

信号与系统实验

张小凤 张光斌 主编



科学出版社

陕西师范大学教材建设基金资助出版

信号与系统实验

张小凤 张光斌 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是“信号与系统”课程的配套实验用书。全书紧密结合“信号与系统”课程的理论教学,力求通过实验课程教学内容的设计,增强学生对基本知识的理解,培养学生的创新思维与工程实践能力。全书分三部分,包括基于信号与系统实验箱的硬件电路实验、基于MATLAB的信号与系统实验和信号与系统综合与提高实验。书中提供了大量典型例题的程序和相应的实验训练题目、综合设计课题等。

本书可作为通信、电子、信息科学等专业的大学本科或专科“信号与系统”课程的实验教材,也可供从事信号与系统分析及其相关专业的教师、学生和科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统实验 / 张小凤, 张光斌主编. —北京: 科学出版社, 2017.9
ISBN 978-7-03-054558-9

I. ①信… II. ①张… ②张… III. ①信号理论-高等学校-教材 ②信号系统-实验-高等学校-教材 IV. ①TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 229904 号

责任编辑: 潘斯斯 / 责任校对: 郭瑞芝
责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018年1月第二次印刷 印张: 8 3/4

字数: 200 000

定价: 39.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

“信号与系统”课程是电子信息与通信类专业的必修课，也是电子信息类专业硕士研究生入学的必考课程。该课程是将学生从电路分析的知识领域引入信号处理与信号传输领域的关键性课程，对后续专业课学习起着承上启下的作用。该课程的基本方法和理论大量应用于计算机、通信、信息处理的各个领域，特别在数字通信、数字信号处理、数字图像处理、数字系统设计等领域，其应用更加广泛。因此，让学生掌握信号与系统分析的基本方法和理论，对于后续学习专业课以及培养学生从事专业工作的能力，都具有重要的意义。

长期以来，“信号与系统”课程一直采用传统的教学模式，学生仅依靠老师的讲解与课后做习题来巩固和理解教学内容，对课程中许多抽象的概念无法得到深入的理解，对课程中大量应用性较强的内容不能实际动手设计、调试和分析，严重影响和制约了该门课程的教学效果。因此，该课程迫切需要进行教学方法和教学手段的改革，即在改进教学方法和调整教学内容的同时，实现在实验环境中，以电子电路设计和计算机辅助教学为手段，通过对信号的观察以及信号通过系统响应的测试，帮助学生加深对信号与系统基本知识的理解，培养学生主动获取知识和独立解决问题的能力，为学习后续专业课程打下坚实的基础。

目前“信号与系统实验”课程的教学内容主要包括基于信号与系统实验箱的硬件测试实验和基于MATLAB语言的软件编程实验两个方面。其中，基于实验箱的硬件实验，可以锻炼学生的实验测试能力，但由于受硬件实验条件的限制，实验内容相对固定，难以满足课程设计的需求。而基于MATLAB软件的编程实验，由于MATLAB语言具有直观、简洁、编程效率高、交互性好的特点，可以借助MATLAB语言编写不同内容的基础和设计实验，因而受到众多教学工作者的青睐。但是，目前国内同时结合两方面实验内容的“信号与系统实验”教材相对较少，难以满足众多工科院校“信号与系统实验”课程的教学需求。编者在长期从事该课程理论和实验教学工作的基础上，以教学讲义为基础，编写了本书。书中内容涵盖了“信号与系统实验”教学的硬件和软件实验内容，由三部分组成。第

一部分为基于信号与系统实验箱的硬件电路实验，实验内容结合信号与系统理论课程，涵盖信号与系统实验课程大纲中所包含的基本实验内容，重点突出信号测试用基本仪器的使用和学生实验测试基本技能的训练。第二部分为基于MATLAB的信号与系统实验，主要包括连续和离散信号的表示及可视化、信号的时域运算及MATLAB实现、离散序列卷积和的MATLAB实现、周期信号傅里叶级数、傅里叶变换及性质、利用MATLAB分析系统的频率特性、拉普拉斯变换、离散系统的零极点分析等。第三部分为综合与提高实验，内容包括信号的调制与解调、声音信号的滤波、基于SIMULINK的信号与系统综合实验设计、信号的自相关分析以及图像信号的二维傅里叶变换等。

本书由张小凤、张光斌共同编写，张小凤负责全书的修改和审订。陕西师范大学物理学与信息技术学院电子信息教研室的各位教师对本书的出版给予了大力支持；科学出版社的各位编辑为本书的出版付出了辛勤的工作。在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，欢迎读者提出批评和建议。

编 者

2017年7月

目 录

前言

第 1 章 基于信号与系统实验箱的硬件电路实验	1
1.1 信号与系统实验箱简介和数字示波器的使用	1
1.2 阶跃响应与冲激响应	13
1.3 连续时间系统的模拟	16
1.4 有源无源滤波器	20
1.5 抽样定理与信号恢复	28
1.6 一阶电路的暂态响应	35
1.7 二阶电路的暂态响应	38
1.8 矩形脉冲信号的分解	42
1.9 矩形脉冲信号的合成	46
1.10 二阶网络状态轨迹的显示	49
第 2 章 基于 MATLAB 的信号与系统实验	52
2.1 基本时间信号的 MATLAB 表示	52
2.2 连续时间信号的时域运算及 MATLAB 实现	56
2.3 连续时间信号的卷积	60
2.4 离散序列卷积和的 MATLAB 实现	62
2.5 连续时间 LTI 系统的时域分析	68
2.6 傅里叶变换 (FT) 及其性质	75
2.7 信号抽样及抽样定理	83
2.8 连续时间 LTI 系统的频率特性及频域分析	92
2.9 拉普拉斯变换 (LT)	99
2.10 Z 变换及离散时间系统的 Z 域分析	104
第 3 章 综合与提高实验	117
3.1 信号的幅度调制与解调	117
3.2 声音信号的滤波	120
3.3 基于 SIMULINK 的信号与系统综合实验设计	121

3.4 信号的自相关分析	124
3.5 图像信号的二维傅里叶变换	129
参考文献	133

第 1 章 基于信号与系统实验箱的硬件电路实验

1.1 信号与系统实验箱简介和数字示波器的使用

一、实验目的

1. 熟悉信号与系统实验箱的基本模块。
2. 熟悉示波器的基本功能。
3. 掌握用示波器测量信号参数的方法。

二、实验仪器

RZ8663 信号与系统实验箱、RIGOL DS1052E 双踪示波器。

三、实验原理

1. RZ8663 信号与系统实验箱简介。

RZ8663 信号与系统实验箱是专门为“信号与系统”课程而设计的，提供了信号时域、频域分析的实验。利用该实验箱可进行阶跃响应与冲激响应的时域分析；借助 DSP 技术实现信号卷积、信号频谱的分析、信号的分解与合成实验；抽样定理与信号恢复的分析和研究；连续时间系统的模拟；一阶、二阶电路的暂态响应；二阶网络状态轨迹显示、各种滤波器设计与实现等内容的学习与实验。

该实验箱的系统分布图如图 1.1.1 所示。图中给出了实验箱各模块的名称和分布。其中，和信号与系统实验相关的模块组成如下：

1) 电源输入模块

此模块位于实验平台的右上角部分，分别提供+12V、+5V、-12V、-5V 的电源输出。4 组电源对应 4 个发光二极管，电源输出正常时对应的发光二极管亮。

2) 信号源模块

此模块位于实验平台的左上角，可以提供信号与系统实验的各种波形，主要有正弦波、三角波、方波、半波、全波。信号的频率范围为 100Hz~200kHz，可分别通过对应的按钮调节信号的频率、占空比。信号的幅度可以通过电位器旋钮调节。



图 1.1.1 RZ8663 实验系统分布示意图

此模块包含两个测量点：TP702，测量输出的信号波形（正弦波、三角波、方波、扫频信号、全波、半波）；TP701，测量点频信号输出波形（用于做抽样实验）。包括两个信号插孔：P702，信号源信号输出插孔；P701，点频信号输出插孔。

3) 信号分解与合成模块

此模块位于实验平台的中部，主要完成方波信号的分解与合成，模块的右面上半部分为信号的分解，下半部分为信号的合成。信号的分解部分提供了 8 个波形输出测量点：TP801，TP802，…，TP808；TP801～TP807 分别为信号的 1～7 次谐波输出波形的测试点，第 8 个测量点 TP808 为 8 次以上谐波的合成输出波形测试点。信号合成的部分中，把分解输出的各次谐波信号连接输入至合成部分，在合成的输出测量点 TP809 可观察到合成后的信号波形。

此模块上还有四个开关：K801、K802、K803、K804。这四个开关的作用是用于选择是否对分解出的 1 次、3 次、5 次、7 次谐波幅度进行放大（便于研究谐波幅度对信号合成的影响）：当开关位于 1、2 位置（左侧）时，不放大；当开关位于 2、3 位置时，可通过相应电位器调节谐波分量的幅度。例如，对于输出的基波分量，当开关 K801 位于 1、2 位置时，电位器 W801 不起任何作用，直接把分解提取到的基波输出；当开关 K801 位于 2、3 位置时，分解提取到的基波分量可通过电位器 W801 来调节它的输出信号幅度的大小。

模块上有 8 个信号插孔：P801～P808，分别对应信号分解时各次谐波的输出

插孔。

4) 信号卷积实验模块

此模块在信号分解模块内, 结构非常简单, 只有三个测量点, 分别为两个激励信号的测量点和一个卷积后的信号输出波形测量点。

5) 一阶电路暂态响应模块

此模块可根据自己的需要搭接一阶电路, 观测各点的信号波形。

它有 3 个测量点: TP902、TP903, 为一阶 RC 电路电容上的响应信号测量点; TP907, 为一阶 RL 电路电阻上的响应信号测量点。信号插孔包括: P901、P906, 为信号输入插孔; P902、P903、P904、P905、P907、P908、P909, 为电路连接插孔。

6) 二阶电路传输特性模块

此模块也可根据需要搭接二阶电路, 观测各测量点的信号波形。

它有两个测量点: TP201, 有源二阶电路传输特性输出测量点; TP202, 负阻抗电路传输特性输出测量点。信号插孔: P201、P202, 为信号输入插孔。

7) 二阶网络状态轨迹模块

此模块除了可以完成二阶网络状态轨迹观察的实验, 还可完成二阶电路暂态响应观察的实验。

它有两个测量点: TP904、TP905, 为输出信号波形观测点。信号插孔: P910, 为信号输入插孔。

8) 阶跃响应与冲激响应模块

该模块通过接入适当的输入信号, 可观测输入信号的阶跃响应与冲激响应。

此模块有两个测量点: TP913, 冲激信号观测点; TP906, 冲激响应、阶跃响应信号输出观测点。信号插孔: P912、P914, 为信号输入插孔; P913, 冲激信号输出插孔。

9) 抽样定理模块

通过本模块可观测到抽样过程中各个阶段的信号波形。

该模块有三个测量点: TP601, 输入信号波形观测点; TP603, 抽样波形观测点; TP604, 抽样信号经滤波器恢复后的信号波形观测点。信号插孔: P601, 信号输入插孔; P602, 抽样脉冲信号输入插孔; P603, 抽样信号输出插孔。

10) 模拟滤波器模块

此模块提供了多种有源、无源滤波器, 包括低通无源滤波器、低通有源滤波器、高通无源滤波器、高通有源滤波器、带通无源滤波器、带通有源滤波器、带阻无源滤波器和带阻有源滤波器。实验中, 可以根据自己的需要选择性地实验。

它有 8 个测量点: TP401, 信号经低通无源滤波器后的输出信号波形观测点;

TP402, 信号经低通有源滤波器后的输出信号波形观测点; TP403, 信号经高通无源滤波器后的输出信号波形观测点; TP404, 信号经高通有源滤波器后的输出信号波形观测点; TP405, 信号经带通无源滤波器后的输出信号波形观测点; TP406, 信号经带通有源滤波器后的输出信号波形观测点; TP407, 信号经带阻无源滤波器后的输出信号波形观测点; TP408, 信号经带阻有源滤波器后的输出信号波形观测点。信号插孔: P401、P402、P403、P404、P405、P406、P407、P408, 分别为各滤波器的信号输入插孔。

11) 基本运算单元与连续系统的模拟模块

本模块提供了很多开放的电阻、电容和运放器, 可根据需要搭接不同的电路, 进行各种测试。例如, 可实现加法器、比例放大器、积分器、有源滤波器、一阶系统的模拟等。

12) 频率表与毫伏表

频率表显示信号源输出信号的频率值, 毫伏表显示信号源输出信号幅度的平均值(正弦信号为有效值), 指示范围为 $0 \sim 10\text{V}$ 。

2. RIGOL DS1052E 数字示波器简介。

1) 了解 DS1052E 的前面板和用户界面

DS1052E 提供简单而功能明晰的前面板, 以进行基本的操作, 如图 1.1.2 所示。面板上包括旋钮和功能按键。旋钮的功能与其他示波器类似。显示屏右侧的一列 5 个灰色按键为菜单操作键(自上而下定义为 1~5 号)。通过这些旋钮, 可以设置当前菜单的不同选项; 其他按键为功能键, 可以进入不同的功能菜单或直接获得特定的功能与应用。

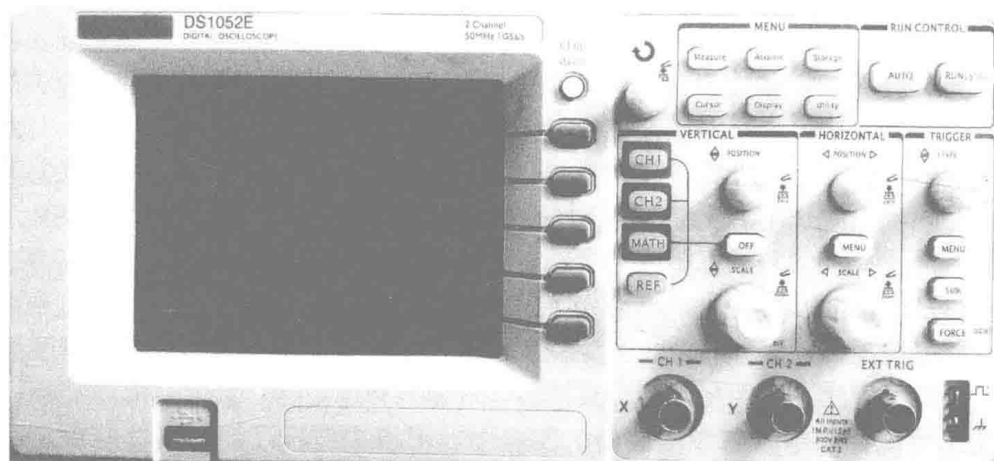


图 1.1.2 DS1052E 示波器前面板

DS1052E 面板操作如图 1.1.3 所示, 主要有多功能旋钮、功能按钮、控制按钮、触发控制、水平控制、垂直控制、信号输入通道、外部触发输入、探头补偿、USB 接口等。



图 1.1.3 DS1052E 面板操作图

按键的文字表示与面板上按键的标识相同。值得注意的是, MENU 功能键的标识用一个四方框包围的文字表示, 如 **MEASURE** 代表前面板上的一个标注着 Measure 文字的透明功能键。菜单操作键的标识用带阴影的文字表示, 如波形存储, 表示存储菜单中的存储波形选项。

波形在界面上的显示如图 1.1.4 所示。

电源的供电电压为 100~240V 交流电, 频率为 45~440Hz。接通电源后, 仪器执行所有自检项目, 并确认通过自检。

2) 示波器接入信号

DS1052E 为双通道输入加一个外触发输入通道的数字示波器。示波器接入信号的步骤如下。

(1) 用示波器探头将信号接入通道 1(CH1): 将探头上的开关设定为 10X(图 1.1.5), 并将示波器探头与通道 1 连接。将探头连接器上的插槽对准 CH1 同轴电缆插接件(BNC)上的插口并插入, 然后向右旋转以拧紧探头。

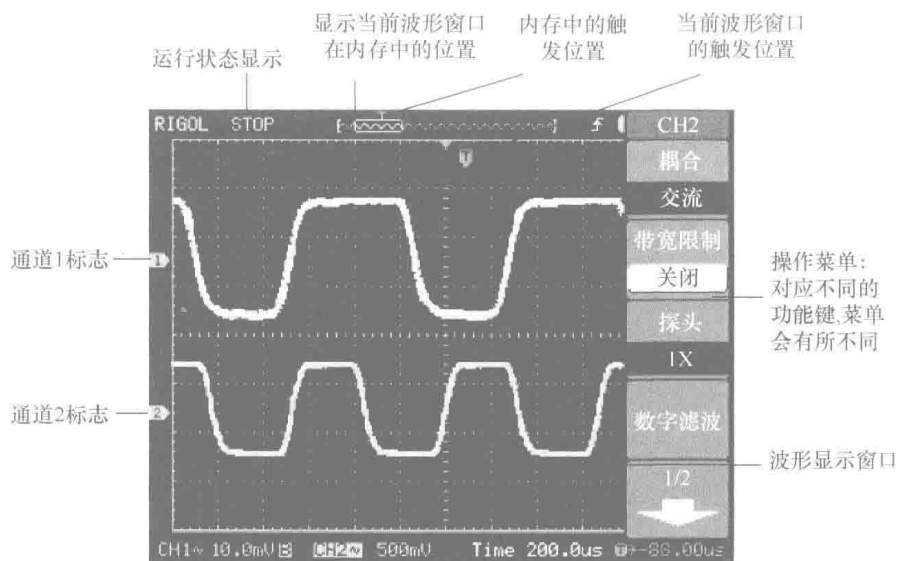


图 1.1.4 信号在界面上的显示

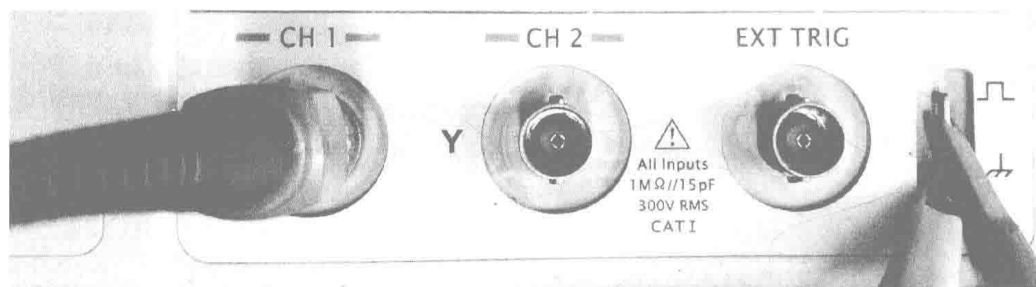


图 1.1.5 探头的补偿连接

(2) 示波器需要输入探头衰减系数。此衰减系数改变仪器的垂直挡位比例, 从而使得测量结果正确反映被测信号的电平(默认的探头菜单衰减系数设定值为 1X)。设置探头衰减系数的方法如下: 按 **[CH1]** 功能键显示通道 1 的操作菜单, 应用与探头项目平行的 3 号菜单操作键, 选择与使用的探头同比率的衰减系数。此时设定应为 10X, 如图 1.1.6 所示。

(3) 把探头端部和接地夹接到探头补偿器的连接器上, 如图 1.1.5 所示。按 **[AUTO]** (自动设置)按钮。几秒钟内, 可见到方波显示。

(4) 以同样的方法检查通道 2(CH2)。按 **[OFF]** 功能按钮或再次按下 **[CH1]** 功能按钮以关闭通道 1, 按 **[CH2]** 功能按钮以打开通道 2, 重复步骤(2)和步骤(3)。

注意: 探头补偿连接器输出的信号仅作为探头补偿调整之用, 不可用于校准。

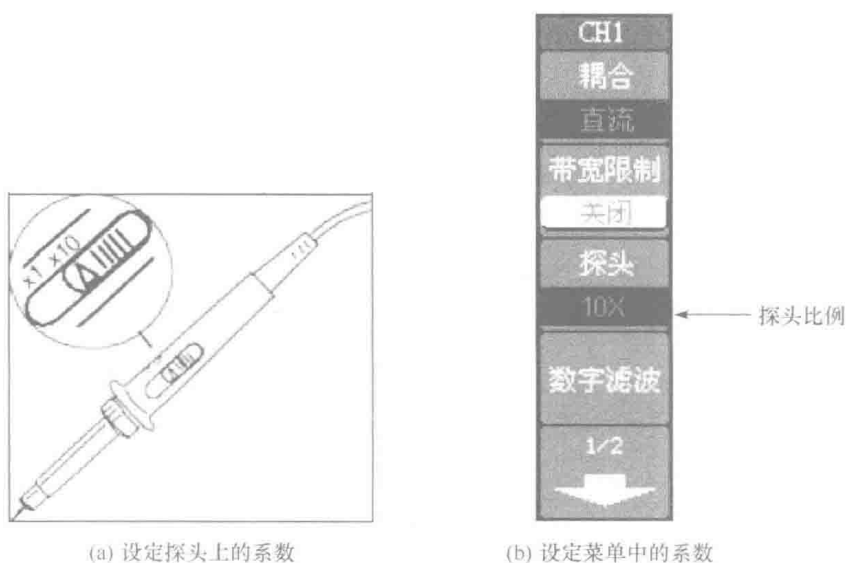


图 1.1.6 探头的衰减设定

3) 示波器自动设置的功能

DS1052E 数字示波器具有自动设置的功能。根据输入的信号，可自动调整电压倍率、时基以及触发方式至最好形态显示。应用自动设置时，要求被测信号的频率大于或等于 50Hz，占空比大于 1%。自动设置的使用方法如下。

(1) 将被测信号连接到信号输入通道。

(2) 按下 **AUTO** 按钮。

示波器将自动设置垂直、水平和触发控制。如果需要，可手工调整控制旋钮使波形显示达到最佳。

4) 垂直系统的使用

垂直控制区 (VERTICAL) 有一系列的按键、旋钮，如图 1.1.7 所示。

使用垂直 **POSITION** 旋钮在波形窗口居中显示信号。垂直 **POSITION** 旋钮控制信号的垂直显示位置。当转动垂直 **POSITION** 旋钮时，指示通道地 (GROUND) 的标识跟随波形上下移动。

注意：如果通道耦合方式为 DC，则可以通过观察波形与信号地之间的差距来快速测量信号的直流分量。如果耦合方式为 AC，信号里面的直流分量被滤除。这种方式方便使用更高的灵敏度显示信号的交流分量。

双模拟通道垂直位置恢复到零点快捷键：旋动垂直 **POSITION** 旋钮不但可以改变通道的垂直显示位置，更可以通过按下该旋钮，作为设置通道垂直显示位置恢复到零点的快捷键。

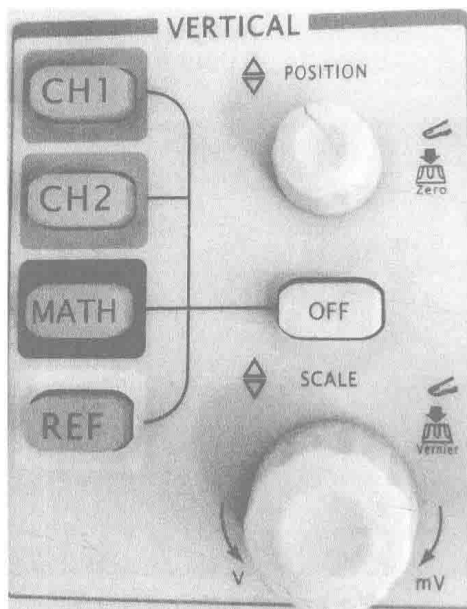


图 1.1.7 垂直控制系统

通过波形窗口下方的状态栏显示的信息，可以确定任何垂直挡位的变化。转动垂直 SCALE 旋钮改变 “Volt/div (伏/格)” 垂直挡位，可以发现状态栏对应通道的挡位显示发生了相应的变化。按 **CH1**、**CH2**、**MATH** 按键，屏幕显示对应通道的操作菜单、标志、波形和挡位状态信息。按 **OFF** 按键关闭当前选择的通道。

Vernier (微调) 快捷键：可通过按下垂直 SCALE 旋钮作为设置输入通道的/微调状态的快捷键，然后调节该旋钮即可微调垂直挡位。

5) 水平系统的使用

如图 1.1.8 所示，水平控制区 (HORIZONTAL) 有一个按键、两个旋钮。

使用水平 SCALE 旋钮改变水平挡位设置，并观察因此导致的状态信息变化。转动水平 SCALE 旋钮改变 “s/div (秒/格)” 水平挡位，可以发现状态栏对应通道的挡位显示发生了相应的变化。水平扫描速度从 2ns 至 50s，以 1-2-5 倍的形式步进。

Zoom (局部缩放) 快捷键：水平 SCALE 旋钮不但可以通过转动调整 “s/div (秒/格)”，更可以按下切换到延迟扫描状态，示波器以两种不同扫描速度同时扫描一个信号，延迟扫描是主扫描的放大部分。

使用水平 POSITION 旋钮调整信号在波形窗口的水平位置。水平 POSITION 旋钮控制信号的触发位移。当应用于触发位移时，转动水平 POSITION 旋钮时，可以观察到波形随旋钮而水平移动。

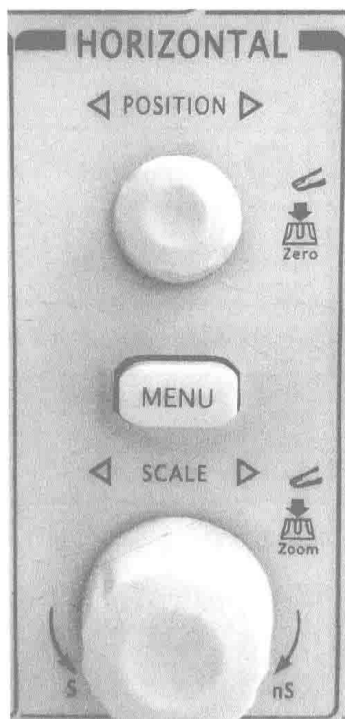


图 1.1.8 水平控制区

触发点位移恢复到水平零点快捷键：水平 **POSITION** 旋钮不但可以通过转动调整信号在波形窗口的水平位置,更可以按下该键使触发位移(或延迟扫描位移)恢复到水平零点处。

按 **MENU** 按钮,显示 TIME 菜单。在此菜单下,可以开启/关闭延迟扫描或切换 Y-T、X-Y 和 ROLL 模式,还可以设置水平触发位移复位。

触发位移:指实际触发点相对于存储器中点的位置。转动水平 **POSITION** 旋钮,可水平移动触发点。

6) 触发系统的使用

触发控制区(TRIGGER)有一个旋钮、三个按键,如图 1.1.9 所示。

使用 **LEVEL** 旋钮改变触发电平设置。转动 **LEVEL** 旋钮,可以发现屏幕上出现一条橘红色的触发线以及触发标志,随旋钮转动而上下移动。停止转动旋钮,此触发线和触发标志会在约 5s 后消失。在移动触发线的同时,可以观察到在屏幕上触发电平的数值发生了变化。

触发电平恢复到零点快捷键:旋动 **LEVEL** 旋钮不但可以改变触发电平值,更可以通过按下该旋钮作为设置触发电平恢复到零点的快捷键。

使用 **MENU** 调出触发设置菜单如图 1.1.10 所示,改变触发的设置,观察由此造成的状态变化。

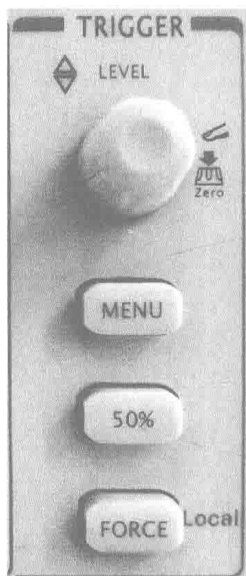


图 1.1.9 触发控制区



图 1.1.10 触发设置菜单

按 1 号菜单操作按键，选择“触发模式”边沿触发。

按 2 号菜单操作按键，选择“信源选择”为 CH1。

按 3 号菜单操作按键，设置“边沿类型”为  (上升沿)。

按 4 号菜单操作按键，设置“触发方式”为自动。

按 5 号菜单操作按键，进入“触发设置”二级菜单，对触发的耦合方式、触发灵敏度和触发释抑时间进行设置。

注意：改变前三项的设置会导致屏幕右上角状态栏的变化。

按 **50%** 按钮，设定触发电平在触发信号幅值的垂直中点。

按 **FORCE** 按钮：强制产生一个触发信号，主要应用于触发方式中的“普通”和“单次”模式。

触发释抑：指重新启动触发电路的时间间隔。旋动多功能旋钮()，可设置触发释抑时间。

四、实验内容

1. 熟悉信号源模块。

信号源操作区示意图如图 1.1.11 所示，具体的实验箱信号源操作区图片如图 1.1.12 所示。