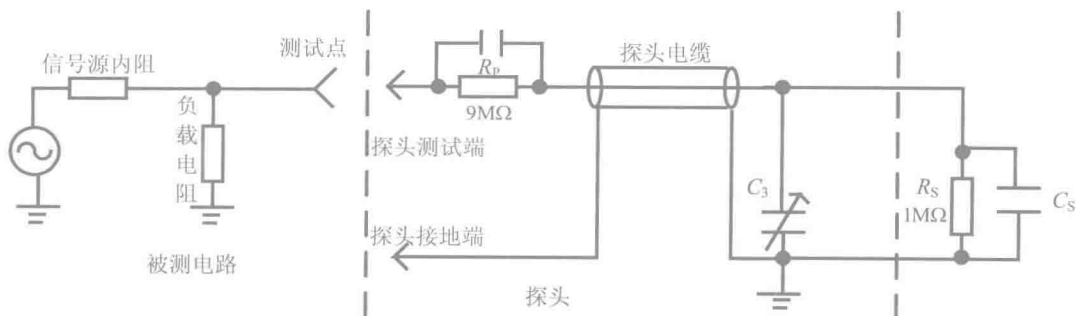


图 1.1.3 10 倍无源电压探头等效电路

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,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。

1.1.1 鼎阳 SDS1000X 系列数字示波器使用指南

一、示波器外观

鼎阳 SDS1000X 系列示波器前面板如图 1.1.4 所示。

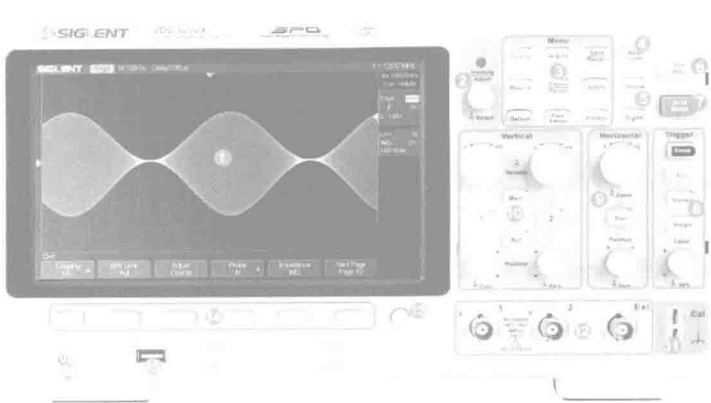


图 1.1.4 SDS1000X 示波器前面板图

前面板各功能区的划分说明如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 前面板功能区划分说明

编号	说明	编号	说明
1	屏幕显示区	9	水平控制系统
2	多功能旋钮	10	垂直通道控制区
3	自动设置常用功能区	11	补偿信号输出端/接地端
4	内置信号源	12	模拟通道输入端
5	解码功能选件	13	打印键
6	停止/运行	14	菜单软键
7	自动设置	15	USB Host 端口
8	触发控制系统	16	电源软开关

注意：这款示波器关机时需要长按电源开关按键。

SDS1000X 示波器显示界面如图 1.1.5 所示。

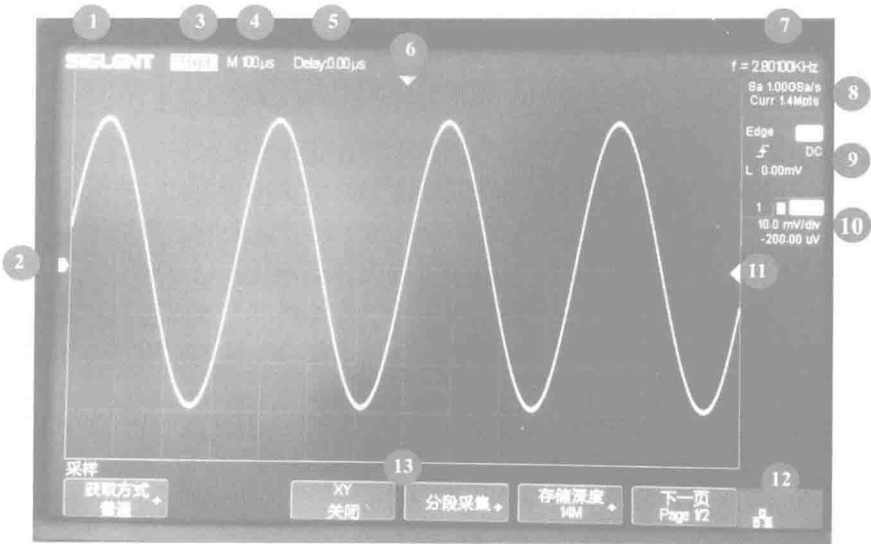


图 1.1.5 SDS1000X 示波器显示界面

其中各个编号对应的显示项目如下。

号码【1】对应部分显示的是产品商标。

号码【2】对应部分显示的是通道标记。它是向右的箭头，箭头指示的位置是通道 0V 显示对应的位置。在箭头上有数字 1 或 2，代表是 CH1 的通道标志还是 CH2 的通道标志。不同通道用不同的颜色表示，通道标记和波形颜色一致，默认条件下。CH1 为黄色，CH2 为紫色。

号码【3】对应部分显示的是运行状态。可能的状态包括：Arm（采集预触发数据）、Ready（等待触发）、Trig'd（已触发）、Stop（停止采集）、Auto（自动）。

号码【4】对应部分显示的是水平时基。表示屏幕水平轴上每格所代表的时间长度。使用水平档位旋钮可以修改该参数，可设置范围为 $2\text{ns/div} \sim 50\text{s/div}$ 。

号码【5】对应部分显示的是触发位移的偏移值。使用水平 Position 旋钮可以修改该参数。向右旋转旋钮使得箭头（初始位置为屏幕正中央）向右移动，触发位移（初始值为 0）相应减小；向左旋转旋钮使得箭头向左移动，触发位移相应增大。按下按钮参数自动被设为 0，且箭头回到屏幕正中央。

号码【6】对应部分显示的倒三角，指示了当前的屏幕中波形的触发位置。

号码【7】对应部分显示的当前触发通道波形的频率值。

号码【8】对应部分显示的示波器当前使用的采样率及存储深度。使用水平档位旋钮可以修改该采样率/存储深度。

号码【9】对应部分显示的是当前的触发设置。包括：触发类型的英文标识和图形符号、触发源、触发源耦合方式、触发电平值。

例如图 1.1.5 中，触发类型为上升沿触发 ，触发源为 CH1，触发耦合方式为 DC，触发电平为 0.00mV。

号码【10】对应部分显示的是垂直通道设置。包括通道号，带宽限制（若当前带宽为开启，则显示 B 标志；若全带宽显示，则无标志）。探头衰减系数，当前通道开启的输入阻抗（ $1\text{M}\Omega$ 或 50Ω ），通道耦合方式，电压档位（垂直偏转系数）。

号码【11】对应部分显示的是触发电平位置，它是一个向左的箭头，箭头所指的位置是当前触发通道的触发电平在屏幕上的位置。按下 Level 旋钮使电平自动回到屏幕中心。

号码【12】对应部分显示的是接口状态，可以显示 USB 设备和网口设备的连接情况。

号码【13】对应部分是菜单区，显示示波器当前所选功能模块对应菜单。按下对应菜单软键即可进行相关设置。

二、示波器操作

（一）基本功能检查

首次使用某一台示波器时，要进行此项调节。对于 SDS1000X 示波器步骤如下：

1. 按 Default 按键将示波器恢复为默认设置。
2. 如图 1.1.6 所示，将探头的接地鳄鱼夹与探头补偿信号输出端下面的“接地端”相连，将探针与探头补偿信号输出端相连。
3. 由于 SDS1000X 示波器默认设置只显示 CH1，如果需要两个通道同时检查，需要手动将 CH2 通道选中（按 CH2 按键，将其点亮）。

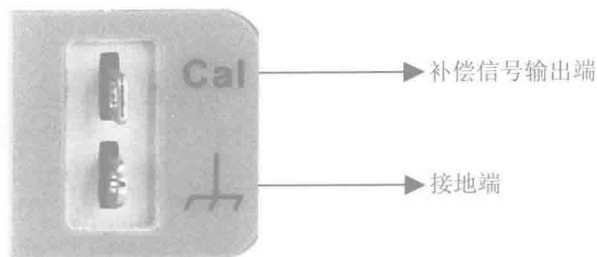


图 1.1.6 示波器补偿信号输出端

4. 按“Auto Setup”键，几秒钟内，可见到幅度为3V，频率为1kHz的方波显示。

5. 检查所显示的波形形状并与图1.1.7对比，用非金属手柄的改锥调整探头上的可变电容，直到屏幕显示的波形如图1.1.7中的“补偿适当”。



图 1.1.7 示波器探头补偿调节

(二) 波形显示的自动设置

SDS1000X 示波器具有自动设置功能。使用自动设置功能时，首先将被测信号连接到信号输入通道，再按下 Auto Setup 按键，示波器将根据输入信号自动调整垂直档位、水平时基及触发方式，使波形以最佳方式显示。

(三) 设置垂直系统

如图 1.1.8 所示，在垂直控制区 (Vertical) 有一系列的按键、旋钮。

1. 垂直通道旋钮及按键的应用

(1) 垂直 Position 旋钮控制信号的垂直显示位置。当转动垂直旋钮时，指示通道接地位置的通道标志跟随波形上下移动。按下该旋钮可将通道标志设置到屏幕中央。

(2) 转动垂直档位旋钮可以改变当前通道的垂直偏转系数“Volt/div”（伏/格），修改过程中波形在显示屏上被垂直拉伸或压缩，同时屏幕右方状态栏对应通道的垂直偏转系数显示会相应的变化。按下该按钮可快速切换垂直档位调节方式为“粗调”或“细调”。

(3) 按 1、2、Math、Ref 按键，屏幕显示对应通道的操作菜单、标志、波形和档位状态信息。在当前通道被选中时，再次按下该按钮将关闭当前选择的通道。

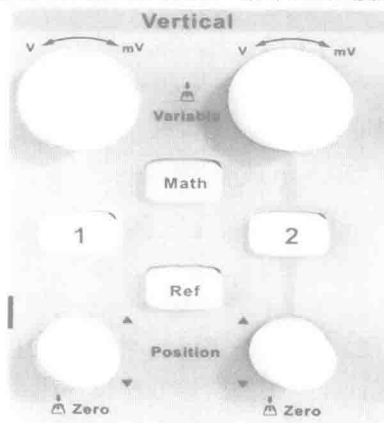


图 1.1.8 垂直控制系统

2. 通道的设置

每个通道有独立的垂直菜单。每个项目都按不同的通道单独设置。按 1 或 2 按键，系统显示 CH1 或 CH2 通道的操作菜单如图 1.1.9 所示。垂直通道设置菜单的说明见表 1.1.2 所示。

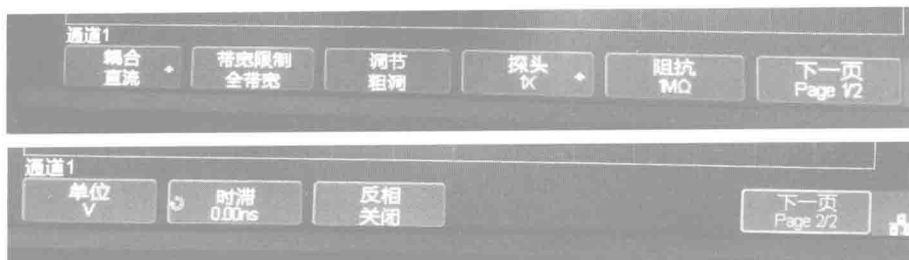


图 1.1.9 垂直通道设置菜单

表 1.1.2 通道菜单说明

功能菜单	设 定	说 明
耦合	直流	通过输入信号的交流和直流成分
	交流	阻挡输入信号的直流成分
	接地	断开输入信号
带宽限制	20M	限制带宽至 20MHz，以减少显示噪音
	全带宽	满带宽
调节	粗调	按 1-2-5 进制设定垂直偏转系数，如 10 V/div、5 V/div、2 V/div……
	细调	在粗调设置范围之间进一步细分，以改善垂直分辨率，如 2 V/div、1.98 V/div、1.96 V/div
探头	0.1×	根据探头衰减系数选取其中一个值，以保持垂直偏转系数的读数正确。共有四种：16 种，探头比默认值为 1×
	0.2×	
	……	
阻抗	10 000×	适用于许多无源探头，可进行通用测量，高阻抗可在被测设备上使示波器的负载效应最小化
	1MΩ	
	50Ω	
单位	V 或 A	示波器的默认幅值单位为
时滞	0~100ns	用于校正电流探头和电压探头之间的延迟差
反相	开	打开波形反相功能
	关	波形正常显示

3. 数学运算

数学运算 (Math) 功能是显示 CH1、CH2 通道波形相加、相减、相乘以及 FFT 运算的结果。参考功能 (Ref) 可将实测波形与参考波形相比较，以判断电路故障。数学运算和参考功能下对比的结果同样可以通过栅格或游标进行测量。

(四) 设置水平系统

如图 1.1.10 所示, 在水平控制区 (Horizontal) 有一系列的按键、旋钮。

1. 调节水平位置

顺时针旋转 Position 旋钮使波形水平向右移动, 逆时针旋转使波形水平向左移动。默认设置下, 波形位于屏幕水平中心, 水平触发位移为 0, 且触发点 ∇ 与时间参考点重合。

调整水平 Position 旋钮时, 屏幕上方信息栏中将显示的位移时间 (例如: Delay: $-860\mu\text{s}$)。按下 Position 按钮可将位移恢复为 0。

2. 调节水平时基档位

顺时针转动 Position 旋钮减小档位, 波形在水平方向被拉伸显示; 逆时针转动 Position 旋钮增大档位, 波形在水平方向被压缩显示。设置水平档位时, 屏幕左上角显示的档位信息 (例如: M500 μs) 实时变化。水平档位的变换范围是 2ns/div $\sim$ 50s/div。

按下该按钮快速开启分屏缩放 (Zoom) 功能。

3. 滚动模式的设置

按下 Roll 按键快捷进入滚动模式。在该模式下, 示波器不触发。波形自右向左滚动刷新显示, 波形水平位移和触发控制不起作用, 水平档位的调节范围是 50ms $\sim$ 50s。也可通过改变时基档位至 50ms 及以上时基进入滚动模式。

4. 分屏缩放功能的设置

分屏缩放功能可用对比观察一段波形和其中的局部波形的全貌和细节。

按下示波器前面板的时基旋钮可打开分屏缩放功能, 再次按下关闭该功能。分屏缩放模式下, 屏幕被分成两个显示区域如图 1.1.11。显示屏的上半部分显示主窗口视图, 下半部分显示延迟窗口视图。

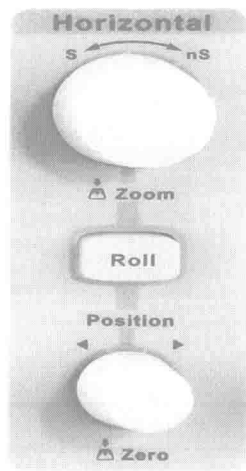


图 1.1.10 水平控制区

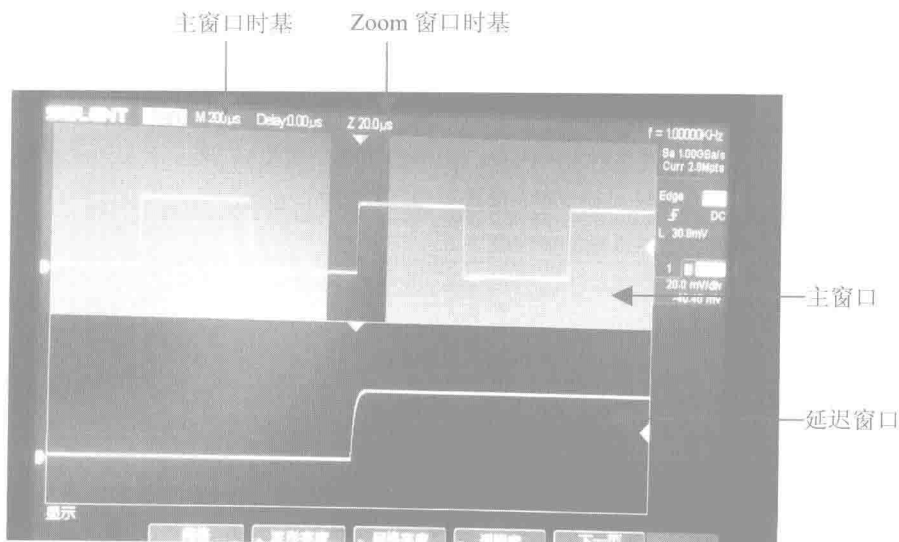


图 1.1.11 分屏缩放

①主窗口视图

屏幕上半部分未被半透明灰色覆盖的展开区域是放大前的波形。可通过旋转水平档位旋钮控制该展开区域的大小。顺时针旋转缩小该区域，延迟窗口时基相应减小。逆时针旋转放大该区域，延迟窗口时基相应增大。或旋转水平 Position 旋钮水平向左（向右）移动该区域。

②延迟窗口视图

屏幕下半部分是经水平扩展后的波形。由于延迟窗口时基相对于主窗口时基提高了分辨率，故延迟窗口时基不论如何变化，应始终小于或等于主窗口。

(五) 设置触发系统

触发决定了示波器何时开始采集数据和显示波形。若触发未被正确设定，它将不能稳定地显示实时的波形。鼎阳 SDS1000X 系列在显示屏的右侧的状态栏将显示出当前示波器的触发类型、触发源、触发耦合及触发电平值等信息。

1. 触发控制区面板旋钮及按键功能介绍

示波器操作面板的触发控制区如图 1.1.12 所示，它包括触发设置按键 Setup，触发模式按键（Auto，Normal，Single）和触发电平调整旋钮 LEVEL。

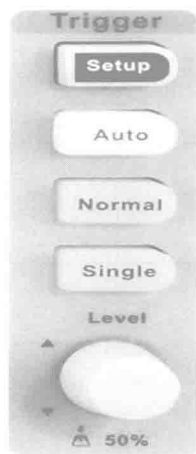


图 1.1.12 触发控制区

- ◆ Level 旋钮用于设置触发电平。按下该按钮可快速将触发电平恢复至对应通道波形中心位置。
- ◆ 按下 Auto 键切换触发模式为自动模式。
- ◆ 按下 Normal 键切换触发模式为正常模式。
- ◆ 按下 Single 键切换触发模式为单次模式。
- ◆ 按下 Setup 键打开触发功能菜单，其工作界面如图 1.1.13 所示。

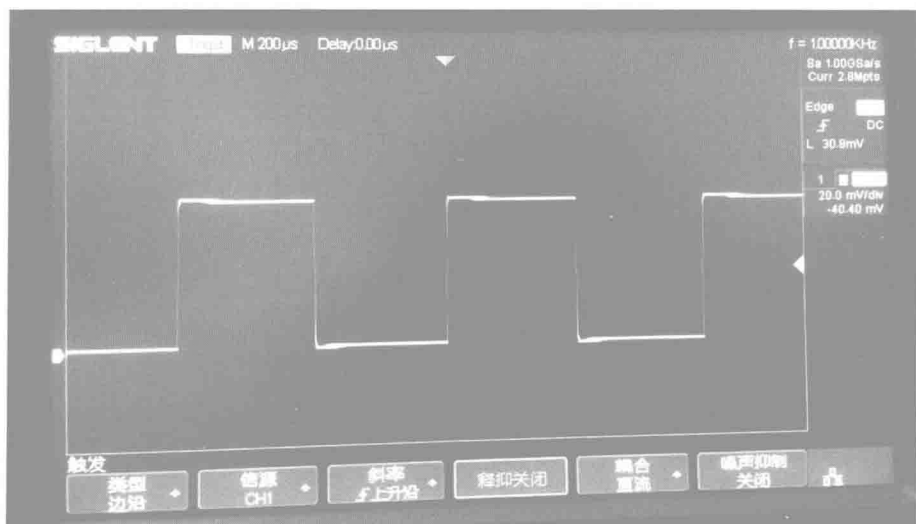


图 1.1.13 触发设置界面

2. 边沿触发类型设置介绍

鼎阳 SDS1000X 系列示波器提供边沿、斜率、脉宽、视频、窗口、间隔、超时、欠幅、

码型和串行总线（IIC/SPI/URAT/RS232）等多种的触发类型。此处只简单介绍边沿触发方式。在边沿触发类型下可以进行如表 1.1.3 所示的设置。

表 1.1.3 边沿触发设置说明

功能菜单	设 定	说 明
类型（触发方式）	边沿	边沿触发类型通过查找波形上的指定沿（上升沿、下降沿、上升&下降沿）和电压电平来识别触发
信源选择	CH1 CH2 EXT EXT/5 市电	设置 CH1 作为信源触发信号 设置 CH2 作为信源触发信号 设置外触发输入通道作为信源触发信号 设置外触发源除以 5，扩展外触发电平范围 设置市电触发
斜率	上升 下降 上升下降	设置在信号上升边沿触发 设置在信号下降边沿触发 设置在信号上升边沿和下降边沿触发
触发释抑	释抑关闭 释抑时间	关闭释抑时间的调节功能 通过调节释抑时间稳定触发复杂波形（详见下页）
触发耦合	直流 交流 高频抑制 低频抑制	允许直流（DC）和交流信号（AC）进入触发路径 阻挡信号的直流成分并衰减低于 5.8Hz 的信号 抑制信号中高于 1.27MHz 的高频成分 阻挡信号的直流成分并抑制低于 2.08MHz 的低频成分
噪声抑制	开启/关闭	开启该功能后，能减小触发信号中噪声触发的可能性，但同时会降低触发的灵敏度

3. 触发释抑

触发释抑可稳定触发复杂波形（如脉冲系列）。释抑时间是指从触发之后到下一次重新启用触发电路之前示波器等待的时间。示波器在释抑结束前不会触发。

正确的释抑时间一般略小于波形的一次重复，将释抑设置为此时间，会为一个重复波形生成唯一的触发点。

例如，要在图 1.1.14 所示的重复脉冲上获得稳定的触发，可将释抑时间（Holdoff）设置为 $200\text{ns} < t < 600\text{ns}$ 。

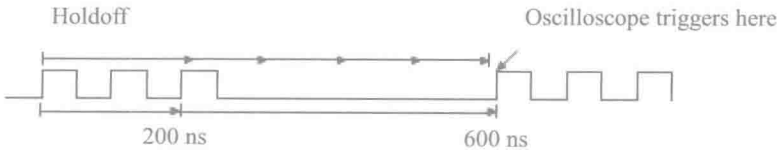


图 1.1.14 抑释时间示意图

操作说明：

- （1）按下触发控制区的 Setup 键。
- （2）找到触发释抑的设置键，一般鼎阳 SDS1000X 系列示波器默认为释抑关闭，按“释