

电气工程· 实验教程

DIANQI GONGCHENG
SHIYAN JIAOCHENG ·

主编 王 玮

编著 徐建军 倪平浩 季晓衡

关 宇 李继红



清华大学出版社



北京交通大学出版社

电气工程实验教程

主编 王 玮

编著 徐建军 倪平浩 季晓衡
关 宇 李继红

清华大学出版社
北京交通大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书是一本面向电气工程学科及相关专业的综合性本科实验教材。全书共分 17 章, 主要介绍了电测与计量实验、微机原理与接口技术实验、自动控制原理实验、电机拖动实验、电气设备及控制实验、传感器技术实验、计算机通信与网络控制实验、可编程控制器原理与应用实验、电力电子技术实验、嵌入式系统实验、现代控制理论实验、自动控制系统实验、电力系统继电保护实验、电力系统基础实验、电力系统稳定控制实验、电力系统故障分析实验、电力系统自动化实验等内容。本书还将相关课程设计名称及综合设计题目列于附录中, 供参考使用。

本书可供普通高等学校电气工程学科及相关专业的本科生、教师使用, 也可供相关专业的专科学生使用。

版权所有, 翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术, 用户可通过在图案表面涂抹清水, 图案消失, 水干后图案复现; 或将表面膜揭下, 放在白纸上用彩笔涂抹, 图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程实验教程 / 王玮主编; 徐建军等编著. — 北京: 清华大学出版社; 北京交通大学出版社, 2006.10

ISBN 7-81082-877-0

I. 电… II. ①王… ②徐… III. 电气工程-实验-高等学校-教材 IV. TM-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 109379 号

责任编辑: 解 坤

出版发行: 清华大学出版社 邮编: 100084 电话: 010-62776969 <http://www.tup.com.cn>
北京交通大学出版社 邮编: 100044 电话: 010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者: 北京东光印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 24.25 字数: 606 千字

版 次: 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-81082-877-0/TM·14

印 数: 1~5 000 册 定价: 35.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

前 言

随着我国国民经济的高速发展,电气工程领域在生产及人们生活中的作用越来越重要,电气工程学科已成为各高校的主要学科之一。本书是一本面向电气工程学科及相关专业的综合性本科实验教材。

本书打破了传统的单科实验指导书的模式,将电气工程学科各专业的主要实验内容汇集成为综合性的实验教程,力争给教、学双方提供使用上的方便。本书既包括了电气工程学科经典的基本实验内容,又包括了学科前沿正在发展的内容。

本书共分 17 章,分两个层次编写,前 8 章为第一层次,面向电气工程学科专业基础课程,注重学生对基本实验设备、基本实验技能和基本实验理念的掌握;后 9 章为第二层次,面向电气工程学科专业课程,注重学生动手能力、综合应用能力和创新能力的培养。本书还将相关课程设计名称及综合设计题目列于附录中,可供参考使用。这样本书可适应不同层次的学生和教师选用,对于掌握电气工程基本概念,提高分析问题和解决问题的能力有很大好处。

全书由王玮主编,第 1 章至第 3 章由徐建军、邱瑞昌、李杏春编写,第 4 章由李继红编写,第 5 章由倪平浩、李继红编写,第 6 章由季晓衡、汤钰鹏编写,第 7 章与第 8 章由徐建军、胡晓刚编写,第 9 章由季晓衡、关宇编写,第 10 章由徐建军、王玮、王保华编写,第 11 章由邱瑞昌、徐建军编写,第 12 章由关宇编写,第 14 章至第 16 章由倪平浩、王玮编写,第 13 章与第 17 章由倪平浩编写。

本书在编写过程中得到了北京交通大学电气工程学院许多老师的帮助与指导,给本书提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢。本书受北京交通大学教材出版基金资助。

我们力求在书中反映电气工程学科实验教学的最新内容,但由于水平有限,书中难免有缺点与疏漏之处,在此敬请读者批评指正。

编者
2006 年 8 月

目 录

第 1 章 电测与计量	1
1.1 电测与计量实验基础知识	1
1.1.1 电测与计量实验要求	1
1.1.2 示波器基本原理	1
1.1.3 示波器 SS-7802 的应用介绍	6
1.1.4 数字示波器原理与应用	12
1.1.5 虚拟仪器	14
1.2 电测与计量实验内容	24
1.2.1 模拟示波器波形参数测量	24
1.2.2 数字示波器的使用与测量	25
1.2.3 图示仪的使用及晶体管特性参数测量	25
1.2.4 虚拟仪器的使用与测量	26
1.2.5 数字化测量仪的应用	27
第 2 章 微机原理与接口技术	28
2.1 微机原理与接口技术实验基础知识	28
2.1.1 微机原理与接口技术实验要求	28
2.1.2 80C196 单片机的硬件结构	28
2.1.3 8XC196 状态字和堆栈	28
2.1.4 单片机实验系统硬件	31
2.1.5 仿真环境	34
2.1.6 快速入门	44
2.2 微机原理与接口技术实验内容	49
2.2.1 加减乘除基本运算	49
2.2.2 显示程序设计	52
2.2.3 中断应用	53
2.2.4 A/D 采集应用	57
2.2.5 高速输入的应用	60
2.2.6 高速输出的应用	64
2.2.7 串行通信的应用	65
2.2.8 串行 E ² PROM 应用	66
2.2.9 键盘的应用	70
2.2.10 液晶显示器的应用	71
2.2.11 RS-485 接口的应用	71
2.2.12 微机原理与接口技术实验考试	72

第3章 自动控制原理	73
3.1 自动控制原理实验基础知识	73
3.1.1 自动控制原理实验要求	73
3.1.2 自动控制原理模拟实验装置简介	73
3.1.3 自动控制原理模拟实验硬件装置	74
3.1.4 自动控制原理软件的安装和使用	76
3.1.5 常用典型模拟运算电路	81
3.1.6 应用举例	82
3.2 自动控制原理实验内容	84
3.2.1 典型线性环节的研究	84
3.2.2 二阶系统的阶跃响应和线性系统的稳定性研究	87
3.2.3 二阶系统的频率响应	89
3.2.4 控制系统的校正	91
3.2.5 典型非线性环节研究	93
3.2.6 非线性系统设计	95
3.2.7 高阶非线性系统设计	99
3.2.8 采样系统分析	101
第4章 电机拖动	104
4.1 电机拖动实验基础知识	104
4.1.1 电机拖动实验要求	104
4.1.2 电机实验室设备仪表	104
4.2 电机拖动实验内容	105
4.2.1 单相变压器的参数测定	105
4.2.2 三相变压器的极性与组别	107
4.2.3 三相异步电动机首尾端判定和降压启动	109
4.2.4 三相异步电动机工作特性实验	110
4.2.5 直流电机综合实验	112
4.2.6 单相变压器并联运行	114
4.2.7 三相组式变压器波形分析	116
4.2.8 三相同步发电机的运行特性	117
4.2.9 三相同步发电机的参数测定	119
4.2.10 三相同步发电机的并联运行	121
4.2.11 三相同步电动机	123
4.2.12 三相变压器并联运行	125
4.2.13 三相变压器	127
第5章 电气设备及控制	129
5.1 电气设备及控制实验要求	129
5.2 电气设备及控制实验内容	129
5.2.1 断路器实验	129

5.2.2	变压器实验	132
5.2.3	互感器实验	135
5.2.4	变电站倒闸操作实验	137
第 6 章	传感器技术	139
6.1	传感器技术实验基础知识	139
6.1.1	传感器技术实验要求	139
6.1.2	传感器技术实验台介绍	139
6.1.3	传感器技术实验台使用	140
6.2	传感器技术实验内容	141
6.2.1	差动变压器的性能实验	141
6.2.2	激励频率对差动变压器特性的影响	143
6.2.3	差动变压器零点残余电压补偿实验	144
6.2.4	电容式传感器的位移实验	145
6.2.5	直流激励时霍尔式传感器位移特性实验	146
6.2.6	交流激励时霍尔式传感器位移特性实验	147
6.2.7	霍尔测速实验	148
6.2.8	电涡流传感器位移实验	149
6.2.9	被测体材质对电涡流传感器特性的影响	151
6.2.10	被测体面积大小对电涡流传感器的特性影响实验	152
6.2.11	电涡流传感器测量振动实验	153
6.2.12	光电转速传感器的转速测量实验	154
6.2.13	热电阻测温特性实验	155
6.2.14	热电偶测温性能实验	156
6.2.15	集成温度传感器 (AD590) 温度特性实验	157
第 7 章	计算机通信与网络控制	160
7.1	计算机通信与网络控制实验基础知识	160
7.1.1	计算机通信与网络控制实验要求	160
7.1.2	交换机	160
7.1.3	路由器	164
7.1.4	网线	169
7.1.5	网卡	171
7.1.6	IP 寻址和子网划分	172
7.1.7	生成树路由	174
7.1.8	虚拟局域网	176
7.2	计算机通信与网络控制实验内容	179
7.2.1	安装配置 Windows 2000 工作站	179
7.2.2	RJ-45 接口连线实验	179
7.2.3	网络配置及网络资源共享	180
7.2.4	IP 寻址和子网划分	182

7.2.5	生成树路由配置实验	184
7.2.6	配置 VLAN 实验	185
7.2.7	网络监测系统设计	186
7.2.8	网络控制调节系统设计	186
第 8 章	可编程控制器原理与应用	188
8.1	可编程控制器原理与应用实验基础知识	188
8.1.1	可编程控制器原理与应用实验要求	188
8.1.2	实验开机前准备	188
8.1.3	STEP7 软件快速入门	188
8.2	可编程控制器原理与应用实验内容	193
8.2.1	三地送料小车的控制	193
8.2.2	传送带控制	194
8.2.3	加热炉定时控制	195
8.2.4	三相异步电机的星/三角启动控制系统	196
8.2.5	定时器控制的新方法	197
8.2.6	搅拌机控制系统设计	197
8.2.7	仓库区控制系统	198
8.2.8	机械手控制系统设计	199
第 9 章	电力电子技术	202
9.1	电力电子技术实验基础知识	202
9.1.1	电力电子技术实验要求	202
9.1.2	功率二极管	202
9.1.3	晶闸管	203
9.1.4	可关断晶闸管	205
9.1.5	电力晶体管	205
9.1.6	电力场效应晶体管	207
9.1.7	绝缘栅双极晶体管	208
9.1.8	其他新型场控器件	208
9.2	电力电子技术实验内容	211
9.2.1	单相桥式二极管整流电路	211
9.2.2	三相桥式全控整流电路实验	212
9.2.3	三相有源逆变电路实验	215
9.2.4	直流斩波电路实验	216
9.2.5	无源逆变电路实验	218
9.2.6	脉冲整流器实验	221
9.2.7	电力电子器件实验	222
第 10 章	嵌入式系统	225
10.1	嵌入式系统实验基础知识	225
10.1.1	嵌入式系统实验要求	225

10.1.2 嵌入式系统箱介绍	225
10.2 嵌入式系统实验内容	230
10.2.1 Code Composer Studio 入门实验	231
10.2.2 编制链接控制文件	235
10.2.3 数据存取实验	237
10.2.4 定点数除法实验	241
10.2.5 I/O 端口实验	246
10.2.6 I/O 控制模块实验	248
10.2.7 定时器实验	250
10.2.8 模数转换实验	253
10.2.9 数模转换实验	257
10.2.10 PWM 实验	258
10.2.11 自启动实验	261
10.2.12 发光二极管阵列显示实验	263
10.2.13 液晶显示器控制显示实验	264
10.2.14 键盘输入实验	266
10.2.15 音频信号发生实验	267
10.2.16 步进电机控制实验	268
10.2.17 异步串口通信实验	269
第 11 章 现代控制理论	271
11.1 现代控制理论实验基础知识	271
11.1.1 现代控制理论实验要求	271
11.1.2 状态反馈	271
11.1.3 状态观测器和状态反馈	274
11.2 现代控制理论实验内容	278
11.2.1 状态反馈系统设计	278
11.2.2 状态观测器和状态反馈	280
第 12 章 自动控制系统	283
12.1 自动控制系统实验基础知识	283
12.1.1 自动控制系统实验要求	283
12.1.2 三相变流桥路	283
12.1.3 直流电机调速控制箱	284
12.1.4 直流脉宽调速系统实验箱	288
12.2 自动控制系统实验内容	288
12.2.1 晶闸管直流调速系统参数和环节特性的测定实验	289
12.2.2 单闭环晶闸管直流调速系统实验	292
12.2.3 双闭环晶闸管不可逆直流调速系统实验	295
12.2.4 逻辑无环流可逆直流调速系统实验	298
12.2.5 有环流可逆调速系统实验	300
12.2.6 双闭环可逆直流脉宽调速系统	304

12.2.7 双闭环三相异步电机调压调速系统实验	308
12.2.8 双闭环三相异步电机串级调速系统实验	311
12.2.9 双闭环控制的直流脉宽调速系统	314
第 13 章 电力系统继电保护	317
13.1 电力系统继电保护实验基础知识	317
13.1.1 电力系统继电保护实验要求	317
13.1.2 电力系统继电保护常用继电器	317
13.2 电力系统继电保护实验内容	321
13.2.1 三段电流保护实验	321
13.2.2 距离保护装置方向阻抗测量元件实验	323
13.2.3 DCD-2 型差动继电器实验	326
13.2.4 三相一次自动重合闸装置演示	328
13.2.5 微机保护实验	332
第 14 章 电力系统基础	342
14.1 电力系统基础实验基础知识	342
14.1.1 电力系统基础实验要求	342
14.1.2 DDRTS 系统软件使用	342
14.2 电力系统基础实验内容	349
14.2.1 电力系统运行方式及潮流分析实验	349
14.2.2 电力系统横向故障分析实验	351
第 15 章 电力系统稳定控制	353
15.1 电力系统稳定控制实验要求	353
15.2 电力系统稳定控制实验内容	353
15.2.1 电力系统功率特性分析实验	353
15.2.2 静态稳定分析实验	355
15.2.3 暂态稳定分析实验	358
第 16 章 电力系统故障分析	361
16.1 电力系统故障分析实验要求	361
16.2 电力系统故障分析实验内容	361
16.2.1 电力系统电磁暂态过程分析实验	361
16.2.2 电力系统横向故障分析实验	364
16.2.3 电力系统非全相运行(纵向故障)分析实验	366
第 17 章 电力系统自动化	369
17.1 电力系统自动化实验要求	369
17.2 电力系统自动化实验内容	369
17.2.1 ZZQ-5 自动准同期教学装置实验	369
17.2.2 半导体可控硅自动调节励磁实验	370
附录 A 电气工程课程设计名称	374
附录 B 电气工程专业综合设计题目	375
参考文献	377

第 1 章 电测与计量

1.1 电测与计量实验基础知识

1.1.1 电测与计量实验要求

(1) 认真预习实验, 保证在进实验室前掌握实验基础知识, 尤其是示波器的应用, 并有一份详细的预习报告。

(2) 开放实验室, 实验室教师和任课老师可以随时答疑。在实验室的开放时间里学生自己设计实验电路完成实验。

(3) 实验过程中要认真记录数据和实验中出现的問題, 可以讨论, 但不能大声喧哗。

(4) 实验报告必须手写, 要写出调试过程中出现的問題及如何解决问题, 不得抄袭。

1.1.2 示波器基本原理

示波器是一种常用的电子测量仪器, 其显示的核心部件是示波管, 利用它能够直接观察电压、电流的波形, 并可以测量电压值。示波器的型号很多, 基本操作方法和原理相同。示波器是现代电子技术, 特别是数字电子技术必不可少的测量仪器。

1. 示波器的示波管工作原理

热阴极发射的电子在灯丝附近做无规则热运动, 如果在阴极的金属板间加上电压 U_2 , 如图 1-1 所示, 并使金属板的电势高于热阴极板, 从热阴极发出的电子在电场力的作用下被加速, 从金属板上的小孔穿出。整个装置固定于真空玻璃管中, 就成了能射出电子的电子枪。

被电子枪加速了的电子, 在真空中做匀速直线运动 (重力影响不计)。若在前进中水平放置一对金属板 YY' (板长为 l , 相距为 d), 并加上电压 U_3 , 即建立了垂直方向的匀强电场 (略去边缘效应), 则场强 $E = U_3/d$, 电子受到电场力作用而发生偏转 (类平抛运动), 偏转距离表示如下:

$$y_1 = \frac{eU_3 l^2}{2mdv_0^2} \propto U_3$$

偏转角表示如下:

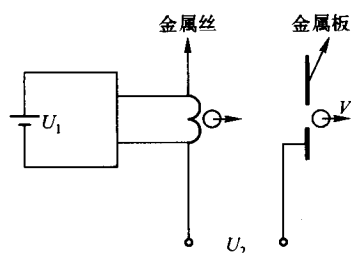


图 1-1 电子枪结构示意图

$$\tan \varphi = \frac{v_{\perp}}{v_0} = \frac{eU_3}{mdv_0^2} \propto U_3$$

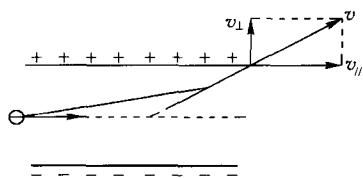


图 1-2 电子在水平极板中飞行

加水平金属板后, 电子就像从极板中点沿直线飞出, 如图 1-2 所示。在图 1-2 的基础上再增加一对竖直放置的平行金属板, 即建立水平方向的匀强电场, 则电子在前进过程中还受到水平方向电场力的作用而发生水平方向的偏转, 这就是示波管, 如图 1-3 所示, 这样电子束就同时受到水平方向和竖直方向的偏转控制。

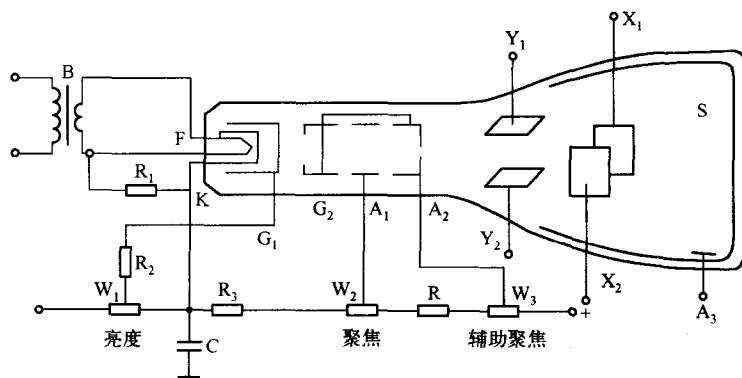


图 1-3 示波管示意图

高速运动的电子束打在荧光粉上, 荧光粉就会发光。利用这一原理, 将电子枪、偏转电极封装在一个密封的真空玻璃罩内, 并在电子枪正对的平面玻璃板上均匀地涂上一个示波管。这样电子束的运动和偏转就能在荧光屏上观察到。如果在偏转电极 X 、 X' 及 Y 、 Y' 上都不加偏转电压, 电子从金属板小孔射出后将沿直线运动, 打在荧光屏上, 在屏的中心产生一个亮斑, 如图 1-4 所示。

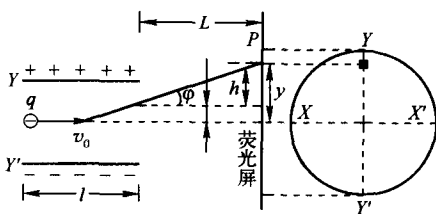


图 1-4 竖向偏转位移示意图

如果只在偏转电极 Y 、 Y' 上加上电压, 电子在 Y 、 Y' 的电场中发生偏转, 离开偏转电极 Y 、 Y' 后沿直线前进, 打在荧光屏上的亮斑发生竖直方向偏移 y , 如图 1-4 所示。

则竖直方向的偏移距离为:

$$y = \frac{(L + l/2) U_3 e l}{m d v_0^2}$$

改变加在 Y 、 Y' 电极上的电压, y 也随之改变, 如在 Y 、 Y' 电极两端加上一正弦信号, 亮斑也在竖直方向做简谐运动。当电压变化很快时, 由于荧光物质的残光特性和视觉暂留效应, 亮斑看起来就成为一条竖直亮线。

同理, 若只在 X 、 X' 电极上加上电压, 亮斑就在水平方向上发生偏转。加上随时间变化的电压, 亮斑的位置就在水平方向上随时间而改变。例如加上锯齿波形电压, 亮斑就从左侧均匀地运动到右侧, 然后迅速地回到左侧原处, 再均匀地移向右侧, 如此反复, 这个过程

叫做扫描。如果扫描电压变化很快，亮斑就成为一条水平亮线。

2. 示波器的基本组成

从上面可知，只要控制 X 轴偏转板和 Y 轴偏转板上的电压，就能控制示波管显示的图形形状。我们知道，一个电子信号是时间的函数 $f(t)$ ，它随时间的变化而变化。因此，只要在示波管的 X 轴偏转板上加一个与时间变量成正比的电压，在 Y 轴加上被测信号（经过比例放大或者缩小），示波管屏幕上就会显示出被测信号随时间变化的图形。电信号中，在一段时间内与时间变量成正比的信号是锯齿波。

示波器的基本组成框图如图 1-5 所示。它由示波管、 Y 轴系统、 X 轴系统、 Z 轴系统和电源等五部分组成。

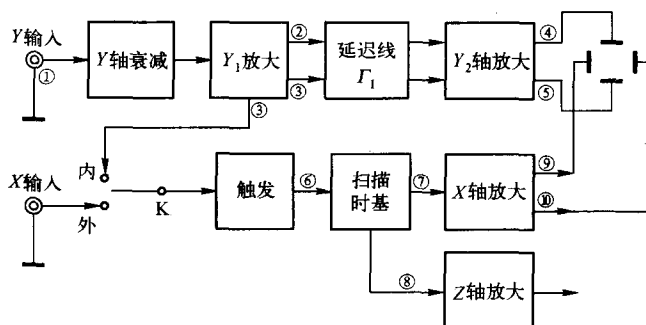


图 1-5 示波器基本组成框图

被测信号①接到“Y”输入端，经 Y 轴衰减器适当衰减后送至 Y_1 放大器（前置放大），推挽输出信号②和③。经延迟线延迟 Γ_1 时间，到 Y_2 放大器。放大后产生足够大的信号④和⑤，加到示波管的 Y 轴偏转板上。为了在屏幕上显示出完整的稳定波形，将 Y 轴的被测信号③引入 X 轴系统的触发电路，在引入信号的正（或者负）极性的某一电平值产生触发脉冲⑥，启动锯齿波扫描电路（时基发生器），产生扫描电压⑦。由于从触发到启动扫描有一时间延迟 Γ_2 ，为保证 Y 轴信号到达荧光屏之前 X 轴开始扫描， Y 轴的延迟时间 Γ_1 应稍大于 X 轴的延迟时间 Γ_2 。扫描电压⑦经 X 轴放大器放大，产生推挽输出⑨和⑩，加到示波管的 X 轴偏转板上。 Z 轴系统用于放大扫描电压正程，并且变成正向矩形波，送到示波管栅极。这使得在扫描正程显示的波形有某一固定辉度，而在扫描回程进行抹迹。

3. 普通模拟示波器的使用

1) 荧光屏

荧光屏是示波管的显示部分。屏上水平方向和垂直方向各有多条刻度线，指示出信号波形的电压和时间之间的关系。水平方向指示时间，垂直方向指示电压。水平方向分为 10 格，垂直方向分为 8 格，每格又分为 5 份。垂直方向标有 0%，10%，90%，100% 等标志，水平方向标有 10%，90% 标志，供测直流电平、交流信号幅度、延迟时间等参数使用。根据被测信号在屏幕上占的格数乘以适当的比例常数（VOLTS/DIV，TIME/DIV）能得出电压值与时间值。

2) 示波管和电源系统

① 电源 (Power): 示波器主电源开关。当此开关按下时, 电源指示灯亮, 表示电源接通。

② 辉度 (Intensity): 旋转此旋钮能改变光点和扫描线的亮度。观察低频信号时可小些, 高频信号时可大些。一般不应太亮, 以保护荧光屏。

③ 聚焦 (Focus): 聚焦旋钮调节电子束截面大小, 将扫描线聚焦成最清晰状态。

④ 标尺亮度 (Illuminance): 此旋钮调节荧光屏后面的照明灯亮度。正常室内光线下, 照明灯暗一些好。室内光线不足的环境中, 可适当调亮照明灯。

3) 垂直偏转因数和水平偏转因数

(1) 垂直偏转因数选择 (VOLTS/DIV) 和微调

在单位输入信号作用下, 光点在屏幕上偏移的距离称为偏移灵敏度, 这一定义对 X 轴和 Y 轴都适用。灵敏度的倒数称为偏转因数。垂直灵敏度的单位是 cm/V , cm/mV 或者 DIV/mV , DIV/V , 垂直偏转因数的单位是 V/cm , mV/cm 或者 V/DIV , mV/DIV 。实际上因习惯用法和测量电压读数的方便, 有时也把偏转因数当作灵敏度。

双踪示波器中每个通道各有一个垂直偏转因数选择波段开关。一般按 1、2、5 方式在 5 mV/DIV 到 5 V/DIV 之间分为 10 挡。波段开关指示的值代表荧光屏上垂直方向一格的电压值。例如波段开关置于 1 V/DIV 挡时, 如果屏幕上信号光点移动一格, 则代表输入信号电压变化 1 V 。

每个波段开关上往往还有一个小旋钮, 微调每档垂直偏转因数。将它沿顺时针方向旋到底, 处于“校准”位置, 此时垂直偏转因数值与波段开关所指示的值一致。逆时针旋转此旋钮, 能够微调垂直偏转因数。垂直偏转因数微调后, 会导致与波段开关的指示值不一致, 这点应引起注意。许多示波器具有垂直扩展功能, 当微调旋钮被拉出时, 垂直灵敏度扩大若干倍 (偏转因数缩小若干倍)。例如, 如果波段开关指示的偏转因数是 1 V/DIV , 采用 $\times 5$ 扩展状态时, 垂直偏转因数是 0.2 V/DIV 。

在做数字电路实验时, 屏幕上被测信号的垂直移动距离与 $+5\text{ V}$ 信号的垂直移动距离之比常被用于判断被测信号的电压值。

(2) 时基选择 (TIME/DIV) 和微调

时基选择和微调的使用方法与垂直偏转因数选择和微调类似。时基选择也通过一个波段开关实现, 按 1、2、5 方式把时基分为若干挡。波段开关的指示值代表光点在水平方向移动一个格的时间值。例如在 $1\text{ }\mu\text{s/DIV}$ 挡, 光点在屏上移动一格代表时间值 $1\text{ }\mu\text{s}$ 。

微调旋钮用于时基校准和微调。沿顺时针方向旋到底处于校准位置时, 屏幕上显示的时基值与波段开关所示的标称值一致。逆时针旋转旋钮, 则对时基微调。旋钮拔出后处于扫描扩展状态。通常为 $\times 10$ 扩展, 即水平灵敏度扩大 10 倍, 时基缩小到 $1/10$ 。例如在 $2\text{ }\mu\text{s/DIV}$ 档, 扫描扩展状态下荧光屏上水平一格代表的时间值按下式计算:

$$2\text{ }\mu\text{s} \times (1/10) = 0.2\text{ }\mu\text{s}$$

示波器的标准信号源 CAL, 专门用于校准示波器的时基和垂直偏转因数。一般示波器都提供一个 $V_{p-p} = 0.2\text{ V}$, $f = 1\text{ kHz}$ 的方波信号。

示波器前面板上的位移 (Position) 旋钮调节信号波形在荧光屏上的位置。旋转水平位移旋钮 (标有水平双向箭头) 左右移动信号波形, 旋转垂直位移旋钮 (标有垂直双向箭头)

上下移动信号波形。

4) 输入通道和输入耦合选择

输入通道至少有三种选择方式：通道1 (CH1)、通道2 (CH2)、双通道 (DUAL)。选择通道1时，示波器仅显示通道1的信号；选择通道2时，示波器仅显示通道2的信号。选择双通道时，示波器同时显示通道1信号和通道2信号。测试信号时，首先要将示波器的地与被测电路的地连接在一起。根据输入通道的选择，将示波器探头插到相应通道的插座上，示波器探头上的地与被测电路的地连接在一起，示波器探头接触被测点。示波器探头上有一双位开关，此开关拨到“ $\times 1$ ”位置时，被测信号无衰减送到示波器，从荧光屏上读出的电压值是信号的实际电压值；此开关拨到“ $\times 10$ ”位置时，被测信号衰减为 $1/10$ ，然后送往示波器，从荧光屏上读出的电压值乘以 10 才是信号的实际电压值。

输入耦合方式有三种选择：交流 (AC)、地 (GND)、直流 (DC)。当选择“地 (GND)”时，扫描线显示出“示波器地”在荧光屏上的位置。直流耦合用于测定信号直流绝对值和观测极低频信号。交流耦合用于观测交流和含有直流成分的交流信号。在数字电路实验中，一般选择“直流 (DC)”方式，以便观测信号的绝对电压值。

5) 触发

被测信号从 Y 轴输入后，一部分送到示波管的 Y 轴偏转板上，驱动光点在荧光屏上按比例沿垂直方向移动；另一部分分流到 X 轴偏转系统产生触发脉冲，触发扫描发生器，产生重复的锯齿波电压加到示波管的 X 偏转板上，使光点沿水平方向移动，两者合一，光点在荧光屏上描绘出的图形就是被测信号图形。由此可知，正确的触发方式直接影响到示波器的有效操作。为了在荧光屏上得到稳定的、清晰的信号波形，掌握基本的触发功能及其操作方法是十分重要的。

(1) 触发源 (Source) 选择

要使屏幕上显示稳定的波形，需将被测信号本身或者与被测信号有一定时间关系的触发信号加到触发电路。触发源选择确定触发信号由何处供给。通常有三种触发源：内触发 (INT)、电源触发 (LINE)、外触发 (EXT)。

内触发使用被测信号作为触发信号，是经常使用的一种触发方式。由于触发信号本身是被测信号的一部分，在屏幕上可以显示出非常稳定的波形。双踪示波器中通道1或者通道2都可以选作触发信号。

电源触发使用交流电源频率信号作为触发信号。这种方法在测量与交流电源频率有关的信号时是有效的。特别在测量音频电路、闸流管的低电平交流噪声时更为有效。

外触发使用外加信号作为触发信号，外加信号从外触发输入端输入。外触发信号与被测信号间应具有周期性的关系。由于被测信号没有用作触发信号，所以何时开始扫描与被测信号无关。

正确选择触发信号与波形显示的稳定、清晰有很大关系。例如在数字电路的测量中，对一个简单的周期信号而言，选择内触发可能好一些，而对于一个具有复杂周期的信号，且存在一个与它有周期关系的信号时，选用外触发可能更好。

(2) 触发耦合 (Coupling) 方式选择

触发信号到触发电路的耦合方式有多种，目的是为了触发信号的稳定、可靠。这里介绍常用的几种耦合方式。

AC 耦合又称电容耦合。它只允许用触发信号的交流分量触发, 触发信号的直流分量被隔断。通常在不考虑 DC 分量时使用这种耦合方式, 以形成稳定触发。但是如果触发信号的频率小于 10 Hz, 会造成触发困难。

直流耦合 (DC) 不隔断触发信号的直流分量。当触发信号的频率较低或者触发信号的占空比很大时, 使用直流耦合较好。

低频抑制 (LFR) 触发时触发信号经过高通滤波器加到触发电路, 触发信号的低频成分被抑制。高频抑制 (HFR) 触发时, 触发信号通过低通滤波器加到触发电路, 触发信号的高频成分被抑制。此外还有用于电视维修的电视同步 (TV) 触发。这些触发耦合方式各有自己的适用范围, 需在使用中去体会。

(3) 触发电平 (Level) 和触发极性 (Slope)

触发电平调节又叫同步调节, 它使得扫描与被测信号同步。电平调节旋钮调节触发信号的触发电平。一旦触发信号超过由旋钮设定的触发电平时, 扫描即被触发。顺时针旋转旋钮, 触发电平上升; 逆时针旋转旋钮, 触发电平下降。当电平旋钮调到电平锁定位置时, 触发电平自动保持在触发信号的幅度之内, 不需要电平调节就能产生一个稳定的触发。当信号波形复杂, 用电平旋钮不能稳定触发时, 用释抑 (Hold Off) 旋钮调节波形的释抑时间 (扫描暂停时间), 能使扫描与波形稳定同步。

极性开关用来选择触发信号的极性。拨在 “+” 位置上时, 在信号增加的方向上, 当触发信号超过触发电平时就产生触发。拨在 “-” 位置上时, 在信号减少的方向上, 当触发信号超过触发电平时就产生触发。触发极性和触发电平共同决定触发信号的触发点。

6) 扫描方式 (SweepMode)

扫描有自动 (Auto)、常态 (Norm) 和单次 (Single) 三种扫描方式。

① 自动: 当无触发信号输入, 或者触发信号频率低于 50 Hz 时, 扫描为自动方式。在自动方式下, 信号若不同步, 则显示的信号不稳。

② 常态: 当无触发信号输入时, 扫描处于准备状态, 没有扫描线, 示波器显示屏上没有信号显示。触发信号到来后, 触发扫描。

③ 单次: 单次按钮类似复位开关。单次扫描方式下, 按单次按钮时扫描电路复位, 此时准备好 (Ready) 灯亮。触发信号到来后产生一次扫描。单次扫描结束后, 准备灯灭。单次扫描用于观测非周期信号或者单次瞬变信号, 往往需要对波形拍照。

示波器还有一些更复杂的功能, 如延迟扫描、触发延迟、X-Y 工作方式等, 这里就不介绍了。示波器入门操作是容易的, 真正熟练则要在应用中掌握。值得指出的是, 示波器虽然功能较多, 但许多情况下用其他仪器、仪表更好。例如, 在数字电路实验中, 判断一个脉宽较窄的单脉冲是否发生时, 用逻辑笔就简单的多; 测量单脉冲脉宽时, 用逻辑分析仪更好一些。

1.1.3 示波器 SS-7802 的应用介绍

1. 接地

将测量地 (CH1 INPUT 的左边) 与被测电路的 GND 端相连。在测量高频率信号时接地十分重要。将探头的地端和被测电路的地端尽可能近的连接。

2. 电源置为 STBY 或 OFF 时的设置 (电源插座断开)

当电源置为 STBY 或 OFF 时, 在设置存储前面板将进行初始化设置。当重新打开电源时, 在将其设为 STBY 或 OFF 前将进行面板的初始化操作。当电源置为 OFF 时, 面板初始化由内置电池备份。

当电源切断时, 电源切断前的面板设定将被储存。当电源重新接上, 断电前的面板设定将继续操作。内置电池负责维持此面板的设定资料。

3. 电源开关

接上 220 V 交流电源, 按下电源开关则示波器进入操作状态。弹起电源开关则示波器处于备用状态, 主电源已被关闭。此时若交流电源仍然接在示波器上, 电源只向示波器的内置微处理器供电。当电源线被拆除或停止供电时, 内置电池将维持内存面板设定资料。

4. 读屏幕

示波器屏幕显示的主要内容分布如图 1-6 所示。屏幕显示的例子如图 1-7 所示。

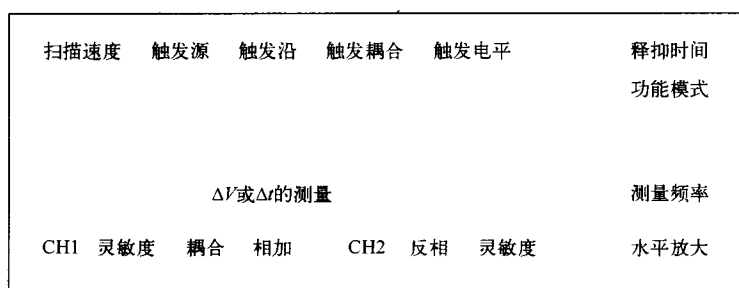


图 1-6 示波器屏幕显示内容分布

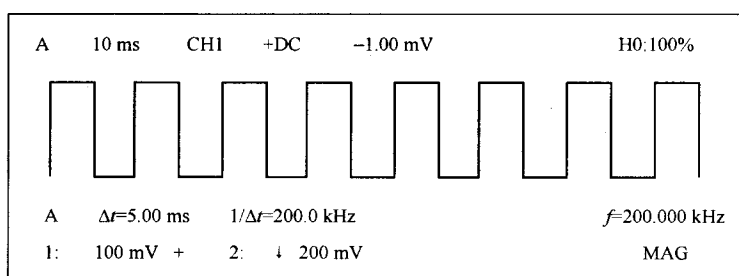


图 1-7 示波器屏幕显示示例

5. 消除探头负载效应

当进行测量时, 若将信号直接输入本仪器, 则所得到的测量结果可能受仪器本身的输入阻抗影响, 其输入 RC 常数为 “1 M Ω 、25 pF”。若采用 10:1 衰减探头, 则输入 RC 常数为 “10 M Ω 、22 pF”, 负载效应将大为削减, 而测量精度将大为提高。