



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

通信原理实验与课程设计

主 编 邬春明



理论结合建模，以理论指导实践
仿真辅助理论，以实践验证原理



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

通信原理实验与课程设计

主 编 邬春明

副主编 赵 睿 田洪亮 朱剑锋

参 编 孙增友 王 芳 于华楠



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是通信原理课程实践环节的指导教材,将通信原理的基础知识应用于实验和课程设计中,注重理论分析与实践训练相结合。通过实践训练,使学生对通信原理的内容有更加深刻的理解。

全书由常用测量仪器、仪表和实验平台,通信系统仿真建模工具软件基础,通信原理基础实验,通信原理 MATLAB 仿真设计,通信原理 SystemView 仿真分析,通信系统的 VHDL 建模与设计以及通信原理课程设计指南共 7 章内容组成。

本书可作为高等院校本科通信工程、电子信息工程等专业的通信原理课程实验以及相关课程设计、毕业设计等环节的实践指导书,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理实验与课程设计/邬春明主编. —北京:北京大学出版社, 2013.7

(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-22528-8

I. ①通… II. ①邬… III. ①通信理论—实验—高等学校—教材②通信理论—课程设计—高等学校—教材 IV. ①TN911-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 098842 号

书 名: 通信原理实验与课程设计

著作责任者: 邬春明 主编

策 划 编 辑: 程志强

责 任 编 辑: 程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-22528-8/TN · 0098

出 版 发 行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电 子 信 箱: pup_6@163.com

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者: 北京富生印刷厂

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 390 千字

2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

信息产业的快速发展,使社会对通信工程等专业的培养提出了更高的要求。近年来,随着对创新型人才的大量需求,本科毕业生的技术水平、工作能力成为用人单位选聘人才的主要指标。这对普通高等院校的教学规划和培养目标提出了新的挑战。为适应社会对高技术人才需求的变化,教育部提出了“进一步提升高等学校人才培养质量和自主创新能力”这项重点工作内容。

作为通信工程的相关专业,应以通信行业发展为导向,以现有的师资和实践条件为基础,改进教学方式,以适应社会的需要。在教学过程中,实践训练是适应这一需要的解决方案之一。

通信原理课程是一门理论性与实践性都很强的专业基础课。如何加强理论课程的学习,加深学生对课程中基本理论知识及基本概念的理解,提高学生理论联系实际的能力,培养学生实践动手能力和分析解决实际问题的能力是通信原理教学亟待解决的问题。而通信原理实践环节就是一种重要的教学手段和途径。将通信原理的基础知识灵活地运用在实践教学环节中,注重理论分析与实际动手相结合,以理论指导实践,以实践验证基本原理,通过有目的地选择完成实践项目及二次开发,使学生进一步巩固基本理论知识,建立完整的通信系统概念。

为培养学生的创新思维和设计能力,本书力图从软件和硬件两个方面对学生进行全面实践训练。全书共分为7章。第1章介绍了通信原理实验和课程设计中常用的测量仪器、仪表和实验平台,包括示波器、万用表、频谱仪等仪器仪表,以及南京润众科技有限公司生产的RZ8641型现代通信技术实验平台和北京精仪达盛科技有限公司生产的EDA-V型实验系统的使用方法;第2章介绍了实践环节中常用的通信系统仿真建模工具软件,包括Matlab软件、SystemView软件以及EDA仿真建模工具软件;第3章是利用RZ8641型现代通信技术实验平台进行的通信原理基础实验;第4章是利用Matlab软件进行的通信原理仿真设计;第5章是利用SystemView软件进行的通信原理仿真分析;第6章是采用EDA技术和VHDL硬件描述语言对数字通信系统的部分模块进行建模与设计;第7章是通信原理课程设计指南。

本书第1、2、3章由邬春明编写,第4、5章由田洪亮编写,第6、7章由赵睿编写。邬春明对全书进行了统稿,朱剑锋、孙增友、王芳和于华楠对本书中的实验和设计项目进行了验证和测试。需要特别感谢的是南京润众科技有限公司和北京精仪达盛科技有限公司,有了他们提供的实验平台和实验系统以及相关实践项目,才能保证通信原理实践活动的顺利进行。

由于时间仓促,再加上作者水平有限,书中难免存在一些不足之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者
2013年3月

目 录

第 1 章 常用测量仪器、仪表和实验平台	1
1.1 常用测量仪器、仪表	2
1.1.1 UNI-T51 型数字万用表	2
1.1.2 YB43020B 双踪通用示波器	4
1.1.3 VC 2000 智能频率计	8
1.1.4 AT5010 频谱分析仪	12
1.2 常用实验平台及实验系统	15
1.2.1 RZ8641 通信技术实验平台简介	15
1.2.2 EDA-V 实验系统简介	23
第 2 章 通信系统仿真建模工具软件基础	32
2.1 Matlab/Simulink 基本知识	33
2.1.1 Matlab 简介	33
2.1.2 Matlab 基本语法	35
2.1.3 常用的 Matlab 函数	37
2.1.4 Matlab 基本操作	38
2.1.5 Matlab/Simulink 的特点及工作过程	43
2.1.6 Simulink 的常用操作	45
2.2 SystemView 简介	53
2.2.1 SystemView 的特点	53
2.2.2 SystemView 的设计窗口	54
2.2.3 菜单栏和工具栏	54
2.2.4 图符库及图符定义	55
2.2.5 SystemView 的基本使用	56
2.3 EDA 基本知识	64
2.3.1 EDA 开发流程	65
2.3.2 常用可编程器件	66
2.3.3 EDA 开发平台	69
2.3.4 常用硬件描述语言	74
2.3.5 VHDL 设计流程	82
第 3 章 通信原理基础实验	86
3.1 基带信号码型变换	87
3.1.1 实验目的	87
3.1.2 实验原理	87
3.1.3 实验器材	89
3.1.4 模块说明	89
3.1.5 实验内容及步骤	91
3.1.6 实验报告要求	91
3.1.7 实验思考题	91
3.2 AMI/HDB3 编译码	92
3.2.1 实验目的	92
3.2.2 实验原理	92
3.2.3 实验器材	93
3.2.4 模块说明	93
3.2.5 实验内容及步骤	94
3.2.6 实验报告要求	95
3.2.7 实验思考题	95
3.3 眼图观察测量	95
3.3.1 实验目的	95
3.3.2 实验原理	95
3.3.3 实验器材	97
3.3.4 模块说明	97
3.3.5 实验步骤	97
3.3.6 实验报告要求	98
3.3.7 实验思考题	99
3.4 FSK(ASK)调制解调	99
3.4.1 实验目的	99
3.4.2 实验原理	99
3.4.3 实验器材	101
3.4.4 模块说明	101
3.4.5 实验内容及步骤	103
3.4.6 实验报告要求	104

3.4.7	实验思考题	104	4.1.2	知识要点与原理	126
3.5	相位键控(PSK)调制解调	105	4.1.3	仿真内容	126
3.5.1	实验目的	105	4.1.4	仿真设计要求	131
3.5.2	实验原理	105	4.2	抽样信号的量化仿真	131
3.5.3	实验器材	107	4.2.1	仿真目的	131
3.5.4	模块说明	107	4.2.2	知识要点与原理	131
3.5.5	实验内容及步骤	109	4.2.3	仿真内容	133
3.5.6	实验报告要求	110	4.2.4	仿真设计要求	136
3.5.7	实验参考题	110	4.3	PCM 编解码的仿真	137
3.6	抽样定理与 PAM 调制解调	111	4.3.1	仿真目的	137
3.6.1	实验目的	111	4.3.2	知识要点与原理	137
3.6.2	实验原理	111	4.3.3	仿真内容	138
3.6.3	实验器材	113	4.3.4	仿真设计要求	143
3.6.4	模块说明	113	4.4	连续信道模型仿真	143
3.6.5	实验内容及步骤	114	4.4.1	仿真目的	143
3.6.6	实验报告要求	115	4.4.2	知识要点与原理	144
3.6.7	实验思考题	115	4.4.3	仿真内容	146
3.7	PCM 编译码	116	4.4.4	仿真设计要求	151
3.7.1	实验目的	116	4.5	离散信道模型仿真	152
3.7.2	实验原理	116	4.5.1	仿真目的	152
3.7.3	实验器材	117	4.5.2	知识要点与原理	152
3.7.4	模块说明	117	4.5.3	仿真内容	154
3.7.5	实验内容及步骤	118	4.5.4	仿真设计要求	156
3.7.6	实验报告要求	119	4.6	线性分组码仿真	156
3.7.7	实验思考题	119	4.6.1	仿真目的	156
3.8	CVSD 编译码	119	4.6.2	知识要点与原理	156
3.8.1	实验目的	119	4.6.3	仿真内容	157
3.8.2	实验原理	119	4.6.4	仿真设计要求	160
3.8.3	实验器材	122	4.7	循环码仿真	160
3.8.4	模块说明	122	4.7.1	仿真目的	160
3.8.5	实验内容及步骤	123	4.7.2	知识要点与原理	160
3.8.6	实验报告要求	124	4.7.3	仿真内容	161
3.8.7	实验思考题	124	4.7.4	仿真设计要求	162
第 4 章 通信原理 MATLAB 仿真设计			4.8	直接序列扩频系统仿真	162
4.1	抽样定理仿真	126	4.8.1	仿真目的	162
4.1.1	仿真目的	126	4.8.2	知识要点与原理	163
			4.8.3	仿真内容	166
			4.8.4	仿真设计要求	172

第 5 章 通信原理 SystemView 仿真分析 173	6.1.3 设计内容..... 209
5.1 振幅调制解调系统的仿真..... 174	6.1.4 设计步骤及要求..... 214
5.1.1 仿真目的..... 174	6.2 多进制数字振幅键控(MASK)系统建模与设计..... 214
5.1.2 知识要点与原理..... 174	6.2.1 设计目的..... 214
5.1.3 仿真内容..... 176	6.2.2 设计原理..... 214
5.1.4 仿真步骤及要求..... 179	6.2.3 设计内容..... 216
5.2 双边带调制解调系统的仿真..... 179	6.2.4 设计步骤及要求..... 218
5.2.1 仿真目的..... 179	6.3 多进制数字频移键控(MFSK)系统建模与设计..... 218
5.2.2 知识要点与原理..... 179	6.3.1 设计目的..... 218
5.2.3 仿真内容..... 180	6.3.2 设计原理..... 218
5.2.4 仿真步骤及要求..... 184	6.3.3 设计内容..... 219
5.3 单边带调制解调系统的仿真..... 184	6.3.4 设计步骤及要求..... 221
5.3.1 仿真目的..... 184	6.4 多进制数字相移键控(MPSK)系统建模与设计..... 222
5.3.2 知识要点与原理..... 184	6.4.1 设计目的..... 222
5.3.3 仿真内容..... 186	6.4.2 设计原理..... 222
5.3.4 实验步骤及要求..... 189	6.4.3 设计内容..... 224
5.4 频率调制解调系统的仿真..... 189	6.4.4 设计步骤及要求..... 228
5.4.1 仿真目的..... 190	6.5 最小移频键控(MSK)系统建模与设计..... 228
5.4.2 知识要点与原理..... 190	6.5.1 设计目的..... 228
5.4.3 仿真内容..... 193	6.5.2 设计原理..... 228
5.4.4 仿真步骤及要求..... 198	6.5.3 设计内容..... 230
5.5 16QAM 调制解调系统的仿真..... 198	6.5.4 设计步骤及要求..... 237
5.5.1 仿真目的..... 198	6.6 m 序列发生器的建模与设计..... 237
5.5.2 知识要点与原理..... 198	6.6.1 设计目的..... 237
5.5.3 仿真内容..... 200	6.6.2 设计原理..... 237
5.5.4 仿真步骤及要求..... 203	6.6.3 设计内容..... 240
5.6 数字基带传输系统的仿真..... 203	6.6.4 设计步骤及要求..... 241
5.6.1 仿真目的..... 204	第 7 章 通信原理课程设计指南 242
5.6.2 知识要点与原理..... 204	7.1 DPCM 系统设计..... 243
5.6.3 仿真内容..... 205	7.1.1 知识要点与参考框图..... 243
5.6.4 仿真步骤及要求..... 207	7.1.2 设计要求..... 243
第 6 章 通信系统的 VHDL 建模与设计 208	7.1.3 设计步骤..... 243
6.1 HDB3 码的编、译码建模与设计..... 209	7.1.4 参考资料..... 244
6.1.1 设计目的..... 209	
6.1.2 设计原理..... 209	



7.2 图像通信系统设计.....	244	7.6.1 知识要点与实现框图	250
7.2.1 知识要点与参考框图	244	7.6.2 设计要求	252
7.2.2 设计要求	245	7.6.3 设计步骤	252
7.2.3 设计步骤	245	7.6.4 参考资料	252
7.2.4 参考资料	245	7.7 异步串行通信电路设计	252
7.3 OFDM 调制解调系统设计	246	7.7.1 知识要点与参考框图	252
7.3.1 知识要点与参考框图	246	7.7.2 设计要求	253
7.3.2 设计要求	247	7.7.3 设计步骤	253
7.3.3 设计步骤	247	7.7.4 参考资料	253
7.3.4 参考资料	247	7.8 卷积码编解码器设计	253
7.4 AM 超外差收音机设计	247	7.8.1 知识要点与实现框图	253
7.4.1 知识要点与参考框图	247	7.8.2 设计要求	254
7.4.2 设计要求	248	7.8.3 设计步骤	254
7.4.3 设计步骤	248	7.8.4 参考资料	254
7.4.4 参考资料	248	7.9 5B6B 编译码系统设计	255
7.5 频分多路复用系统设计	249	7.9.1 知识要点与实现框图	255
7.5.1 知识要点与参考框图	249	7.9.2 设计要求	255
7.5.2 设计要求	249	7.9.3 设计步骤	256
7.5.3 设计步骤	250	7.9.4 参考资料	256
7.5.4 参考资料	250	参考文献	257
7.6 时分复用数字基带传输系统设计	250		

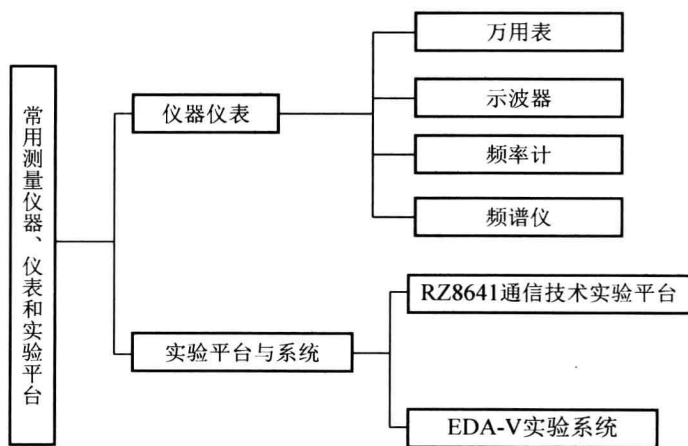
第 1 章

常用测量仪器、仪表和实验平台

通信原理是理论和实践结合较紧密的课程，其实践环节是巩固理论知识的必经之路，实践环节包括基本原理验证实验、计算机仿真分析与设计以及基于 EDA 技术的数字通信系统的建模与仿真，用到的工具包括常用的仪器仪表、实验平台等，掌握其原理和使用方法是进行实践训练的基础。



本章知识架构



1.1 常用测量仪器、仪表

通信原理实验中经常使用的仪器仪表包括万用表、示波器、频率计、频谱仪等，下面分别介绍它们的特点、参数和使用方法。

1.1.1 UNI-T51 型数字万用表

万用表又叫多用表、三用表、复用表，它分为指针式万用表和数字式万用表，是一种多功能、多量程的测量仪表。一般万用表可测量直流电流、直流电压、交流电流、交流电压、电阻和音频电平等，有的还可以测量电容量、电感量及半导体的一些参数(如 β)。

数字式万用表是采用集成电路模/数(A/D)转换器和液晶显示器，将被测量的数值直接以数字的形式显示出来的一种电子测量仪表。图 1.1 为 UNI-T51 型数字式万用表的实物图。



图 1.1 UNI-T51 型数字式万用表的实物图

1. 主要特点

- (1) 数字显示直观准确，无视觉误差，并具有极性自动显示功能。
- (2) 测量精度和分辨率都很高。
- (3) 输入阻抗高，对被测电路影响小。
- (4) 电路的集成度高，便于组装和维修，使数字万用表的使用更为可靠和耐用。
- (5) 测试功能齐全。
- (6) 保护功能齐全，有过压保护、过流保护、过载保护和超输入显示功能。
- (7) 功耗低，抗干扰能力强，在磁场环境下能正常工作。
- (8) 便于携带，使用方便。

2. 技术指标

UNI-T51 型数字式万用表参数见表 1-1。



表 1-1 UNI-T51 型数字式万用表参数

基本功能	量 程	基本精度
直流电压	200mV/2V/20V/200V/1000V	$\pm(0.5\%+1)$
交流电压	200mV/2V/20V/200V/750V	$\pm(0.8\%+3)$
直流电流	20A/200A/2mA/20mA/200mA/2A/10A	$\pm(0.8\%+1)$
交流电流	200A/2mA/20mA/200mA/2A/10A	$\pm(1\%+3)$
电阻	2k/20k/200k/2M	$\pm(0.8\%+1)$
特殊功能		
三极管测试		√
二极管测试		√
10A 保险丝		√
通断蜂鸣		√
低电压提示		√
电压测量输入阻抗	10M Ω	√
电源	9V 电池(6F22)	√
最大显示	1999	√
显示器尺寸	65mm×33mm	√

UNI-T51 型数字式万用表是一种性能稳定、高可靠性手持式数字多用表，整机电路设计以大规模集成电路、双积分 A/D 转换器为核心并配以全功能过载保护，可用来测量电压、电流、电阻、电容、二极管、温度、频率以及电路通断，是用户的理想工具。

3. 使用方法

1) 测量直流电压

量程开关拨至“DCV”范围内的合适量程。红表笔接“V· Ω ”孔，黑表笔接“COM”孔。当测量值显示前有“—”号时，表示黑表笔测试端为高电位，红表笔测试端为低电位。反之，测量值显示前无“—”号。

2) 测量交流电压

量程开关拨至“ACV”范围内的合适量程，表笔接法同上，但显示值前不会有“—”号。

3) 测量直流电流

量程开关拨至“DCA”范围内的合适量程，黑表笔接“COM”孔。当待测量电流小于 2A 时，红表笔接“A”孔；当待测量电流大于 2A 小于 10A 时，红表笔接“10A”孔；当测量值显示前有“—”号时，表示电流方向是从黑表笔流进，红表笔流出。

4) 测量交流电流

量程开关拨至“ACA”范围内的合适量程，表笔接法同 3)。

5) 测量电阻

量程开关拨至“ Ω ”范围内的合适量程，红表笔接“V· Ω ”孔，黑表笔接“COM”孔。如果被测电阻阻值较小，注意应把表笔导线本身的电阻减去。



6) 二极管的检测

量程开关拨至“ \rightarrow ”位置，表笔接法同 5)。将红表笔接二极管正端，黑表笔接二极管的负端，此时二极管正向导通(注意与指针式万用表不同)，显示值为二极管的正向压降。当二极管反接时，则显示过量程“1”。

7) 用蜂鸣器做通路检查

量程开关拨至“ \cdot)))”位置，表笔接法同 5)。将表笔接至被检查的电路(被检查电路断开电源)位置，如果所查电路的电阻在 20Ω 以下，则表内蜂鸣器发声，电路导通。

8) 测量晶体管的电流放大倍数

根据晶体管是 NPN 或 PNP 型将量程拨至相应档位，将晶体管直接插入 E、B、C 的各个相应插孔，即可直接读出其电流放大倍数。

当测量值超过量程时，最高位显示“1”，而其他各位无显示。当显示器的最高位前显示“ \leftarrow ”时，表示电池供电不足，需更换，否则测量值不准确。当更换电池时，切记电源开关务必拨在“OFF”位置！使用完毕后，切记将电源开关拨在“OFF”位置。

1.1.2 YB43020B 双踪通用示波器

示波器是一种用途十分广泛的电子测量仪器，它能把人眼看不到的电信号转换成看得见的图像，便于人们研究各种电现象的变化过程。示波器利用狭窄的、由高速电子组成的电子束，打在涂有荧光物质的屏面上，就可以产生细小的光点。在被测信号的作用下，电子束就好像一支笔的笔尖，可以在荧光屏上描绘出被测信号瞬时值的变化曲线。利用示波器能观察各种信号的幅度随时间变化的波形曲线，还可以用它测量电压、电流、频率、相位差等电量。

下面介绍 YB43020B 模拟示波器，其前面板如图 1.2 所示。

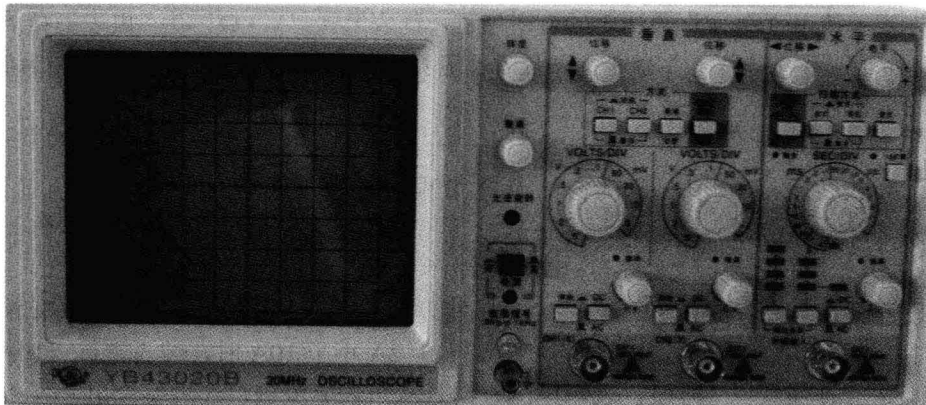


图 1.2 YB43020B 模拟示波器

1. 基本特点

- (1) SMT 表面帖装工艺，提高仪器集成度、稳定度、可靠性。
- (2) 垂直、扫描均采用编码开关，手感轻、可靠性高。



- (3) 全频带触发自动扫描, 交替扩展, 二踪四迹显示。
- (4) 丰富的触发功能, 交替触发、单次触发、TV-H、TV-V 等。
- (5) 具有触发输出、Z 轴输入、非校准和触发状态指示及触发锁定等功能。
- (6) 校准信号采用晶振分频, 稳定度高。

2. 技术指标

- (1) 用电电源: AC220V \pm 10%。
- (2) DC 带宽: 0~20MHz(-3dB)。
- (3) AC 带宽: 10Hz~20MHz(-3dB)。
- (4) 偏转系数: 5mV/DIV—5V/DIV \pm 3%。
- (5) 输入阻抗: 1 \pm 3%M Ω /30 \pm 5pF。
- (6) 最高安全输入电压: 400V(DC+ACp-p)。
- (7) 上升时间: \leq 17.5ns。
- (8) 工作方式: CH1、CH2、交替、断续、叠加。
- (9) 扫描时间: 0.2s/div—0.1 μ s/div \pm 3%。
- (10) 水平扩展: \times 5 \pm 5%。
- (11) 扫描方式: 自动、触发、锁定、单次、X-Y。
- (12) 触发源及触发方式: CH1、CH2、交替、电源、外、常态、TV-V、TV-H。
- (13) 同步频率范围: 自动 50Hz~20MHz。
- (14) 校准信号: 方波 0.5 \pm 1%Vp-p1 \pm 1%kHz。
- (15) Z 轴输入: TTL 电平, DC~5MHz。
- (16) 触发输出: \geq 50mV/DIV(50 Ω)。
- (17) 示波管工作面: 8cm \times 10cm(1cm=1DIV)。
- (18) 示波管余辉、颜色: 中余辉、绿色。

3. 主要按键以及旋钮

YB43020B 模拟示波器主要按键以及旋钮如图 1.3 所示。

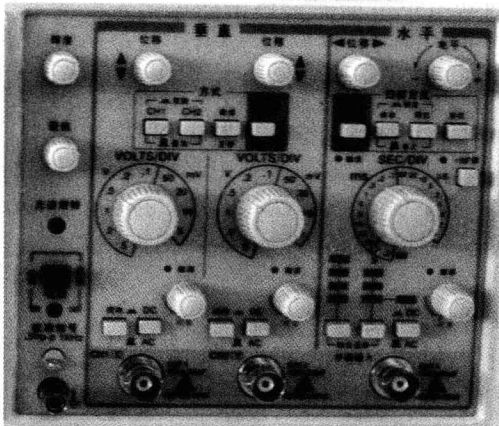


图 1.3 主要按键以及旋钮



- (1) 电源开关：按入此开关，仪器电源接通，指示灯亮。
- (2) 聚焦：用以调节示波管电子束的焦点，使显示的光点成为细而清晰的圆点。
- (3) 校准信号：此端口输出幅度为 0.5V，频率为 1kHz 的方波信号。
- (4) 垂直位移：用以调节光迹在垂直方向的位置。
- (5) 垂直方式：选择垂直系统的工作方式。

CH1：只显示 CH1 通道的信号。

CH2：只显示 CH2 通道的信号。

交替：用于同时观察两路信号，此时两路信号交替显示，该方式适合于在扫描速率较快时使用。

断续：两路信号断续工作，适合于在扫描速率较慢时，同时观察两路信号。

叠加：用于显示两路信号相加的结果，当 CH2 极性开关被按入时，则两信号相减。

CH2 反相：按入此键，CH2 的信号被反相。

(6) 灵敏度选择开关(VOLTS/DIV)：选择垂直轴的偏转系数，从 2mV/DIV~10V/DIV 分 12 个档级调整，可根据被测信号的电压幅度选择合适的档级。

(7) (灵敏度)微调：用以连续调节垂直轴偏转系数，调节范围 ≥ 2.5 倍，该旋钮逆时针旋足时为校准位置，此时可根据“VOLTS/DIV”开关度盘位置和屏幕显示幅度读取该信号的电压。

(8) 耦合方式(AC GND DC)：垂直通道的输入耦合方式选择。

AC：信号中的直流分量被隔开，用以观察信号的交流成分。

DC：信号与仪器通道直接耦合，当需要观察信号的直流分量或被测信号的频率较低时应选用此方式。

GND：输入端处于接地状态，用以确定输入端为零电位时光迹所在位置。

(9) 水平位移：用以调节光迹在水平方向的位置。

(10) 电平：用以调节被测信号在变化至某一电平时触发扫描。

(11) 极性：用以选择被测信号在上升沿或下降沿触发扫描。

(12) 扫描方式：选择产生扫描的方式。

自动：当无触发信号输入时，屏幕上显示扫描光迹，一旦有触发信号输入，电路自动转换为触发扫描状态，调节电平可使波形稳定地显示在屏幕上，此方式适合观察频率在 50Hz 以上的信号。

常态：当无信号输入时，屏幕上无光迹显示；当有信号输入时，且触发电平旋钮在合适位置上，电路被触发扫描。当被测信号频率低于 50Hz 时，必须选择该方式。

锁定：仪器工作在锁定状态后，无须调节电平即可使波形稳定地显示在屏幕上。

单次：用于产生单次扫描，当进入单次状态后，按动复位键，电路工作在单次扫描方式，扫描电路处于等待状态。当触发信号输入时，扫描只产生一次，下次扫描需再次按动复位按键。

(13) $\times 5$ 扩展：按入后扫描速度扩展 5 倍。

(14) 扫描速率选择开关(SEC/DIV)：根据被测信号的频率高低，选择合适的档级。当扫描“微调”置校准位置时，可根据度盘的位置和波形在水平轴的距离读出被测信号的时间参数。

(15) (扫描)微调：用于连续调节扫描速率，调节范围 ≥ 2.5 倍，逆时针旋足为校准位置。



(16) 触发源：用于选择不同的触发源。

CH1：在双踪显示时，触发信号来自 CH1 通道，当单踪显示时，触发信号则来自被显示的通道。

CH2：在双踪显示时，触发信号来自 CH2 通道，当单踪显示时，触发信号则来自被显示的通道。

交替：在双踪交替显示时，触发信号交替来自于两个 Y 通道，此方式用于同时观察两路不相关的信号。

外接：触发信号来自于外接输入端口。

4. 模拟示波器使用举例

例 1.1 校准信号的测量，如图 1.4 所示。

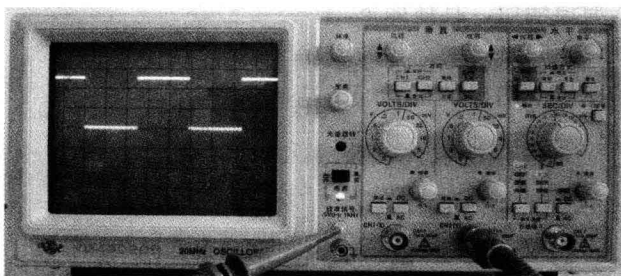


图 1.4 校准信号的测量

(1) 将校准信号接入 CH2 通道。

(2) 扫描方式选择自动，通道选择 CH2，耦合方式选择 GND，把地线通过垂直位移旋钮调整到屏幕中央。

(3) 耦合方式选择 DC，调整电压灵敏度开关以及扫描速率选择开关到合适位置，使屏幕显示图 1.4 所示的波形，读出幅度和周期。

读数： $V_{pp}=0.2\text{V}/\text{DIV}\times 2.5\text{DIV}=0.5\text{V}$ ； $T=0.2\text{ms}/\text{DIV}\times 5\text{DIV}=1\text{ms}$ ； $f=1/T=1\text{kHz}$

例 1.2 如图 1.5 所示，显示的 $f=2\text{kHz}$ ， $V_{pp}=5\text{V}$ 的正弦波的测量，步骤与例 1.1 基本相同，对于正弦波耦合方式选择 AC。

读数： $V_{pp}=1\text{V}/\text{DIV}\times 5\text{DIV}=5\text{V}$ ； $T=0.1\text{ms}/\text{DIV}\times 5\text{DIV}=0.5\text{ms}$ ； $f=1/T=2\text{kHz}$

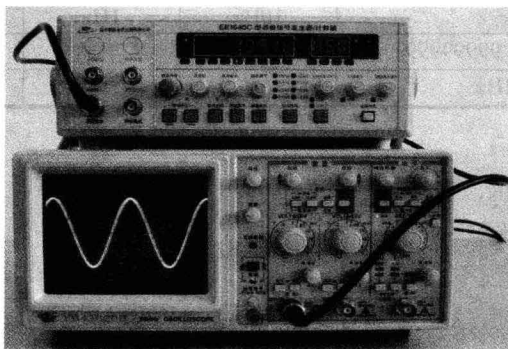


图 1.5 显示的 $f=2\text{kHz}$ ， $V_{pp}=5\text{V}$ 的正弦波

1.1.3 VC 2000 智能频率计

频率计又称为频率计数器，是一种专门对被测信号频率进行测量的电子测量仪器。频率计主要由 4 个部分构成：时基(T)电路、输入电路、计数显示电路以及控制电路。

VC 2000 频率计是 10Hz~2400 MHz 多功能智能化仪器，具有频率测量、脉冲计数及晶体测量等功能，并有 4 档时间闸门，5 档功能选择和 8 位 LED 高亮度显示。

1. 技术条件及说明

1) 测量

(1) 输入端口。

本机有 3 个输入通道端口，具体如下。

- ① A 端口为 50~2400MHz 的高频通道端口。
- ② B 端口为 10Hz~50MHz 的低频通道端口。
- ③ 晶振端口为晶体测量端口。

(2) 频率测量。

① 量程。

共有 5 个档位，第 1~3 档测频率；第 4 档测累计计数；第 5 档测晶体。

档位 1：50~2400MHz 由 A 端口输入。

档位 2：4~50MHz 由 B 端口输入。

档位 3：10Hz~4MHz 由 B 端口输入。

② 分辨率，见表 1-2。

表 1-2 分辨率表

档位	功能	频率段	分辨率			
			0.1s	1.0s	5.0s	10s
1	测频	2400~1000MHz	1kHz	100Hz	100Hz	100Hz
		1000~50MHz	1kHz	100Hz	10Hz	10Hz
2	测频	50~4MHz	100Hz	10Hz	1Hz	1Hz
3	测频	4~10Hz	10Hz	1Hz	0.1Hz	0.1Hz
4	计数	最大显示 99999999	—	—	—	—
5	测晶振	16~3.5MHz	10Hz	1Hz	1Hz	1Hz

③ 闸门时间。

0.1s、1.0s、5.0s、10s，可任选。

④ 精度。

基准时间误差×被测频率±1 个字。

(3) 累计测量。

档位 4，B 输入端口。



分辨率: ± 1 个字, 计数频率范围: 10Hz~4MHz。

(4) 晶体测量。

档位 5, 由面板晶振插槽插入, 测试范围: 3.5~16MHz。

2) 输入特性

通道 A 输入灵敏度: 25mVrms/200mVrms。

阻抗: 约 50 Ω 。

最大安全电压: 3V。

通道 B 输入灵敏度: 第二档: 25mVrms/80mVrms, 第三档: 10mVrms/30mVrms。

阻抗: 约为 1M Ω (少于 35pF);

最大安全电压: 30V。

3) 时基

短期稳定度: $\pm 3 \times 10^{-9}$ /s。

长期稳定度: $\pm 2 \times 10^{-5}$ /月。

温度: $\pm 1 \times 10^{-5}$ 10~40 $^{\circ}\text{C}$ 。

4) 显示

为 8 位 LED 高亮度显示并带有频率、计数、晶振、kHz、MHz 等显示以及各档位和时间闸门的 LED 显示。

5) 电源

幅度: AC220V/110V $\pm 10\%$; 频率: 50Hz/60Hz。

6) 温度范围

使用: -5~50 $^{\circ}\text{C}$; 存放和运输: -40~60 $^{\circ}\text{C}$ 。

7) 湿度范围

使用: 10%~90%RH; 存放: 5%~90%RH。

8) 预热时间

20min。

9) 尺寸

270mm \times 215mm \times 100mm。

10) 重量

约 1550g。

2. 使用要求

1) 电源要求

AC 220V/110V $\pm 10\%$ 、50Hz/60Hz, 最大消耗功率为 5W。

2) 预热要求

测量前应预热 20min, 以保证晶体振荡器的频率稳定。