

新世纪电子信息课程系列规划教材

模拟电路实验与EDA技术

MONI DIANLU SHIYAN YU
EDA JISHU

主 编 郭永贞

副主编 刘 勤 袁 梦



东南大学出版社

SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

新世纪电子信息课程系列规划教材

模拟电路实验与 EDA 技术

主 编 郭永贞
副主编 刘 勤 袁 梦
参 编 许其清 王小征 刘 祎

东南大学出版社
• 南 京 •

内 容 简 介

本书是《模拟电子技术》、《电子技术》等课程的实践教学指导教材。书中除了介绍一般常用电子仪器和模拟电子技术常规实验,还介绍了 Multisim 10、Proteus 等 EDA 软件及其仿真实验、ispPAC 可编程模拟电路实验,以及模拟电路课程设计的一般教学过程、举例和多个课程设计题选。在实验项目中,安排了验证型实验、设计型实验和综合应用型实验。

本书可作为工科专业电子技术基础课程的实践教学指导用书,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电路实验与 EDA 技术 / 郭永贞主编. —南京:东南大学出版社,2011.9

新世纪电子信息课程系列规划教材

ISBN 978-7-5641-2886-9

I. ①模… II. ①郭… III. ①模拟电路—实验—高等学校—教材②电子电路—电路设计:计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TN710-33②TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 125427 号

模拟电路实验与 EDA 技术

出版发行 东南大学出版社

出 版 人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 全国新华书店

印 刷 南京新洲印刷有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 17

字 数 424 千字

版 次 2011 年 9 月第 1 版

印 次 2011 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-2886-9

印 数 1—3500

定 价 36.00 元

(凡因印装质量问题,请与我社读者服务部联系。电话:025-83792328)

前 言

《模拟电子技术》、《电子技术》是很多专业的技术基础课,又是实践性很强的课程。因此,优化《模拟电子技术》、《电子技术》等课程的实践教学,是提高课程教学质量的重要环节。为此,我们在进行电子技术实践教学改革过程中编写了该教材,旨在优化模拟电子技术的实验和课程设计的教学内容、方法,达到提高学生综合素质的目的。在编写中特别注意了以下几方面:

(1) 突出新技术、新器件的应用。引入了 Multisim 10、Proteus 仿真实验及可编程模拟电路(ispPAC)实验等电子设计自动化(EDA)技术,为学生以后深入学习 EDA 技术打下基础。

(2) 注意了基础训练与创新提高相结合。在实验项目安排中,分为验证型、设计型和综合应用型等类型,以求尽可能兼顾不同层次和不同要求的《电子技术基础》课程进行实践教学的安排,也利于使用该书的读者在多方面有所收益。

(3) 提供了 25 个课程设计题选,可以兼顾不同层次和不同教学计划的需求。

该书第 1、第 2 章由许其清编写,第 3.1、第 3.2、第 3.4、第 3.5 由袁梦编写,第 3.3、第 3.6 由刘祎编写,第 4 章由刘勤编写,第 5 章由王小征编写,郭永贞编写了第 6 章并负责全书的统稿。

由于编者水平有限,错误和疏漏在所难免,衷心欢迎读者提出宝贵意见。

编 者

2011 年 2 月

目 录

1	常用电子仪器	(1)
1.1	DF4321C 型双踪示波器	(1)
1.2	SG1005 型信号发生器/计数器	(8)
1.3	EM2181 型智能交流毫伏表	(17)
1.4	MF-47 型万用表	(17)
1.5	BT-3 型频率特性测试仪	(20)
1.6	DVCC-AL2 型模拟电路实验箱	(21)
2	模拟电子技术常规实验	(23)
2.1	验证型实验	(23)
2.1.1	常用电子仪器使用实验	(23)
2.1.2	单管交流放大电路实验	(26)
2.1.3	多级放大电路实验	(29)
2.1.4	负反馈放大电路实验	(31)
2.1.5	由集成运算放大器构成的电压比较器实验	(33)
2.1.6	集成功率放大电路实验	(35)
2.1.7	整流-滤波-稳压电路实验	(36)
2.2	设计型实验——集成运算放大器基本运算电路实验	(38)
2.3	综合应用型实验——波形发生电路实验	(41)
3	Multisim 10	(44)
3.1	概述	(44)
3.2	Multisim 10 的基本界面	(45)
3.2.1	Multisim 10 的主窗口	(45)
3.2.2	Multisim 10 的标题栏	(46)
3.2.3	Multisim 10 的菜单栏	(46)
3.2.4	Multisim 10 的工具栏	(56)
3.2.5	Multisim 10 的元件库	(57)
3.3	Multisim 10 的虚拟仪器及其使用方法	(71)
3.3.1	虚拟仪器的类型和操作步骤	(71)
3.3.2	数字万用表	(72)
3.3.3	函数发生器	(73)
3.3.4	瓦特表	(74)
3.3.5	示波器	(74)
3.3.6	波特图仪	(76)
3.3.7	频率计	(76)
3.3.8	频谱分析仪	(77)

3.4	Multisim 10 的基本操作方法	(78)
3.4.1	电路的创建和运行	(78)
3.4.2	基本操作方法	(78)
3.5	Multisim 10 的电路分析方法	(80)
3.5.1	直流静态工作点分析	(81)
3.5.2	交流分析	(83)
3.5.3	瞬态分析	(85)
3.5.4	傅里叶分析	(86)
3.5.5	噪声分析	(88)
3.5.6	直流扫描分析	(90)
3.5.7	参数扫描分析	(91)
3.6	仿真实验举例	(92)
3.6.1	由集成运放组成的正弦波-方波-三角波信号发生电路	(92)
3.6.2	电压超限检测电路	(95)
4	Proteus 入门	(98)
4.1	概述	(98)
4.2	Proteus 7.5 的基本界面	(98)
4.2.1	Proteus 7.5 的主窗口	(98)
4.2.2	Proteus 7.5 的标题栏	(100)
4.2.3	Proteus 7.5 的主菜单栏	(100)
4.2.4	Proteus 7.5 的通用工具栏	(108)
4.2.5	Proteus 7.5 的专用工具栏	(110)
4.2.6	Proteus 7.5 的转向工具栏	(111)
4.2.7	Proteus 7.5 的仿真工具栏	(111)
4.3	Proteus 7.5 的库元件	(111)
4.3.1	类	(111)
4.3.2	子类	(113)
4.4	Proteus 7.5 的激励源和仪器	(119)
4.4.1	激励源	(120)
4.4.2	电压探针和电流探针	(121)
4.4.3	仪器库	(122)
4.4.4	图表仿真	(125)
4.5	Proteus 7.5 的基本操作方法	(130)
4.5.1	电路的创建和运行	(130)
4.5.2	电路原理图的设计流程	(132)
4.6	Proteus 的电路分析方法	(133)
4.6.1	直流工作点分析	(133)
4.6.2	交流频率分析	(135)
4.6.3	瞬态分析	(136)
4.6.4	噪声分析	(137)
4.6.5	失真分析	(138)

4.6.6	傅里叶分析	(139)
4.6.7	交流扫描分析	(140)
4.6.8	直流扫描分析	(141)
4.6.9	转移特性分析	(142)
4.7	基于 Proteus 的模拟电路综合实验	(144)
4.7.1	方波-三角波、矩形波-锯齿波信号发生电路实验	(144)
4.7.2	直流稳压电源实验	(148)
5	可编程模拟电路实验	(151)
5.1	可编程模拟电路芯片	(151)
5.2	可编程模拟电路软件	(159)
5.3	可编程模拟电路设计举例	(167)
5.4	可编程模拟电路实验的目的、要求和方法	(172)
5.4.1	实验 1:用 ispPAC10 芯片设计增益为 N 的放大电路	(173)
5.4.2	实验 2:用 ispPAC10 芯片设计增益为非整数倍的放大电路	(174)
5.4.3	实验 3:用 ispPAC20 芯片设计 3 V 过压监控电路	(175)
5.4.4	实验 4:ispPAC20 芯片二阶滤波器的实现	(176)
5.4.5	实验 5:ispPAC80 芯片低通可编程滤波器的实现	(177)
6	模拟电子技术课程设计	(179)
6.1	模拟电子技术课程设计的目的和要求	(179)
6.2	模拟电子技术课程设计的一般教学过程	(179)
6.2.1	教学阶段安排	(179)
6.2.2	各教学阶段基本要求	(179)
6.2.3	模拟电子技术课程设计中应注意的问题	(182)
6.3	模拟电子技术课程设计举例	(184)
6.3.1	音频信号发生器设计	(184)
6.3.2	直流稳压电源设计	(195)
6.3.3	数控直流稳压电源设计(模数混合型电路)	(199)
6.3.4	电压超限指示报警电路的设计和调试(模数混合型电路)	(202)
6.4	模拟电子技术课程设计题选	(205)
6.4.1	课题 1:直流电源串联稳压电路设计	(206)
6.4.2	课题 2:2 路固定输出稳压电源电路设计	(207)
6.4.3	课题 3:4 路固定输出稳压电源电路设计	(208)
6.4.4	课题 4:2 路可调输出稳压电源电路设计	(209)
6.4.5	课题 5:方波-三角波和矩形波-锯齿波发生电路设计	(210)
6.4.6	课题 6:正弦波-方波-三角波发生电路设计	(211)
6.4.7	课题 7:电压控制振荡电路(锯齿波-脉冲波发生电路)设计	(212)
6.4.8	课题 8:火灾报警电路设计	(213)
6.4.9	课题 9:简易温度报警电路设计	(214)
6.4.10	课题 10:电容测量电路设计	(215)
6.4.11	课题 11:“窗口”电压检测电路设计	(217)

6.4.12	课题 12:多功能有源滤波器电路设计	(218)
6.4.13	课题 13:心电图信号放大器设计	(220)
6.4.14	课题 14:万用电表电路设计	(221)
6.4.15	课题 15:实用低频功率放大器电路设计	(222)
6.4.16	课题 16:变调门铃电路设计	(224)
6.4.17	课题 17:楼道灯延时开关电路设计	(225)
6.4.18	课题 18:市电用电过、欠电压保护电路设计	(226)
6.4.19	课题 19:市电相、零线反接自动矫正电路设计	(227)
6.4.20	课题 20:声光报警电路设计	(228)
6.4.21	课题 21:简易温度调节器电路设计	(229)
6.4.22	课题 22:恒温控制装置电路设计	(230)
6.4.23	课题 23:自动绕线设备电路设计	(231)
6.4.24	课题 24:基于 PAC 芯片的可编程温度监控系统电路设计	(232)
6.4.25	课题 25:基于 PAC 芯片的交流小信号电压测量系统电路设计	(233)
附录		(235)
附录 A 全国大学生电子设计竞赛题选		(235)
A1	简易数字存储示波器(2001 年 B 题)	(235)
A2	电压控制 LC 振荡器(2003 年 A 题)	(236)
A3	宽带放大器(2003 年 B 题)	(237)
A4	低频数字式相位测量仪(2003 年 C 题)	(238)
A5	正弦信号发生器(2005 年 A 题)	(240)
A6	集成运放参数测试仪(2005 年 B 题)	(241)
A7	简易频谱分析仪(2005 年 C 题)	(243)
A8	单工无线呼叫系统(2005 年 D 题)	(244)
A9	音频信号分析仪(2007 年 A 题)	(245)
A10	无线识别装置(2007 年 B 题)	(246)
A11	数字示波器(2007 年 C 题)	(248)
A12	程控滤波器(2007 年 D 题)	(249)
A13	开关稳压电源(2007 年 E 题)	(250)
A14	积分式直流数字电压表(2007 年高职高专组 G 题)	(252)
A15	信号发生器(2007 年高职高专组 H 题)	(253)
A16	可控放大器(2007 年高职高专组 I 题)	(254)
A17	简易数字集成电路参数测试仪(2009 年题 1)	(255)
A18	调频扫描接收机(2009 年题 2)	(256)
A19	智能电动车(2009 年题 3)	(257)
A20	正弦波功率输出装置(2009 年题 5)	(258)
A21	程控交流电压源(2009 年题 6)	(258)
A22	小型数控交流电流源(2009 年题 7)	(258)
A23	数字显示交流毫伏表(2009 年题 8)	(259)
参考文献		(261)



常用电子仪器

1.1 DF4321C 型双踪示波器

双踪示波器是目前实验室中广泛使用的一种示波器。DF4321C 型示波器是便携式双通道示波器,垂直系统最小垂直偏转因数为 1 mV/div ,水平系统具有 $0.5\text{ s/div} \sim 0.1\text{ }\mu\text{s/div}$ 的扫描速度,并设有扩展 $\times 10$,可将扫速提高到 10 ns/div 。本系列示波器具有以下特点:便携式,稳定可靠;Y 轴量程和扫描时基由脉冲式电子开关控制和数字显示;具有自动、触发、电视信号同步功能,可同步锁定;交替触发功能可以观察两个频率不相关的信号波形。

1) 技术指标

(1) 垂直系统

灵敏度: $1\text{ mV/div} \sim 5\text{ V/div}$,按 1、2、5 顺序分 12 挡。

精度:DC $\sim 20\text{ MHz}$ 。

微调范围: $>2.5:1$ 。

带宽(-3 dB):DC $\sim 20\text{ MHz}$ 。

输入阻抗:直接输入为 $1\text{ M}\Omega \pm 0.02\text{ M}\Omega$, $25\text{ pF} \pm 2\text{ pF}$;使用 10:1 探头为 $10\text{ M}\Omega \pm 0.5\text{ M}\Omega$, $16\text{ pF} \pm 2\text{ pF}$ 。

最大输入电压: $300\text{ V}(\text{DC} + \text{AC}(\text{峰-峰}))$ 。

幅度线性误差: $\leq 5\%$ 。

工作方式:CH1、CH2、ALT、CHOP、ADD。

(2) 触发系统

触发系统:内触发:DC $\sim 20\text{ MHz}$, 1.5 div ;外触发:DC $\sim 20\text{ MHz}$, 0.5 V 。

自动方式下限频率: 25 Hz 。

外触发最大输入电压: $300\text{ V}(\text{DC} + \text{AC}(\text{峰-峰}))$ 。

触发源:CH1、CH2、VERT、LINE、EXT。

触发方式:常态、自动、电视场(TV-V、TV-H)。

(3) 水平系统

扫描速度: $0.5\text{ s/div} \sim 0.1\text{ }\mu\text{s/div}$,按 1、2、5 顺序分 21 挡,扩展 $\times 10$ 。

精度: $\pm 3\%$;扩展 $\times 10$ 时为 $\pm 10\%$ 。

扫描线性: $\times 1$ 时为 $\pm 5\%$; $\times 10$ 时为 $\pm 10\%$ 。

(4) X-Y 方式

灵敏度: $1\text{ mV/div} \sim 5\text{ V/div}$,按 1、2、5 顺序分 12 挡。

精度:DC $\sim 20\text{ MHz}$ 。

X 带宽(-3 dB):DC 为 $0 \sim 1\text{ MHz}$;AC 为 $10\text{ Hz} \sim 1\text{ MHz}$ 。

相位差: $< 3^\circ$ (DC $\sim 50\text{ kHz}$)。

(5) Z 轴系统

灵敏度:5 V 低电平加亮。

输入阻抗:33 k Ω 。

带宽:DC~2 MHz。

最大输入电压:30 V(DC+AC(峰-峰))。

(6) 校正信号

波形:对称方波。

幅度:0.5 V $\pm$ 0.01 V。

频率:1 kHz $\pm$ 0.02 kHz。

(7) CH1 垂直信号输出

带宽:50 Hz~5 MHz。

输出电压: ≥ 20 mV/div(输出端配 50 Ω 负载)。

(8) 示波管

有效工作面:8 cm $\times$ 10 cm。

发光颜色:绿色。

(9) 电源

电压范围:电源电压 110 V 时为 99~121 V;电源电压 220 V 时为 198~242 V。

频率:48 Hz~62 Hz。

功耗:30 W。

(10) 物理特性

重量:6.5 kg。

外形尺寸:37 cm $\times$ 31 cm $\times$ 13 cm。

(11) 环境条件

工作温度:0 $^{\circ}$ C~40 $^{\circ}$ C。

工作湿度:相对湿度为 35%~85%。

2) 面板控制件

DF4321C 型示波器前、后面板的布局如图 1.1.1 和图 1.1.2 所示。

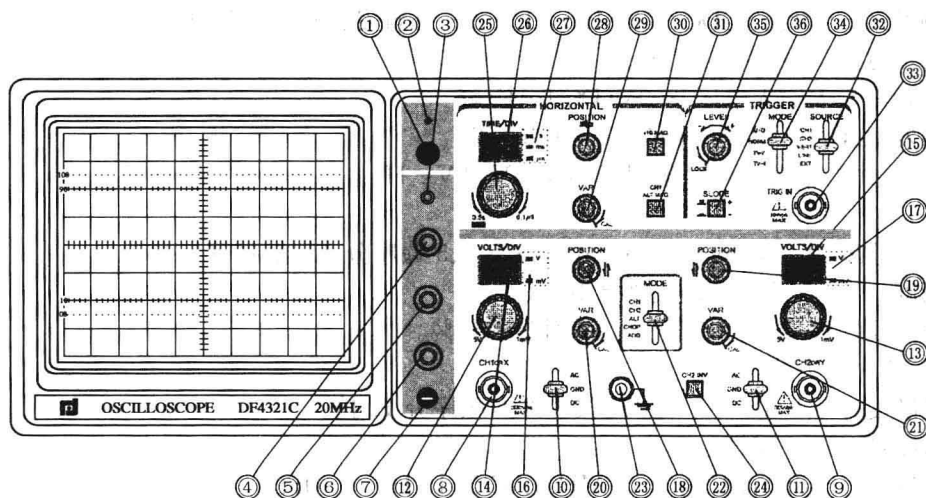


图 1.1.1 DF4321C 型示波器的前面板

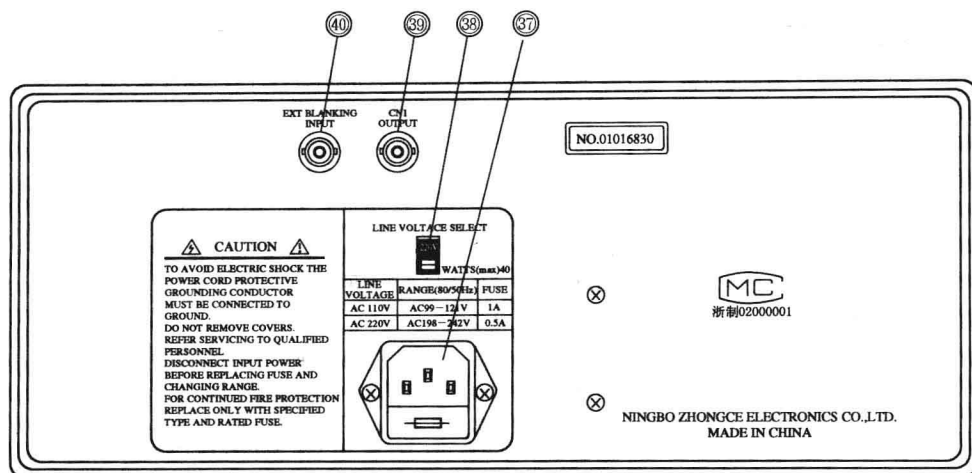


图 1.1.2 DF4321C 型示波器的后面板

表 1.1.1 为 DF4321C 型示波器各控制件的功能。

表 1.1.1 DF4321C 型示波器各控制件的功能

序 号	面板标志	名 称	功 能
①	POWER	电源开关	按下时电源接通,弹出时关闭
②	LAMP	电源指示灯	当电源在“ON”状态时,指示灯亮
③	TRACE ROTATION	轨迹旋转控制	用来调节扫描线与水平刻度线的平行
④	INTENSITY	亮度控制	轨迹亮度调节
⑤	FOCUS	聚焦控制	调节光点的清晰度,使其又圆又小
⑥	ILLUM	刻度照明控制	在黑暗的环境或照明刻度线时调此旋钮
⑦	CAL 0.5 V	校正信号	提供幅度为 0.5 V、频率为 1 kHz 的方波信号,用来调整探头的补偿和检测垂直和水平电路的基本功能
⑧	CH1 INPUT	通道 1 输入	被测信号的输入通道,当仪器工作在 X-Y 方式时,此端输入的信号变为 X 轴方向
⑨	CH2 INPUT	通道 2 输入	与 CH1 相同,当仪器工作在 X-Y 方式时,此端输入的信号变为 Y 轴方向
⑩⑪	AC-GND- DC	输入耦合开关	开关用于选择输入信号馈至 Y 轴放大器之间的耦合方式。AC: 输入信号通过电容器与垂直轴放大器连接,输入信号的 DC 成分被截止,仅有 AC 成分显示。GND: 垂直轴放大器的输入接地。DC: 输入信号直接连接到垂直轴放大器,包括 DC 和 AC 成分
⑫⑬	VOLTS/div	电压挡位和校正/非校正选择开关	CH1 和 CH2 通道灵敏度调节,1 mV/div~5 V/div 共 12 挡,由⑭⑮数字显示。向下按此开关,校正/非校正转换。处于非校正状态时,微调电位器⑳、㉑有作用
⑭⑮		电压量程数字显示	当⑫⑬电压选择开关调节时,数字显示相应的量程挡位。当与 10:1 的探头一起组合使用时,读数×10
⑯⑰	V,mV	电压单位指示灯	灯亮表示显示单位为 V/div 或 mV/div,灯闪烁表示处于非校正位置
⑱⑲	POSITION	移位电位器	此旋钮用于调节垂直方向位移

续表 1.1.1

序 号	面板标志	名 称	功 能
②①	VAR	微调电位器	通过⑫⑬电压选择非校正状态时,可小范围改变垂直偏转灵敏度,逆时针旋转到底,变换范围大于 2.5 倍
②②	V. MODE	垂直工作方式选择开关	此开关用于选择垂直偏转系统的工作方式。CH1: CH1 通道的信号出现在屏幕上。CH2: CH2 通道的信号出现在屏幕上。ALT: CH1、CH2 通道的信号能交替显示在屏幕上,这种工作方式通常用于观察信号频率较高的情况。CHOP: 在此工作方式下,CH1、CH2 通道的信号受 250 kHz 自激振荡电子开关的控制,同时显示在屏幕上。ADD: CH1、CH2 通道的信号的代数和出现在屏幕上
②③	GND	接地端	示波器的接地端
②④	CH2 INV	CH2 极性按钮	用来倒置 CH2 上的输入信号极性。可方便地比较不同极性的两个波形,利用 ADD 能获得 CH1 与 CH2 的代数和
②⑤	TIME/div	扫描时间因数和校正/非校正选择开关	扫描时间因数 0.5 s/div~0.1 μ s/div 共 21 挡,逆时针到底为 X-Y 状态,X 轴信号连接到 CH1 输入,Y 信号连接到 CH2 输入,偏转范围为 1 mV/div~5 V/div。向下按此开关,校正/非校正状态转换。处于非校正状态时,微调电位器②⑨起作用
②⑥		扫描时间因数数字显示	当②⑤扫描时间因数选择开关调节时,数字显示相应的量程。当③⑩ $\times 10$ MEG 开关按下时,显示数字除 10
②⑦	s, ms, μ s	扫描时间因数单位指示灯	灯亮指示当前单位,灯闪烁表示处于非校正位置
②⑧	POSITION	水平移位电位器	此旋钮用于水平移动扫描线,顺时针旋转扫描线向右移动,逆时针向左移动
②⑨	VAR	扫描微调电位器	通过②⑤选择非校正状态时,可小范围改变扫描时间因数,逆时针旋转到底,变换范围大于 2.5 倍
③⑩	$\times 10$ MAG	扩展 10 倍按钮	此按钮按下,扫描乘 10
③①	ALT MAG	通道 1 交替扩展开关	垂直模式开关处于“CH1”时,此开关按下,CH1 通道能以 $\times 1$ 和 $\times 10$ 两种状态交替显示
③②	TRIGGER SOURCE	同步触发源选择开关	CH1: 取通道 1 的信号为触发源。CH2: 取通道 2 的信号为触发源。VRET: 触发源交替取自 CH1、CH2,用于同时观察两个不同频率的波形。LINE: 取电源信号为触发源。EXT: 取③③ TRIG INPUT 的外接信号为触发源,用于垂直方向上特殊的信号触发
③③	TRIG INPUT	外触发输入	输入端用于外触发信号
③④	TRIG MODE	触发方式选择开关	自动(AUTO): 仪器始终自动触发,并能显示扫描线,当有触发信号存在时,同正常的扫描触发,波形能稳定显示。常态(NORM): 只有当触发信号存在时,才能触发扫描,在没信号和非同步状态情况下,没有扫描线,该工作方式适用于低频信号(25 Hz 以下)。电视场(TV-V): 本方式能观察电视信号的场信号波形。电视(TV-H): 本方式能观察电视信号的行信号波形
③⑤	TRIG LEVEL LOCK	触发电平控制旋钮带锁定开关	通过调节本旋钮控制触发电平的起始点。逆时针转到底,同步锁定,始终零电平触发
③⑥	SLOPE	触发极性选择开关	弹出是“+”极性触发,按进去是“-”极性触发
③⑦	AC INLET	电源插座	交流电源输入插座
③⑧	LINE VOLTAGE SELECT	电源选择开关	110 V 或 220 V 电源设置

续表 1.1.1

序 号	面板标志	名 称	功 能
③⑨	CH1 OUTPUT	CH1 输出插口	输出 CH1 通道信号的取样信号
④⑩	EXT BLANKING	外增辉输入插座	用于辉度调节。它是直流耦合,加入正信号辉度降低,加入负信号辉度增加

3) 操作方法

(1) 测量前的检查

为了使本仪器能经常保持良好的使用状态,应进行测量前的检查。这种检查方法也适用以后的操作方法及应用测量。使用前先将面板相关的控制件预设如表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 面板相关的控制件预设

控制件	预 设 状 态
电源(POWER)	关
辉度 (INTEN)	逆时针转到底
聚焦 (FOCUS)	居中
AC-GND-DC	GND
位移 (POSITION)	居中
垂直工作方式 (V. MODE)	CH1
触发 (TRIGER MODE)	AUTO
触发源 (TRIG SOURCE)	CH1
水平位移 (POSITION)	居中
各开关按钮	弹出状态

在完成了所有上面的准备工作后,打开电源。15 s 后,顺时针旋转辉度旋钮,扫描线将出现。调节聚焦旋钮置扫描线最细,接着调整 TRACE ROTATION 以使扫描线与水平刻度保持平行。此时垂直灵敏度为 5.0 V/div,扫描因数为 1.0 ms/div,都处于校正状态。如果打开电源而仪器不使用,应逆时针旋转辉度旋钮,降低亮度。

注意:在测量参数的过程中,应置“校正”位置,为了使所测得数值正确,预热时间至少应在 30 min 以上。若仅为显示波形,则不必进行预热。

(2) 观察一个波形

若不观察两个波形的相位差或除 X-Y 工作方式以外的其他工作状态,可用 CH1 或 CH2。

若选用 CH1 时,控制件位置如下:

垂直工作方式(V. MODE):通道 1 (CH1);

触发方式(TRIG MODE):自动 (AUTO);

触发信号源(TRIG SOURCE):通道 1 (CH1)。

在此情况下,可同步所有加到 CH1 通道上、频率在 25 Hz 以上的重复信号。调节触发电平旋钮可获得稳定的波形。因为水平轴的触发方式处在自动位置,当没有信号输入或当输入耦合开关处在地(GND)位置时,亮线仍然显示。这就意味着可以测量直流电压。当观察低频信号(小于 25 Hz)时,触发方式(TRIG MODE)必须选择常态(NORM)。

若选用 CH2 通道时,控制件位置如下:

垂直工作方式(V. NORM):通道 2 (CH2);

触发方式(TRIG MODE):自动 (AUTO);

触发信号源(TRIG SOURCE):通道 2 (CH2)。

(3) 观察两个波形

当垂直工作方式开关置交替(ALT)或断续(CHOP)时就可以很方便地观察两个波形。当两个波形的频率较高时,工作方式用交替(ALT),当两个波形的频率较低时,工作方式用断续(CHOP)。

(4) 信号馈接和探头的使用

当高精度测量高频波形时,使用附件中的探头。应注意,当输入信号接到示波器输入端被探头衰减到原来的 $1/10$ 时,对小信号观察不利,但却扩大了信号的测量范围。

需要注意:

① 不要直接加大于 300 V (DC 加 AC(峰-峰))的信号。

② 当测量高速脉冲信号或高频信号时,探头接地点要靠近被测点,较长接地线能引起振铃和波形的畸变。良好的测量必须使用经过选择的接地附件。

③ V/div 读数的幅值乘 10 。例如:如果 V/div 的读数在 50 mV/div ,读出的波形是 $50\text{ mV/div} \times 10 = 500\text{ mV/div}$ 。

为了避免测量误差,在测量前应按下列方法进行校正和检查以消除误差。将探头探针接到校正方波 0.5 V (1 kHz) 输出端,正确的电容值将产生如图 1.1.3(a)所示的平顶波形。如果波形出现如图 1.1.3(b)和图 1.1.3(c)所示的波形,可调整探头上校正孔的电容补偿,直至获得平顶波形。



图 1.1.3 平顶波形

当不使用探头 $\times 10$ 而直接将信号接到示波器时,应注意下列几点,以最大限度减少测量误差。

① 使用无屏蔽层连接导线时,对于低阻抗、高电平电路不会产生干扰。应注意,其他电路和电源线的静态寄生耦合可能引起测量误差,即使在低频范围,这种测量误差也是不能忽略的。通常为使用可靠而不采用无屏蔽导线。使用屏蔽线时将屏蔽层的一端与示波器接地端连接,另一端接至被测电路的地线。最好是使用具有卡口连接器(BNC)的同轴电缆线。

② 进行宽频带测量时,当测量快速上升波形和高频信号波形时,需使用终端阻抗匹配的电缆。特别在使用长电缆时,当终端不匹配时,将会因振铃现象导致测量误差。有些测量电路还要求端电阻等于测量的电缆特性阻抗,而具有 BNC 的电缆终端电阻($50\ \Omega$)可以满足此目的。

③ 为了对具有一定工作特性的被测电路进行测量,需要用终端与被测电路阻抗相当的电缆。使用较长的屏蔽线进行测量时,屏蔽线本身的分布电容要考虑在内。因为通常的屏蔽线具有 100 pF 的分布电容,它对被测电路的影响是不能忽略的。使用探头能减少对被测电路的影响。

④ 当所用的屏蔽线或无终端电缆的长度达到被测信号的 $1/4$ 波长或它的倍数时,即使

使用同轴电缆,在 5 mV/div (最灵敏挡)范围附近也能引起振荡。这是由于外接高 Q 值电感和仪器输入电容产生谐振所引起的。避免的方法是降低连接线的 Q 值。可将 $100\ \Omega \sim 1\text{ k}\Omega$ 的电阻串联到无屏蔽线或电缆中加到仪器的输入端,或在其他 V/div 挡进行测量。

⑤ 观察 X-Y 工作方式下的波形

置时基开关 TIME/div 到 X-Y 状态,此时示波器工作在 X-Y 方式。

加到示波器各输入端的情况如下:

X 轴信号:由 CH1 输入;

Y 轴信号:由 CH2 输入。

同时,水平扩展($\times 10\text{ MAG}$)开关弹出。

4) 测量方法

(1) 测量前的准备工作

调节亮度并聚焦于适当的位置,最大可能地减小显示波形的读出误差。使用探头时应检查电容补偿。

(2) 直流电压的测量

置 AC-GND-DC 输入开关在 GND 位置,以确定零电平的位置。置 V/div 开关于适当位置(避免信号过大或过小而观察不出),置 AC-GND-DC 开关于 DC 位置。这时扫描亮线随 DC 电压的大小上下移动(相对于零电平时),信号的直流电压是位移幅值与 V/div 开关显示值的乘积。例如,当 V/div 开关显示在 50 mV/div 挡时,位移的幅值是 4.2 div ,则直流电压为 $50\text{ mV/div} \times 4.2\text{ div} = 210\text{ mV}$,如果使用 $10:1$ 探头,则直流电压为上述值的 10 倍,即 $50\text{ mV/div} \times 4.2\text{ div} \times 10 = 2.1\text{ V}$ 。

(3) 交流电压的测量

与前述“直流电压的测量”相似,但在这里不必在刻度上确定零电平。可以按方便观察的目的调节零电平。当 V/div 开关为 1 V/div ,若图形显示 5 div ,则 $1\text{ V/div} \times 5\text{ div} = 5\text{ V}$ (峰-峰)(当使用 $10:1$ 的探头测量时是 50 V (峰-峰)),当观察叠加在较高直流电平上的小幅度交流信号时,置 AC-GND-DC 开关于 AC,这样就截断了直流电压,能大大提高 AC 电压测量的灵敏度。

(4) 频率和周期的测量

若一个周期的 A 点和 B 点在屏幕上的间隔为 2 div (水平方向),当扫描时间定为 1 ms/div 时,周期是 $1\text{ ms/div} \times 2.0\text{ div} = 2\text{ ms}$,频率是 $1/2\text{ ms} = 500\text{ Hz}$ 。当扩展 $\times 10$ 旋钮被拉出时, TIME/div 显示的读数必须乘 $1/10$,因为扫描扩展了 10 倍。

(5) 两个波形的同步观察

当 CH1 和 CH2 通道的两个信号具有相同的频率或频率之间成整数倍或频率之间具有时间差时,内触发(INT TRIG)选择开关可以任意选 CH1 或 CH2 的信号作为基准信号。CH1 位移旋钮可选择 CH1 信号作基准信号,CH2 位移旋钮可选择 CH2 信号作基准信号。

为了同时观察不同频率的信号,置内触发选择开关于组合方式(VERT MODE),这样同步信号交替选择,每个通道都能稳定触发。

① 组合触发方式触发源的选择

在下列状况下可获得触发信号:置触发源开关(SOURCE)至组合(VERT);选择垂直

工作方式开关(MODE)。触发信号源与垂直工作方式开关之间的关系见表 1.1.3。

表 1.1.3 触发信号源与垂直工作方式开关之间的关系

触发源 (SOURCE MODE)		内			电 源	外
		CH1	CH2	VERT		
垂 直 工 作 方 式	CH1	CH1	CH2	CH1	电 源	外
	CH2	CH1	CH2	CH2		
	交替(ALT)	CH1	CH2	CH1 和 CH2 交替		
	断续(CHOP)	CH1	CH2	CH1 和 CH2 断续		
	相加(ADD)	CH1	CH2	CH1 和 CH2 相加		

当触发源(TRIG SOURCE)开关置组合(VERT),垂直工作方式开关置交替(ALT),加到 CH1 和 CH2 两通道的输入信号各自触发扫描,也就是当不同频率的两个波形同时观察时,每个通道的波形都能稳定触发。在这种情况下,信号必须同时加到 CH1 和 CH2 通道,并且两信号各自的幅值必须超过一个相同的电平,也就是有一个共同的电平包含在 CH1 和 CH2 信号的幅值中。

当正弦波加到 CH1 通道,方波加到 CH2 通道时,为了扩大同步范围,当 CH2 采用交流耦合,同步电平范围就从“A”增加到“B”,当 CH1 或 CH2 中的任一个输入信号太小,调节 V/div 开关⑫或⑬以达到足够的幅度。

组合触发方式(VERT MODE)观察 CH1 或 CH2 通道时至少需要 1.5 div 的幅度才可触发。当只有一个通道加有信号时,使用组合触发方式(VERT MODE)是不合适的。

注意:当垂直系统灵敏度开关处于 1 mV/div 或 2 mV/div 时,TRIGGER SOURCE 不要用组合方式(VERT)。

② 交替触发器

在 TRIGGER SOURCE 开关选在组合方式(VERT MODE)、垂直工作方式(MODE)选择开关置交替(ALT)的情况下,当显示一个倾斜极性信号时,还可同时显示 10 个周期以下的三角波。但为了精确和清楚地观察每个信号,应分别置垂直工作方式(MODE)开关于 CH1 和 CH2。

1.2 SG1005 型信号发生器/计数器

SG1005 型信号发生器/计数器采用大规模 CMOS 集成电路、超高速 ECL、TTL 电路和高速微处理器,内部电路采用表面贴片技术,大大提高了抗干扰性。操作界面采用全中文化交互式菜单。SG1005 型信号发生器/计数器的主要特点是:采用直接数字合成(DDS)技术,超低功耗;正弦波、方波输出频率为 0.01 Hz~20 MHz;脉冲波、三角波输出频率为 0.01 Hz~1 MHz;内部含有精密衰减电路,使小信号输出更加准确;波形频率分辨率可达 0.01 Hz;具有频率、幅度、相位调制功能和外调幅功能;具有频率、幅度、相位键控功能;具有任意起点、终点的频率调制、扫描功能;具有频率测量、周期测量、正负脉宽测量和计数功能;所有参量均可由内部程序完成校准;主波 200 kHz 以下可输出任意个数的波形,调制波、键控波全频段可输出任意个数的波形,扫描波可以输出任意轮次的波形;可以实现深度为 0~120%的内调幅。

1) 技术指标

(1) 信号发生器技术指标

① 波形特性

主波形:正弦波、方波、三角波、脉冲波、TTL 波。

采样速率:50 Msa/s(百万次采样每秒)。

正弦波谐波失真: -50 dB(频率 < 1 MHz); -40 dB(频率 < 6 MHz)。

正弦波失真度: 0.1%(20 Hz ~ 100 kHz)。

方波升降时间: < 15 ns。

② 频率特性

频率范围: 0.01 Hz ~ 20 MHz。

频率分辨率: 0.01 Hz。

频率误差: $\pm 5 \times 10^{-6}$ 。

频率稳定度: $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。

③ 幅度特性

阻抗: $50 \Omega \pm 5 \Omega$ 。

幅度范围: 1 mV(峰-峰) ~ 20 V(峰-峰)。

幅度分辨率: 1 mV。

幅度稳定度: $\pm 0.5\%$ (每 5 h)。

④ 功率特性

频率范围: 0.01 Hz ~ 20 kHz。

输出幅度: ≥ 20 V(峰-峰)。

输出功率: ≥ 4 W。

保护功能: 输出端过流时有保护功能。

⑤ 偏置特性

偏置范围: -10 V ~ +10 V。

偏置分辨率: 100 mV。

⑥ 调频特性

调制方式: 内调制。

调制信号: 正弦(调频(FM))、方波(移频键控(FSK))。

调制速度: 10 ms ~ 50 s。

调制深度: 载波频率的 100%。

⑦ 调幅特性

调制方式: 内调制、外调制。

调制信号: 正弦、方波(内调制); 外部输入信号(外调制)。

调制频率: 1 kHz(内部调制); 外部输入信号频率(外调制)。

调制深度: 1% ~ 120%(内调制); 外部输入信号 0 ~ +10 V 峰值。

⑧ 调相特性

调相范围: $0.1^\circ \sim 360^\circ$ 。

分辨率: 0.1° 。

调制速度: 10 ms ~ 50 s。