

普通高等学校“十二五”规划教材

电工电子实验 与 EDA 实践入门

李伟民 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等学校“十二五”规划教材

电工电子实验与 EDA 实践入门

主编 李伟民

编著 沈利芳 杨上河 张永芳



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是依据 2004 年教育部课程指导委员会修订的《高等学校电工学课程教学基本要求》，并结合近年来学科教学改革的发展需要编写的。

本书内容主要包括：常用电子仪器的使用，电工技术基础实验，模拟和数字电子技术基础实验，电子技术综合性实验及基于 Quartus II 的 EDA 实践入门，共 5 章。

本书的编写注重将电工电子技术的基础理论与实际应用相结合，注意循序渐进和实验结果的趣味性，注重实验方法和实验技能的训练和培养，以激发实验者的兴趣。

本书可作为高等院校非电类工程专业的电工学、电工电子技术课程实验教材，也可供高职、高专相关专业作实验教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子实验与 EDA 实践入门/李伟民主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2011. 11

普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2684-0

I. ① 电… H. ① 李… III. ① 电工试验—高等学校—教材 ② 电子技术—实验—高等学校—教材
IV. ① TM-33 ② TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 199191 号

策 划 云立实

责任编辑 云立实 李恩科

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2011 年 11 月第 1 版 2011 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 12.5

字 数 291 千字

印 数 1~3000 册

定 价 21.00 元

ISBN 978-7-5606-2684-0/TM·0079

XDUP 2976001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前 言

“电工电子技术”(含电工技术、电子技术)课程是高等院校非电类工程专业的一门技术基础课。它涵盖了“电路理论”、“电机与控制”、“模拟电子技术基础”、“数字电子技术基础”等多门课程的基础内容,理论性和实践性都很强。目前,电工电子技术的应用十分广泛、深入,发展极为迅速,与其他学科、行业的结合日趋紧密。“电工电子技术实验”一方面是相关理论课程重要的实践环节,另一方面又是一门独立设置的课程。实验不仅能帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,更重要的是能激发学生探索未知领域的兴趣,帮助他们树立从实际出发的工程观念和严谨的科学作风,培养他们的创新意识和独立思考能力以及分析问题、解决问题的能力,为其今后学习专业课程和从事工程技术工作打好基础。

本书参照教育部高等学校基础课程教学指导委员会颁布的“电工学”课程教学基本要求,同时结合教学改革实践及对非电类工程专业教学的不同需求组织基本内容。考虑到国家“卓越工程师教育培养计划”对提高学生工程能力和创新能力的要求以及电子技术发展的趋势,专门增加了电子技术综合实验和 EDA 实践入门两部分内容,供有关专业师生选用。

本书共分 5 章,即实验基本要求和常用电子仪器的使用,电工技术基础实验,电子技术基础实验,电子技术综合实验和 EDA 实践入门。各章配备的实验可以基本满足非电类各专业的不同需求。

本书由李伟民、沈利芳、杨上河、张永芳编写。其中沈利芳负责编写第 5 章,杨上河参与编写了第 4 章,张永芳参与编写了第 1 章,全书由李伟民负责统稿。赵曙光教授对本书进行了认真审阅,给出了很多非常宝贵的建议。本书在编写过程中还得到了东华大学电工电子中心各位同仁的热心帮助,在此一并致谢。

由于编者学识水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2011 年 7 月

目 录

第 1 章 实验基本要求和常用电子仪器的使用	1
1.1 电工电子实验的基本要求	1
1.1.1 预习准备	1
1.1.2 实验操作注意事项	2
1.1.3 实验报告内容	2
1.1.4 实验数据处理的基本方法	2
1.2 数字万用表	3
1.2.1 数字万用表概述	3
1.2.2 M9803 数字万用表面板功能介绍	4
1.2.3 数字万用表测量功能介绍	5
1.3 示波器的原理和使用	7
1.3.1 示波器的工作原理	7
1.3.2 GOS-6031 示波器面板操作键及功能说明	9
1.3.3 CS-4125 示波器面板操作键及功能说明	15
1.3.4 示波器使用方法简介	17
1.4 交流毫伏表	19
1.4.1 AS2294D 交流毫伏表主要技术指标	19
1.4.2 面板功能介绍及使用须知	20
1.5 函数信号发生器	21
1.5.1 面板操作键及功能说明	21
1.5.2 使用方法	22
1.6 直流稳压电源	23
1.6.1 直流稳压电源 GPS-3303C 及参数特点	23
1.6.2 GPS-3303C 直流稳压电源面板介绍	24
1.6.3 直流稳压电源功能介绍	25
1.7 数字功率表、九孔板和数字电路实验箱	27
1.7.1 数字功率表(PW9 系列多功能电量测量仪)的使用	27
1.7.2 九孔板的应用	29
1.7.3 多功能数字电路实验箱	29
第 2 章 电工技术基础实验	32
实验一 电路元件伏安特性的测量	32
实验二 叠加原理	36
实验三 等效电源定理	39
实验四 RLC 串联交流电路的谐振	42
实验五 单相交流并联电路	44

实验六	三相交流电路负载的接法	48
实验七	三相功率的测量	51
实验八	一阶 RC 电路的暂态响应	54
实验九	三相异步电动机正反转控制电路	56
实验十	三相异步电动机时间控制电路	58
第 3 章	电子技术基础实验	62
实验十一	单相半波整流电路	62
实验十二	单相桥式整流电路	64
实验十三	共发射极单管交流放大电路	66
实验十四	差分放大电路特性测试	69
实验十五	负反馈放大器性能的测试	73
实验十六	集成运算放大器的基本运算电路	75
实验十七	集成运算放大器的非线性应用	80
实验十八	逻辑门电路的测试及应用	82
实验十九	编码器、译码器和数据选择器的应用	87
实验二十	触发器功能测试及应用	92
实验二十一	计数、译码、显示电路	96
实验二十二	显示译码电路的设计	100
实验二十三	六十进制分频、计数器	104
实验二十四	集成定时器 555 的应用	108
第 4 章	电子技术综合实验	112
综合实验一	小功率直流稳压电源	112
综合实验二	简易波形发生器	115
综合实验三	数字式电压表	117
综合实验四	数字式电容表	122
综合实验五	数字式频率计	124
第 5 章	EDA 实践入门	130
5.1	可编程逻辑器件与 Quartus II 软件简介	130
5.2	Quartus II 软件的基本操作	131
5.2.1	创建一个新的设计项目	132
5.2.2	源文件输入	135
5.2.3	分析与综合和仿真	142
5.2.4	锁定引脚和编译	150
5.2.5	器件编程(下载)	153
5.3	基于 FPGA 的组合逻辑电路实验	155
5.3.1	全加器的 N 种实现方法	155
5.3.2	三位二进制加法器	162
5.3.3	用 AHDL 语言描述的七段显示译码器	164
5.3.4	两个三位二进制数相加并显示结果	166

5.4 基于 FPGA 的时序逻辑电路实验	167
5.4.1 脉冲分频电路	167
5.4.2 用 D 触发器设计彩灯控制电路	168
5.4.3 用 74LS194 设计彩灯控制电路	170
5.4.4 二十四进制计数器	171
5.4.5 四位动态扫描显示电路	172
5.5 基于 FPGA 的数字电子钟设计	174
附录 A 虚拟仿真软件 Multisim 10 使用简介	177
附录 B 一阶 RC 电路的 Multisim 仿真	184
附录 C 实验仪上 EPF10K10TC144 芯片的 FPGA 引脚分配	186
参考文献	191

第1章 实验基本要求和常用 电子仪器的使用

电工电子实验是高等院校工程类专业一个非常重要的实践性教学环节。电工电子实验既需要基础理论知识的指导，同时又与实际应用联系，其内容涵盖电路分析、模拟电子技术、数字电子技术、电机与控制电路等多门学科。电工电子实验的对象具体形象，实验过程操作性强，对于激发学生对电工电子学科的兴趣，巩固所学理论知识，训练逻辑思维习惯，提高实际动手能力，培养创新意识和协作精神，具有重要的、积极的作用。

1.1 电工电子实验的基本要求

电工电子实验教学过程是培养学生按照电学基础理论分析、解决实际问题的过程，需要学生掌握与实验有关的基础理论，熟悉常用的仪器设备和电工电子元器件的应用，自己动手连接电路，操作仪器，观察实验现象，测量实验数据并对实验结果进行分析总结。实验教学的基本要求是顺利完成实验所必须遵循的。

1.1.1 预习准备

实验课前充分地预习准备是保证实验顺利、高效进行的前提。没有充分的预习，实验课的效率将大受影响，也不可能达到预期效果。指导教师在实验前应该对学生的预习情况进行检查，不了解实验内容或无预习报告者不能参加实验。

预习的主要要求如下：

- (1) 认真阅读实验指导书，了解本次实验目的和实验内容。
- (2) 复习与实验有关的基础理论知识。
- (3) 了解并预习实验仪器的使用方法。
- (4) 熟悉实验电路的主要元件特性和接线图。
- (5) 了解实验的方法、操作步骤与注意事项。
- (6) 强烈推荐应用电路仿真软件进行电路仿真虚拟实验预习。
- (7) 拟好实验数据记录表格。
- (8) 认真写好实验预习报告(要求使用学校统一的实验报告纸)。

对于综合性、设计性实验，还需要进行电路方案设计，选定电路元件和参数，画出设计图，用仿真软件 Multisim 进行电路仿真和优化设计。

1.1.2 实验操作注意事项

严格按照电工电子实验课的操作程序进行实验。常规的验证性实验的操作程序如下：

预习→写预习报告→听教师讲解实验要点→熟悉实验仪器和器材→按图接线→按图查线→通电操作→记录实验现象，测取数据→检查数据→回答思考题→完成报告。

除此以外，还要注意以下事项：

(1) 实验操作前应检查本次实验所用的仪器仪表与元器件是否完好、齐全，芯片型号是否正确。接线时一定要先断开电源，不能带电接线。

(2) 接线完毕后要养成自查的习惯。

(3) 通电后操作应冷静、细致。注意仪器的安全使用和人身安全，有异常情况首先切断电源，报告教师，再查故障点。强电实验首次通电前请指导教师检查后再合闸。

(4) 认真、仔细观察实验现象，真实记录实验数据。

(5) 测得的数据经自审及指导教师检查后，方可拆掉电路连线。

(6) 严格遵守“先断电后拆线”的规则，离开实验室前要整理好实验台。

1.1.3 实验报告内容

每个参加实验的学生都必须独立写出实验报告。实验报告内容应包括：

(1) 实验目的及任务。

(2) 实验电路图，实验用仪器设备和器材。

(3) 实验内容与步骤。

(4) 实验数据记录及整理结果。

(5) 实验曲线绘制，实验波形、实验现象记录。

(6) 分析与讨论，回答思考题。

(7) 实验体会与建议等。

其中第(1)~(3)项及实验数据记录表格应在预习时完成，后面的部分在实验时和实验后完成。

1.1.4 实验数据处理的基本方法

1. 列表法

在记录和处理数据时，将数据排列成表格形式来表示出物理量之间的对应关系。列表处理数据时应该遵循下列原则：

(1) 各栏目均应标明名称及单位，若名称用自定的符号，则需加以说明。

(2) 列入表中的数据主要应是原始测量数据，处理过程中的一些重要中间计算结果也应列入表中。

(3) 栏目的顺序应充分注意数据间的联系和计算的顺序，力求简明、齐全，有条理。

一般应按自变量由小到大或由大到小的顺序排列。

2. 图示法

物理规律既可以用函数关系表示，也可以借助曲线表示。制作一幅完整而正确的曲线

图,其基本步骤包括:图纸的选择;坐标的分度和标记;标出每个实验数据点;作出一条与绝大多数实验数据点基本相拟合的曲线;注解和说明等。

实验(波形)曲线应绘在坐标纸(毫米方格纸)上,选取合适的比例尺和单位,其横轴不宜小于8 cm,波形纵高不宜小于2 cm(单向)。坐标纸不得宽于实验报告纸。若两根曲线画在同一坐标系中,应使用不同的颜色以示区别。

(1) 图纸的选择。图纸通常有线性直角坐标纸(毫米方格纸)、单对数坐标纸、双对数坐标纸等,应根据实验具体情况选择合适的坐标纸。

(2) 坐标的分度和标记。绘制曲线时应以自变量作横坐标,因变量作纵坐标,并标明各坐标轴所代表的物理量(可用相应的符号表示)及单位。坐标分度要根据实验数据的有效数字和对结果的要求来确定,在坐标轴上每隔一定间距应均匀地标出分度值,标记所用有效数字位数应与原始数据的有效数字位数相同,单位应与坐标轴的单位一致;坐标分度值不一定从零开始,可以用小于原始数据的某一整数作为坐标分度的起点,用大于测量所得最高值的某一整数作为终点,这样图线就能充满所选用的整个图纸。

(3) 标点(又称实验数据点)。根据测量数据,用 $\triangle$ 或 $\bullet$ 等记号标出各数据点在坐标纸上的位置,记号的交叉点或圆心应是测量点的坐标位置。

(4) 作一条与许多实验数据点基本相拟合的图线。连线时必须使用工具(最好用透明的直尺、三角板、曲线板等工具),所绘曲线或直线应光滑匀称,而且要使所绘直线通过较多的测量点,但不能连成折线。对于严重偏离曲线或直线的个别点连线时可以舍弃,其它不在图线上的点应均匀分布在图线两侧。

(5) 注解和说明。在图纸的明显位置写清图的名称、作者、作图日期及必要的简短说明或计算公式、计算结果等。

1.2 数字万用表

1.2.1 数字万用表概述

万用表又称多用表,是一种可测量多种电量、多量程的便携式电工测量仪表。一般的万用表以测量电阻,交、直流电流,交、直流电压为主。有的万用表还可以用来测量音频电平、电容量、电感量和晶体管的 β 值等。万用表的种类很多,按其读数方式可分为模拟式万用表和数字式万用表两类。模拟式万用表是通过指针在表盘上摆动角度的大小来指示被测量的数值,因此又称为指针式万用表。由于它具有价格便宜、使用方便、量程多、功能满足基本要求等优点深受使用者的欢迎。数字式万用表是采用集成电路模/数转换器和液晶显示器,将被测量的数值直接以数字形式显示出来的一种电子测量仪表。数字万用表根据内部结构的不同,可以分为普通数字万用表和智能数字万用表。普通数字万用表采用数字电路或低档单片机来实现万用表的功能。其主要特点是:实现的功能多、集成芯片外围电路简单、测量较准确和读数方便直观等。其内部结构如图1-1所示。

智能数字万用表利用DSP(数字信号处理器)、ARM(一种高级单片处理器)等芯片组成的系统来实现万用表的功能。其主要特点是:实现的功能全面并可扩充、全机电路复杂、

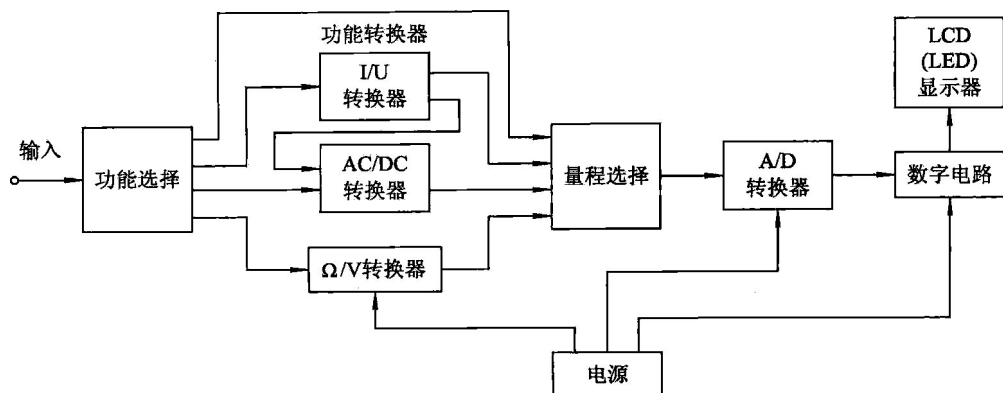


图 1-1 数字万用表内部结构

测量精度高等。常用的数字万用表显示数字位数有三位半、四位半和五位半等，对应的数字显示最大值分别为 1999、19 999 和 199 999。

M9803 型数字万用表是一种功能齐全、操作方便、读数准确、体积小、携带方便的台式大屏幕液晶显示 3³/₄ 位数字万用表，具有 0~4000 的计数能力。该仪表可用来测量直流电压和电流、交流电压和电流、电阻、电容、频率、二极管正向压降，以及作电路通断测试等，它广泛用于实验室、野外维修、家用或其他应用场合，所有的功能和量程都具备过载保护。

1.2.2 M9803 数字万用表面板功能介绍

M9803 型数字万用表面板如图 1-2 所示。

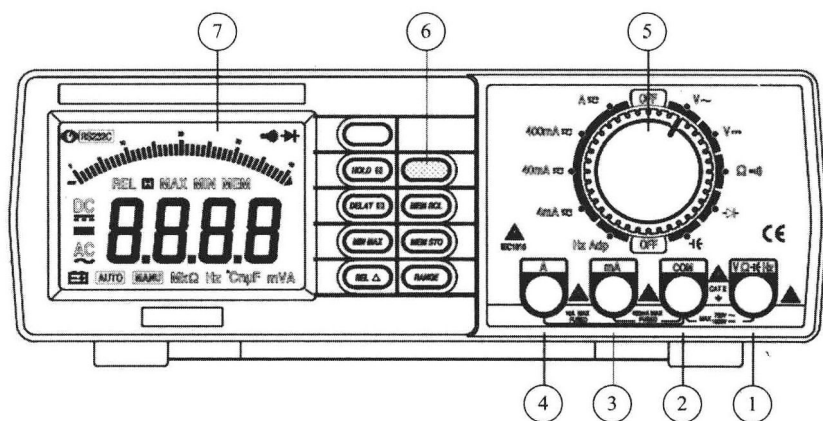


图 1-2 M9803 型数字万用表面板图

① $V\Omega \text{---} \text{Hz}$ ：电压、电阻、二极管、频率测量输入端。它是所有测量功能的正输入端（电流测量除外），使用时用红色测试线进行连接。

② COM：公共端。所有测量功能的负输入端（接地），使用时用黑色表笔进行连接。

③ mA：小电流测量输入端。交、直流电流（400 mA 以下）测量功能的正输入端，使用

时用红色表笔进行连接。

④ A：大电流测量输入端。交、直流电流(10 A 以下)测量功能的正输入端，使用时用红色测试线进行连接；大于 10 A 的(交流)电流，要通过电流互感器(钳形表)间接测量。

⑤ 功能/量程选择旋钮：该旋钮共有 12 个挡位，正好对应时钟钟面 12 个整点。其中 6 点和 12 点的位置为关闭。除了电流测量的量程由该旋钮手动选定外，交直流电压、电阻、电容、频率测量的量程，开机后均设定为 AUTO，并自动显示测量单位。当测量电阻时，显示 40.00 M Ω 且字符“4”在闪烁，则为断路。

⑥ 功能/量程选择按键：共有 9 个按键，用于测量功能和量程的选择。所有的按键操作均为触发式的键操作，除非有特别的说明。通过按键操作可进入下列功能：

- 黄色按键(背光源按键)：可以通过按此键点亮或熄灭背光源。在直流电源(电池)供电工作时，背光源点亮约 8 秒钟后自动熄灭。

- 蓝色按键(功能选择按键)：在电阻测量和电路通断测试量程中，通过按此键进行电阻测量和电路通断测试功能的切换。在频率测量和 ADP 测量中，通过按此键进行频率测量和 ADP 测量功能的切换。在交、直流电流 A 与 mA 挡测量量程中，通过按此键进行交流电流和直流电流测量功能的切换。

- 除了上述 2 个键，还有 7 个按键，分别是 HOLD(数据保持)，DELAY(延迟)，MAX MIN(最大最小值)，REL(相对值测量)，RANGE(手动量程转换)，MEM STO(数据存储)，MEM RCL(数据调出)。各键的功能定义和用法请参考使用说明书。

⑦ LCD 液晶显示器：用于显示测量操作功能、测量结果以及单位符号等。

此外，在使用万用表时，当出现下列情况之一时，蜂鸣器会发出约 2 kHz 的蜂鸣声提示：

- 在进行按键操作时；
- 在出现超量程时，但电阻测量(Ω)、频率测量(Hz)、电路通断测试和二极管测试除外；
- 在所有电源都被关闭时；
- 在电路通断测试结果显示小于约 40 Ω 时。

1.2.3 数字万用表测量功能介绍

1. 测量电压

功能/量程选择旋钮旋到电压挡(交流电压挡在 1 点钟位置，直流电压挡在 2 点钟位置)，将连接到右下角电压测量“V Ω —|—Hz”输入端的红色表笔接电路中的测量点，连接到公共端“COM”的黑色表笔接电路中的“地”，则此时显示屏上显示所测电压值及单位，并有 AC 或 DC 字样显示。测直流电压时，如果红、黑表笔互换，则读数前会相差一个负号。

2. 测量电流

测电流前必须预先估算电流大小：如果电流在 400 mA(直流为平均值，交流为有效值)以下，可将红色表笔插头插入 mA 挡电流插孔；如果电流在 400 mA 以上、10 A 以下，可将红色表笔插头插入 A 挡电流插孔，黑色表笔插头仍插入公共端“COM”。功能/量程选

择旋钮也转到电流挡相应挡位。如果不能确定电流的大小,则从量程最大的那一挡开始(第一次测量后再逐渐调小)。根据是交流电流还是直流电流,按蓝色按键切换,屏上有 AC 或 DC 字样显示。将两表笔串联接入待测支路(即暂时断开待测支路,将红黑两表笔分接断开处),则此时显示屏上读数为所测电流值及单位。注意测电流时不可将两表笔并联接在具有电压的支路(或元件)两端。如(交流)电流有可能超过 10 A,要用电流钳。

3. 测量电阻

在测量电阻时,必须先断开电源,然后至少断开电阻一端,功能/量程选择旋扭转到电阻挡(3 点钟位置),红色表笔和黑色表笔的插孔位置与电压测量相同。将红笔和黑笔分接电阻两端,则此时屏上显示的为所测电阻值及单位。注意测量时不可双手捏住电阻两端。

4. 测量二极管正向压降

将功能/量程选择旋扭转到二极管挡(4 点钟位置),红色表笔和黑色表笔的插孔位置与电压测量相同。将红笔连接二极管的正极,黑笔连接二极管的负极,则此时显示屏上显示的为所测二极管的正向压降及单位。典型的电压降应该是大约 0.6 V(硅二极管)或 0.3 V(锗二极管)左右;如果二极管反偏或开路,则显示器显示的读数(开路电压)约为 3.0 V 左右;二极管测试挡设为固定量程 4.000 V。

5. 测量频率

将旋钮开关旋至频率测量挡(7 点钟位置),在该挡除量程按键失效外,所有其它按键均为有效。可以通过按蓝色功能选择按键实现频率测量或 ADP 测量功能的切换。

频率测量的操作说明如下:

- (1) 将红、黑色表笔插头分别插入“V Ω — Hz”和“COM”输入端插孔。
- (2) 在频率测量时,不需事先知道量程,仪表自动地设置最高分辨率的量程。
- (3) 输入信号强度不能大于输入电压极限(250 V DC/AC RMS),但必须大于仪表的灵敏度。
- (4) 两表笔并联在频率源上,并在显示器上直接读取结果。
- (5) 频率测量为自动量程,无手动量程功能。

6. 测量电容

电容测量的具体操作如下:

- (1) 将旋钮开关旋至电容测量挡(5 点钟位置)。

- (2) 所有的电容在测量前必须全部放电。

注:电容放电的一个安全途径是在电容两端跨接一个 100 k Ω 的电阻。

- (3) 选择能给出最精确的测量读数的测量量程或设置为自动量程。

- (4) 用红黑表笔的鳄鱼夹连接电容引线端或将电容引线端插入仪表的测量插座。

从显示器上直接读取电容值。电容测量的准确度可以通过首先使用相对测量显示按键(相对测量功能)置零而得到改善,在测量过程中仪表能够自动减去自身和测试线的分布电容。在进入相对测量功能后仍然可以选择手动量程功能进行测量。

注:电容的残留电压、绝缘阻抗的差异等都可能引起测量误差;在电容测量挡除功能选择按键无效外,所有其他按键均为有效。

1.3 示波器的原理与使用

示波器是一种用途十分广泛的电子测量仪器。它能把肉眼看不见的电信号变换成看得见的图像,便于人们研究各种电现象的变化过程。示波管利用由高速运动的电子组成的电子束,轰击涂有荧光物质的屏面,在屏面产生细小的光点。电子束在被测信号放大后形成的偏转电场的作用下,就好像一支笔的笔尖,可以在屏面上描绘出被测信号的瞬时值的变化曲线。利用示波器能观察各种信号幅度随时间变化的波形曲线,还可以用它测量电信号各种不同的参数,如电压、电流、周期、频率、相位差、占空比等等。许多非电量信号,也可以通过传感器转换为电信号后,再用示波器观察、测量。现代的示波器还增加了许多新的功能,例如文字、数据显示,波形存储等等。

1.3.1 示波器的工作原理

普通示波器主要由示波管及其显示电路、垂直(Y轴)放大电路、水平(X轴)放大电路、扫描与同步电路、标准信号发生器、稳压电源等几个基本组成部分。

1. 示波管

示波管及其显示电路包括示波管及其控制电路两个部分。示波管是一种特殊的电子管,由电子枪、偏转系统和荧光屏3个部分组成。图1-3是示波管结构示意图。

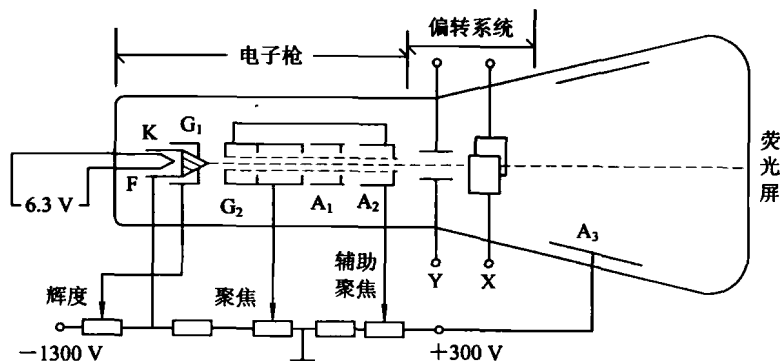


图 1-3 示波管结构示意图

(1) 电子枪。它用于产生高速并会聚成细束状电子流,去轰击荧光屏使之发光。它主要由灯丝F、阴极K、栅极G₁、前加速极G₂、第一阳极A₁、第二阳极A₂等组成。除灯丝外,其余电极的结构都为金属圆筒,且它们的轴心都保持在同一轴线上。示波管的灯丝通电后加热阴极,阴极表面涂有金属氧化物涂层,被加热后可发射大量电子;栅极是一个中心带有小孔的圆筒,电位相对阴极来说为负,一部分初速较低电子被排斥回阴极,只有初速较大的部分电子才能通过小孔沿轴向进入前加速极G₂,改变栅极电位可以改变通过小孔的电子数,也就是控制荧光屏上光点的辉度;阳极A₁、A₂的作用是加速和控制电子流。为了提高荧光屏上光点的亮度,又不降低对电子束偏转的灵敏度,现代示波管中在偏转系统和荧光屏之间还加上一个后加速阳极A₃。

第一阳极对阴极而言加有约几百伏的正电压。在第二阳极上加有一个比第一阳极更高的正电压。穿过栅极小孔的电子束在第一阳极和第二阳极高电位的作用下得到加速,从而向荧光屏方向作高速运动。由于电荷的同性相斥,电子束会逐渐散开。通过第一阳极、第二阳极之间电场的聚焦作用,使电子重新聚集起来并交汇于一点。适当控制第一阳极和第二阳极之间电位差的大小,便能使焦点刚好落在荧光屏上,显现一个光亮细小的圆点。改变第一阳极和第二阳极之间的电位差,可起调节光点聚焦的作用,这就是示波器的“聚焦”和“辅助聚焦”调节的原理。

(2) 偏转系统。示波管的偏转系统大都是静电偏转式,它由两对相互垂直的平行金属板组成,分别称为水平偏转板 X 和垂直偏转板 Y ,并分别用于控制电子束在水平方向和垂直方向的运动。当电子束在偏转板之间运动时,如果偏转板上没有加电压,偏转板之间无电场,离开第二阳极后进入偏转系统的电子束将沿轴向运动,射向屏幕的中心。如果两块垂直偏转板 Y 有电压,偏转板 Y 间则形成电场,进入偏转系统的电子束会在偏转电场的作用下射向荧光屏。最后,电子束撞击荧光屏上的一点,这个点距离荧光屏 X 轴有一段距离,这段距离称为偏转量,用 y 表示。偏转量 y 与垂直偏转板上所加的电压 U_Y 成正比。同理,在水平偏转板 X 上加有直流电压时,也发生类似情况,只是光点在水平方向上偏转。

(3) 荧光屏。它位于示波管的终端,它的作用是将偏转后的电子束显示出来,以便观察。在示波器的荧光屏内壁涂有一层荧光物质,因而,荧光屏上受到高速电子冲击的地方就显现出荧光。此时光点的亮度决定于电子束中电子的数目、密度及其速度。改变控制极的电压时,电子束中电子的数目将随之改变,光点亮度也就改变。在使用示波器时,不宜让很亮的光点固定出现在示波管荧光屏的一个位置上,否则该点处的荧光物质将因长期受电子冲击而烧坏。

2. 垂直(Y 轴)和水平(X 轴)放大电路

一般的被测信号电压都要先经过垂直放大电路的放大,再加入到示波管的垂直偏转板 Y 上,以得到垂直方向的适当大小的图形。

扫描发生器产生一个与时间成线性关系的周期性锯齿波电压(又称扫描电压),则经过水平放大电路的放大,并加到水平偏转板 X 上,以得到水平方向的适当大小的图形。

3. 扫描与同步电路

扫描电路产生一个锯齿波电压。该锯齿波电压的频率能在一定的范围内连续可调。锯齿波电压的作用是使示波管阴极发出的电子束在荧光屏上形成周期性的、与时间成正比的水平位移,即形成时间基线(垂直方向的被测信号为零时)。这样,才能把加在垂直方向的被测信号按时间的变化波形展现在荧光屏上。

4. 波形显示原理

示波器的基本工作原理是用电子束撞击 CRT 的荧光屏来显示周期性变化信号的轨迹。一般示波器的垂直偏转板由被测信号电压控制,而水平偏转板由示波器内部产生的、与时间成线性关系的周期性锯齿波电压控制,电子束在荧光屏上的垂直位移距离取决于被测信号的大小,水平位移距离取决于锯齿波信号的大小。这两个运动的合成,就是被测信号对时间的函数图像。如果未接入被测信号(相当于被测信号等于零),而仅将与时间成线性关系的周期性锯齿波电压接入 X 轴放大电路,则电子束仅在水平方向展开成一条水平

亮线,称为时基扫描线。

为了在荧光屏上能看到被测信号电压稳定的图形,要求扫描电压 u_x 的周期 T_x 与 Y 轴输入的被测信号 u_y 的周期 T_y 之比 n 具有整数倍的关系,即

$$n = \frac{T_x}{T_y} \quad (1-1)$$

式中, n 应为正整数。当 $n=2$ 时, $T_x=2T_y$, 屏幕显示的波形如图 1-4 所示。

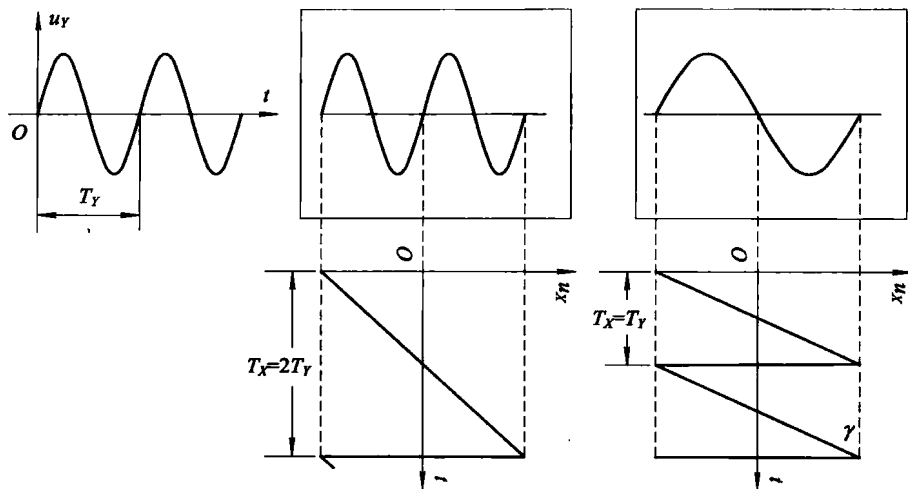


图 1-4 示波器显示波形原理

由示波器的功能可知,被测信号电压加到示波器的 Y 轴输入端,经垂直放大电路处理,并加于示波管的垂直偏转板。示波管的水平偏转电压,虽然多数情况都采用锯齿波电压(用于观察波形时),但有时也采用其它的外加电压(用于测量频率、相位差等时),因此在水平放大电路输入端有一个水平信号选择开关,以便按照需要选用示波器内部的锯齿波电压,或选用外加在 X 轴输入端上的其它电压作为水平偏转电压。

为了使荧光屏上显示的图形保持稳定,要求锯齿波电压信号的频率和被测信号的频率保持准确的倍数关系,即所谓同步。这样,不仅要求锯齿波电压的频率能连续调节,而且在产生锯齿波的电路上还要输入一个同步信号。这样,对于只能产生连续扫描(即产生周而复始、连续不断的锯齿波)一种状态的简易示波器而言,需要在其扫描电路上输入一个与被观察信号频率相关的同步信号,以牵制锯齿波的振荡频率。为了适应各种需要,同步(或触发)信号可通过同步或触发信号选择开关来选择,通常来源有 3 个:① 从垂直放大电路引来被测信号作为同步(或触发)信号,此信号称为“内同步”(或“内触发”)信号;② 引入某种相关的外加信号为同步(或触发)信号,此信号称为“外同步”(或“外触发”)信号,该信号加在外同步(或外触发)输入端;③ 有些示波器的同步信号选择开关还有一个“LINE”档,是由 220 V、50 Hz 电源电压通过变压器次级降压后作为同步信号。

1.3.2 GOS-6031 示波器面板操作键及功能说明

GOS-6031 型双通道通用示波器可以同时显示两路输入信号波形,并可对信号进行测量和处理。以微处理器为核心的操作系统控制仪器的多种功能。使用光标,可从屏幕上的

文字符号直接读出电压、时间、频率等参数；为了方便仪器的操作，有 10 组不同的面板设置，从而可任意存储及调出。垂直偏转系统有两个输入通道，每一通道的垂直偏转灵敏度从 1 mV/DIV 到 20 V/DIV ，共有 14 挡可供选择；水平偏转系统提供从 $0.2\text{ }\mu\text{s/DIV}$ 到 0.5 s/DIV ，共 20 挡的扫描时间。触发系统可在垂直偏转系统全带宽的范围内提供稳定的触发。

GOS-6031 型示波器的前面板如图 1-5 所示，可以分为显示器控制、垂直控制、水平控制和触发控制四部分。

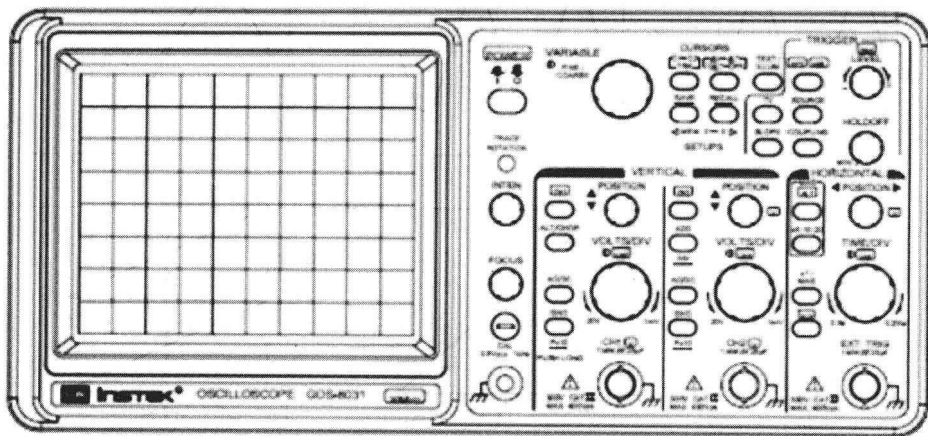


图 1-5 GOS-6031 型示波器面板图

下面介绍 GOS-6031 型示波器各个重要旋钮和按钮的名称及其功能。

1. 显示控制

显示控制钮调整屏幕上的波形，提供探头补偿信号。显示控制部分在面板上的位置如图 1-6 所示。

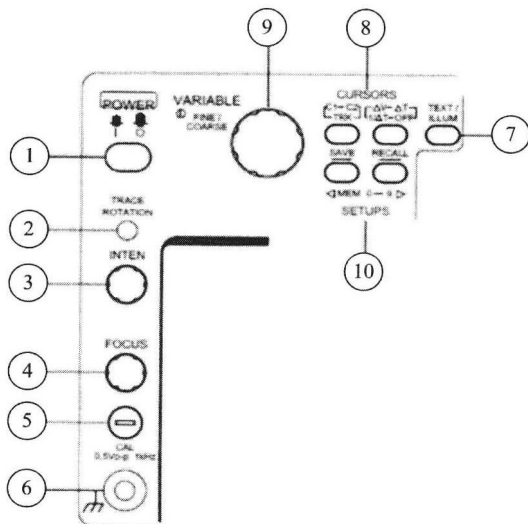


图 1-6 GOS-6031 型示波器面板显示器控制部分