

AVR单片机

◎ 闫磊 主编

◎ 王明枝 钱 桦 副主编



手把手教你学会 AVR 单片机

闫 磊 主 编

王明枝 钱 桦 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从实际应用入手,结合作者自身多年从事 AVR 单片机竞赛培训与课堂教学的经验基础,以具体应用实例为引导,由浅入深、循序渐进地讲述了 AVR 单片机的硬件结构,在 CodeVision AVR 环境下的编程方法及实例应用。本书以引导读者快速掌握对 ATmega128 单片机的编程开发为目的,详细介绍了 ATmega128 单片机内部结构和外围接口的特点、性能及其指令系统。在此基础上,介绍了 CodeVision AVR 集成开发环境编译器使用 C 语言的相关知识。书中加入了大量的 C 语言实例程序,且均在 CodeVision AVR 开发环境下编译通过。全书共分为 13 章,第 1~4 章介绍 AVR 单片机开发的基础知识,内容包括电子技术基础、数字电路基础、AVR 单片机和 CodeVision AVR 开发环境;第 5~10 章介绍 AVR 单片机的片内资源应用和典型的外部电路,内容包括 I/O、显示屏控制、AD 和 DA、中断、定时器及串口通信;第 11~13 章介绍 AVR 单片机的典型应用,即用于控制电机、各种传感器应用及典型移动机器人系统搭建。

本书适合自动控制、电力电子、机电一体化等领域的工程技术人员阅读使用,也可作为高等学校相关专业的教学用书。

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。

图书在版编目(CIP)数据

手把手教你学会 AVR 单片机 / 闫磊主编. —北京:电子工业出版社,2015.1
ISBN 978-7-121-24965-5

I. ①手… II. ①闫… III. ①单片微型计算机—基本知识 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 275691 号

策划编辑:张 剑(zhang@phei.com.cn)

责任编辑:刘真平

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:北京季蜂印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:473.6 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

AVR 单片机是 1997 年由 ATMEL 公司研发出的增强型内置 Flash 的 RISC (Reduced Instruction Set CPU) 精简指令集高速 8 位单片机, 简称 AVR。AVR 单片机可以广泛应用于计算机外部设备、工业实时控制、仪器仪表、通信设备、家用电器等各个领域。ATmega128 是 ATMEL 公司 8 位系列单片机的最高配置的一款单片机, 稳定性极高, 应用极其广泛。本书选择了 ATmega128 为蓝本, 软件开发工具选择了 CodeVision AVR, 从实际应用入手, 以实验过程和实验现象为主导, 循序渐进地讲述了 AVR 单片机在 CodeVision AVR 环境下的编程方法及硬件结构和功能应用, 内容可以扩展到其他型号的 AVR 单片机。

本书区别于传统单片机类书籍, 为了使读者迅速掌握使用 AVR 单片机在 CodeVision AVR 环境下的编程要点与难点, 书中所有的例程均以实际硬件实验电路现象为根据, 由 C 语言程序来分析单片机工作原理, 使读者知其然, 又能知其所以然, 实用性强。

全书分为三大部分共 13 章, 各章具体内容如下。

第 1 章: 详细介绍了在电子测试领域中经常用到的工具万用表、示波器等。同时对常见电子元器件如电阻、电容和电感, 以及半导体元器件如二极管、三极管、稳压芯片、运算放大器等做出相关介绍与说明。

第 2 章: 主要介绍了数字电路基础, 包括数字集成电路基本知识、常用逻辑门电路集成芯片、触发器及晶振等。

第 3 章: 主要介绍了 AVR ATmega128 单片机的特性, 包括 CPU 内核、引脚配置、存储器、时钟系统与电源管理、系统控制与复位功能等。

第 4 章: 重点介绍了 CodeVision AVR C 编译开发环境, 包括编译器特点、开发环境简介、C 语言编程基础、CodeVision AVR C 语言编程应用等。

第 5 章: 主要介绍了 ATmega128 单片机的基本程序命令与输入/输出引脚, 包括常用的 C 语言语句命令、I/O 口基本与附加功能、LED 闪烁实验及流水灯控制实验。

第 6 章: 主要介绍了显示器件原理及应用, 包括数码管、LCD 和点阵发光二极管的显示原理及具体实例应用。

第 7 章: 主要介绍了 ATmega128 单片机的 AD 与 DA 的应用, 包括 AD 与 DA 的基本原理、相关的寄存器和转换实验。

第 8 章: 主要介绍了 ATmega128 单片机的基本中断, 包括中断的概念与种类、中断向量、外部中断, 以及两个常用中断控制实验: 外部开关中断次数计数显示实验和键盘输入信号检测实验。

第9章：重点介绍了 ATmega128 单片机的定时/计数器，包括定时/计数器的预分频、时钟源、计数单元、工作模式、时序、寄存器及定时/计数器的实验等。

第10章：主要介绍了 ATmega128 单片机的串口通信，包括 USART 通信模式、USART 寄存器、RS232 通信硬件电路及与上位机串口通信实验。

第11章：主要介绍了基于 ATmega128 单片机的电机控制，包括步进电机、直流电机、舵机的结构、原理及控制实验。

第12章：重点介绍了 ATmega128 单片机常用传感器的应用，包括 GP2D12 红外距离传感器、MQ-2 气体传感器、MMA7361 加速度传感器、BH1750FVI 光照传感器的结构、引脚、工作原理及具体应用实验。

第13章：通过轮式智能移动平台的开发与应用综合实例，使读者全面掌握 ATmega128 单片机的原理及开发步骤。

本书在编写过程中参考了大量同行业的图书和有关数据资料，吸收了较多国内外学者的先进思想和研究成果，以使书中数据具有广泛性、权威性、实用性、操作性。在此，谨向各位专家、学者致以诚挚的谢意。由于参考量大而广，无法一一标注与列出，对此特向这些文献的作者表示歉意。在本书的编写过程中还得到了各单位领导、同事和家人、朋友的大力支持与帮助，衷心感谢他们。

本书由北京林业大学工学院闫磊副教授主编，王明枝、钱桦教授任副主编，参加本书编写的还有吴健、李雁北、李娜、伍宏芳和门森。

由于作者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，敬请广大技术专家和读者批评指正。

编者

目 录

第1章 实用电子基础知识	1
1.1 应用工具	1
1.1.1 万用表	1
1.1.2 示波器	5
1.1.3 焊接工具	9
1.1.4 线束	14
1.2 基本电子元器件	15
1.2.1 电阻	15
1.2.2 电容	18
1.2.3 电感	20
1.3 半导体元件	22
1.3.1 二极管与LED灯	22
1.3.2 三极管	27
1.3.3 稳压芯片	28
1.3.4 运算放大器	29
第2章 数字电子电路基础	33
2.1 数字集成电路	33
2.1.1 进制	33
2.1.2 数字集成电路的定义与种类	35
2.2 逻辑门电路集成芯片	36
2.2.1 与门、或门、非门	36
2.2.2 与非门、或非门、异或门	39
2.3 触发器	41
2.3.1 RS 触发器	42
2.3.2 D 触发器	42
2.3.3 JK 触发器	44
2.4 晶振	44
第3章 AVR 单片机简介	47
3.1 AVR 介绍	47
3.2 ATmega128	47
3.2.1 ATmega128 的特性	47
3.2.2 CPU 内核	49
3.2.3 引脚配置	52
3.2.4 存储器	53

3.2.5 系统时钟与电源管理	57
3.2.6 系统控制与复位	64
第4章 CodeVision AVR C 编译开发环境	71
4.1 CodeVision AVR C 编译器特性	71
4.1.1 编译器特点	71
4.1.2 开发环境简介	72
4.2 CodeVision AVR C 应用	73
4.2.1 C 语言基础	73
4.2.2 CodeVision AVR C 语言编程应用	92
第5章 基本程序命令与输入/输出引脚	102
5.1 基本程序命令及实验	102
5.2 I/O 口	109
5.2.1 I/O 口设定	110
5.2.2 I/O 口附加功能	111
5.2.3 I/O 口实验	117
第6章 显示器件原理及应用	125
6.1 数码管显示原理及应用	125
6.1.1 显示原理	125
6.1.2 显示实验	125
6.2 LCD 显示原理及应用	126
6.2.1 液晶显示概述及显示原理	126
6.2.2 1602 显示实验	127
6.2.3 12864 显示实验	129
第7章 AD 与 DA	139
7.1 AD 转换	139
7.2 ADC 模块	141
7.3 ADC 寄存器	149
7.4 AD 转换实验	152
第8章 基本中断	160
8.1 中断的概念与种类	160
8.2 中断向量	161
8.3 外部中断	162
8.4 中断控制实验	165
8.4.1 外部开关中断次数计数显示实验	165
8.4.2 键盘输入信号检测实验	171
第9章 定时/计数器	179
9.1 定时/计数器概述	179
9.2 8 位定时/计数器 0, 2	180
9.2.1 定时/计数器预分频	181
9.2.2 时钟源	181

9.2.3 计数单元	181
9.2.4 输出比较	182
9.2.5 比较匹配输出	183
9.2.6 工作模式	184
9.2.7 时序	187
9.2.8 寄存器 (T/C0)	188
9.3 16 位定时/计数器 1, 3	192
9.3.1 定时/计数器预分频	192
9.3.2 时钟源	195
9.3.3 计数单元	195
9.3.4 输入捕捉单元	196
9.3.5 输出比较单元	197
9.3.6 比较匹配输出	198
9.3.7 工作模式	199
9.3.8 时序	204
9.3.9 寄存器	206
9.4 定时/计数器实验	214
9.4.1 应用溢出中断实现 0.5s LED 灯的闪烁	214
9.4.2 应用定时计数器实现秒表	217
9.4.3 超声波距离传感器测距实验	220
第 10 章 串口通信	225
10.1 USART 通信模式	225
10.2 USART 寄存器	226
10.3 RS232 通信硬件电路	229
10.4 与上位机串口通信实验	230
第 11 章 电机控制	234
11.1 步进电机控制	234
11.1.1 步进电机概述	234
11.1.2 步进电机的结构	235
11.1.3 步进电机的工作原理	236
11.1.4 步进电机的失步、振荡及解决方法	238
11.1.5 步进电机速度与位置控制实验	239
11.2 直流电机控制	243
11.2.1 直流电机概述	243
11.2.2 直流电机的控制原理	243
11.2.3 直流电机驱动	244
11.2.4 直流电机 PWM 控制实验	248
11.3 舵机控制	252
11.3.1 舵机概述	252
11.3.2 舵机的控制原理	253

11.3.3	舵机控制实验	254
第 12 章 应用实验		257
12.1	GP2D12 红外距离传感器应用	257
12.1.1	GP2D12 测距传感器概述	257
12.1.2	GP2D12 的结构及引脚	257
12.1.3	红外测距的工作原理	258
12.1.4	GP2D12 红外测距传感器的应用	259
12.2	MQ-2 气体传感器应用	263
12.2.1	MQ-2 气体传感器概述	263
12.2.2	MQ-2 的结构及引脚	263
12.2.3	MQ-2 气体传感器的工作原理	264
12.2.4	MQ-2 气体传感器的应用	264
12.3	MMA7361 加速度传感器应用	269
12.3.1	MMA7361 加速度传感器概述	269
12.3.2	MMA7361 加速度传感器的结构及引脚	269
12.3.3	MMA7361 加速度传感器的应用	270
12.4	BH1750FVI 光照传感器应用	274
12.4.1	BH1750FVI 光照传感器概述	274
12.4.2	BH1750FVI 的结构及引脚	275
12.4.3	BH1750FVI 光照传感器的应用	276
第 13 章 轮式智能移动平台的开发与应用		279
13.1	整体介绍	279
13.2	硬件电路设计	279
13.3	软件编程	281
13.3.1	步进电机驱动方法	281
13.3.2	超声波测距传感器的应用	284
13.3.3	红外线测距传感器的应用	286
13.4	小结	288

第1章 实用电子基础知识

本章将为读者介绍在电子测试领域中经常用到的工具，如万用表、示波器等。同时对常见电子元器件如电阻、电容和电感，以及半导体元件如二极管、三极管、稳压芯片、运算放大器等做出相关介绍与说明。



1.1 应用工具

1.1.1 万用表

万用表是电子测试领域中使用频率相当高的应用工具之一，了解其工作原理并掌握其使用方法对我们来说是非常重要的。

首先，我们应该知道什么是万用表即万用表的概念。只有知道了万用表的概念我们才能更好地理解其工作原理。

万用表又叫多用表、三用表、复用表，是一种多功能、多量程的测量仪表。它在电子测试领域中是一种使用广泛的测试仪器。一般万用表可测量直流电流、直流电压、交流电压、电阻和音频电平等，有的还可以测量交流电流、电容量、电感量、温度及半导体的一些参数。

万用表主要分为两大类：模拟万用表（指针式万用表）和数字万用表。

1. 模拟万用表

模拟万用表主要用来测量直流电流、直流电压和交流电流、交流电压、电阻等，它由表头、测量电路和转换开关三大部分组成。其工作原理是先通过一定的测量机构将被测模拟电量转换成电流信号，再由电流信号去驱动电磁式表头指针偏转，通过对相应刻度板读数即可指示出被测量的大小。

模拟万用表的表头一般是一只高灵敏度的磁电式直流电流表，万用表的主要性能基本取决于表头的性能。表头的灵敏度是指表头指针满刻度偏转时流过表头的直流电流值，这个值越小，则表明表头的灵敏度越高。测量电压时的内阻越大，其性能就越好。表头上一一般有 4 条刻度线，如图 1.1.1 所示。它们的功能从上到下依次为：第一条刻度线标有 Ω 或 R，指示的是电阻值，当转换开关在欧姆挡位时，即读此条刻度线。第二条刻度线标有“~”或“AC”、“—”或“DC”和 V·mA，表示的是交流电压、直流电压和直



图 1.1.1 模拟万用表

流电流，即当转换开关在交、直流电压挡或直流电流挡，量程大于 10V 交流电压时，即读此条刻度线。第三条刻度线标有 10V 电压值，表示当转换开关在交、直流电压或直流电流挡，量程在 10V 电压以内时，读此条刻度线。第四条刻度线标有 dB，表示音频电平。

模拟万用表的测量电路是用来把各种被测量转换到适合表头测量的微小直流电流的电路，它由电阻、半导体元件及电池组成。测量电路可以把不同的被测量（如电流、电压、电阻等）、不同的量程，经过一系列的处理（如整流、分流、分压等）统一变成一定量限的微小直流电流送入表头进行测量。

模拟万用表转换开关的作用是用来选择各种不同的测量线路，以满足不同种类和不同量程的测量要求。

下面以测量电阻、直流电压、直流电流、交流电压、交流电流为例，介绍模拟万用表的使用方法。

在开始测量之前，要做好万用表的准备工作，即首先将模拟万用表水平放置，然后调节“机械调零”螺钉，使表头指针归零，最后将红表笔插入“+”插孔，黑表笔插入“-”插孔。

1) 电阻的测量

(1) 正确选用 W 挡。

(2) 欧姆调零：在进行电阻测量前，先将两根表笔“短接”，指针便向满刻度偏转；再调节“欧姆调零”电位器，使指针指在 0W 刻度上。

(3) 测出电阻值：将两根表笔分别接被测电阻的两端，电阻值 = W 挡倍率 × 指针在刻度上的读数。

2) 直流电流的测量

(1) 选择转换开关的直流电流挡。

(2) 连接测量电路：万用表串联接入被测电路，红表笔接电流流入方向，黑表笔接电流流出方向。

(3) 读数：直流电流值等于直流电流挡相应刻度线的指针示值。

3) 直流电压的测量

(1) 选择转换开关的直流电压挡。

(2) 连接测量电路：红表笔接被测直流电压的正端，黑表笔接被测电压的负端。

(3) 读数：直流电压值等于直流电压挡相应刻度线的指针示值。

4) 交流电压的测量

(1) 选择转换开关的交流电压挡。

(2) 两根测试表笔接在被测交流电压的两端，不需考虑极性。

(3) 读数：交流电压值等于交流电压挡相应刻度线的指针示值。

5) 交流电流的测量

(1) 选择转换开关的交流电流挡。

(2) 将万用表串联接入被测电路中，两表笔的连接不需考虑极性。

(3) 读数：交流电流值等于交流电流挡相应刻度线的指针示值。

在使用模拟万用表时应注意以下几点：

(1) 在使用模拟万用表之前，应先进行“机械调零”，即在没有被测电量时，使万用表指针指在零电压或零电流的位置上。

(2) 在使用模拟万用表过程中，不能用手去接触表笔的金属部分，这样一方面可以保此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

证测量的准确,另一方面也可以保证人身安全。

(3) 在测量某一电量时,不能在测量的同时换挡,尤其是在测量高电压或大电流时,更应注意。否则,会使模拟万用表毁坏。如需换挡,应先断开表笔,换挡后再去测量。

(4) 模拟万用表在使用时必须水平放置,以免造成误差。同时,还要注意避免外界磁场对模拟万用表的影响。

(5) 模拟万用表使用完毕,应将转换开关置于交流电压的最大挡。如果长期不使用,还应将万用表内部的电池取出来,以免电池腐蚀表内其他器件。

2. 数字万用表

数字万用表采用大规模集成电路和液晶数字显示技术,具有结构简单、测量精度高、输入阻抗高、显示直观、过载能力强、功能全、耗电省、自动量程转换等优点,许多数字万用表还具有测电容、频率、温度等功能。因此,数字式万用表已取代模拟式万用表成为主流。

数字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。

数字万用表是在直流数字电压表的基础上扩展而成的。为了能测量交流电压、电流、电阻、电容、二极管正向压降、晶体管放大系数等电量,必须增加相应的转换器,将被测电量转换成直流电压信号,再由 A/D 转换器转换成数字量,并以数字形式显示出来。它由功能转换器、A/D 转换器、LCD 显示器(液晶显示器)、电源和功能/量程转换开关等构成。

常用的数字万用表显示数字位数有三位半、四位半和五位半之分。对应的数字显示最大值分别为 1999、19999 和 199999,并由此构成不同型号的数字万用表。

下面以测量直流电压、交流电压、直流电流、交流电流、电阻、电容为例,介绍数字万用表的使用方法。

首先,在使用数字万用表之前,应认真阅读相关使用说明书,熟悉电源开关、量程开关、插孔、特殊插口的作用。接下来需要做的准备工作有:

(1) 将 ON/OFF 开关置于 ON 位置。

(2) 测试表笔插孔旁边的符号表示输入电压或电流不应超过指示值,这是为了保护内部线路免受损伤。

(3) 在测试之前,数字万用表的转换开关应置于所需要的量程。

1) 直流电压测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔,红表笔插入 V/ Ω 插孔。

(2) 将功能开关置于直流电压挡“-”且在量程范围,并将测试表笔连接到待测电源(测开路电压)或负载上(测负载电压降),红表笔所接端的极性将同时显示于显示器上。

【注意】

(1) 如果不知被测电压范围,则将功能开关置于最大量程并逐渐下降。

(2) 如果显示器只显示“1”,表示过量程,功能开关应置于更高量程。

(3) 当测量高电压时,要格外注意避免触电。

2) 交流电压测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔,红表笔插入 V/ Ω 插孔。

(2) 将功能开关置于交流电压挡“V~”且在量程范围,并将测试表笔连接到待测电

源或负载上。测量交流电压时，没有极性显示。

【注意】

- (1) 如果不知被测电压范围，则将功能开关置于最大量程并逐渐下降。
- (2) 如果显示器只显示“1”，表示过量程，功能开关应置于更高量程。
- (3) 当测量高电压时，要格外注意避免触电。

3) 直流电流测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔，当测量最大值为 200mA 的电流时，红表笔插入 mA 插孔，当测量最大值为 20A 的电流时，红表笔插入 20A 插孔。

(2) 将功能开关置于直流电流挡“A-”量程，并将测试表笔串联接入到待测负载上，电流值显示的同时，将显示红表笔的极性。

【注意】

- (1) 如果使用前不知道被测电流范围，则将功能开关置于最大量程并逐渐下降。
- (2) 如果显示器只显示“1”，表示过量程，功能开关应置于更高量程。
- (3) 表示最大输入电流为 200mA 过量的电流将烧坏熔断器，应再更换，20A 量程无熔断器保护，测量时不能超过 15s。

4) 交流电流的测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔，当测量最大值为 200mA 的电流时，红表笔插入 mA 插孔，当测量最大值为 20A 的电流时，红表笔插入 20A 插孔。

(2) 将功能开关置于交流电流挡“A~”，并将测试表笔串联接入到待测电路中。

【注意】

- (1) 如果使用前不知道被测电流范围，则将功能开关置于最大量程并逐渐下降。
- (2) 如果显示器只显示“1”，表示过量程，功能开关应置于更高量程。
- (3) 表示最大输入电流为 200mA，过量的电流将烧坏熔断器，应再更换，20A 量程无熔断器保护，测量时不能超过 15s。

5) 电阻测量

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔，红表笔插入 V/ Ω 插孔。

(2) 将功能开关置于 Ω 量程，将测试表笔连接到待测电阻上。

【注意】

- (1) 如果被测电阻值超出所选择量程的最大值，将显示过量程“1”，应选择更高的量程，对于大于 1M Ω 或更高的电阻要几秒钟后读数才能稳定，这是正常的。
- (2) 当没有连接好时，如开路情况，仪表显示为“1”。
- (3) 当检查被测线路的阻抗时，要保证移开被测线路中的所有电源，所有电容放电。被测线路中如有电源和储能元件，会影响线路阻抗测试正确性。

6) 电容测试

连接待测电容之前，注意每次转换量程时，复零需要时间，有漂移读数存在不会影响测试精度。

(1) 将功能开关置于电容量程 C (F)。

(2) 将电容器插入电容测试座中。

【注意】

(1) 仪器本身已对电容挡设置了保护, 故在电容测试过程中不用考虑极性 & 电容充放电等情况。

(2) 测量电容时将电容插入专用的电容测试座中 (不要插入表笔插孔 COM、V/Ω)。

(3) 测量大电容时稳定读数需要一定的时间。

(4) 电容的单位换算: $1\mu\text{F} = 10^6\text{pF} = 10^3\text{nF}$ 。

7) 二极管测试及蜂鸣器的连接性测试

(1) 将黑表笔插入 COM 插孔, 红表笔插入 V/Ω 插孔 (红表笔极性为 “+”), 将功能开关置于 “ ” 挡, 并将表笔连接到待测二极管, 读数为二极管正向压降的近似值。

(2) 将表笔连接到待测线路的两端, 如果两端之间电阻值低于 70Ω , 内置蜂鸣器发声。

8) 自动电源切断使用说明

(1) 仪表设有自动电源切断电路, 当仪表工作时间为 $0.5 \sim 1\text{h}$, 电源自动切断, 仪表进入睡眠状态, 这时仪表约消耗 $7\mu\text{A}$ 的电流。

(2) 当仪表电源切断后, 若要重新开启电源, 请重复按动电源开关两次。

数字万用表是一台精密电子仪器, 不要随意更换线路, 除了在测量各个参数时应注意的项目外, 还应注意以下几点:

⊙ 不要接高于 1000V 直流电压或高于 700V 交流有效值电压。

⊙ 在电池没有装好或后盖没有上紧时, 请不要使用此表。

⊙ 只有在测试表笔移开并切断电源以后, 才能更换电池或熔断器。

1.1.2 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不同信号幅度随时间变化的波形曲线, 还可以用它测试各种不同的电量, 如电压、电流、频率、相位差、调幅度等。

示波器由显示电路、垂直 (Y 轴) 放大电路、水平 (X 轴) 放大电路、扫描与同步电路和电源供给电路组成, 如图 1.1.2 所示。

示波器可以分为模拟示波器和数字示波器, 对于大多数的电子应用, 无论模拟示波器还是数字示波器都是可以胜任的, 只是对于一些特定的应用, 由于模拟示波器和数字示波器所具备的不同特性, 才会出现适合和不适合的地方。

模拟示波器的工作方式是直接测量信号电压, 并且通过从左到右穿过示波器屏幕的电子束在垂直方向描绘电压。

数字示波器的工作方式是通过模拟转换器 (ADC) 把被测电压转换为数字信息。数字示波器捕获的是波形的一系列样值, 并对样值进行存储, 存储限度是判断累计的样值是否能描绘出波形为止, 随后, 数字示波器重构波形。

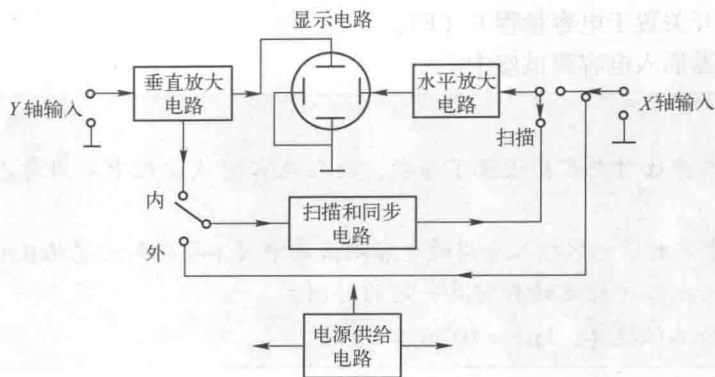


图 1.1.2 示波器的组成

数字示波器可以分为数字存储示波器 (DSO)、数字荧光示波器 (DPO) 和采样示波器。

示波器虽然分成好几类, 各类又有许多种型号, 但是一般的示波器除频带宽度、输入灵敏度等不完全相同外, 在使用方法的基本方面都是相同的。本章以 SR-8 型双踪示波器为例介绍示波器的使用方法。

1. SR-8 型双踪示波器的面板装置

SR-8 型双踪示波器的面板图如图 1.1.3 所示。其面板装置按其位置和功能通常可划分为 3 大部分: 显示、垂直 (Y 轴) 和水平 (X 轴)。现分别介绍这 3 个部分控制装置的作用。

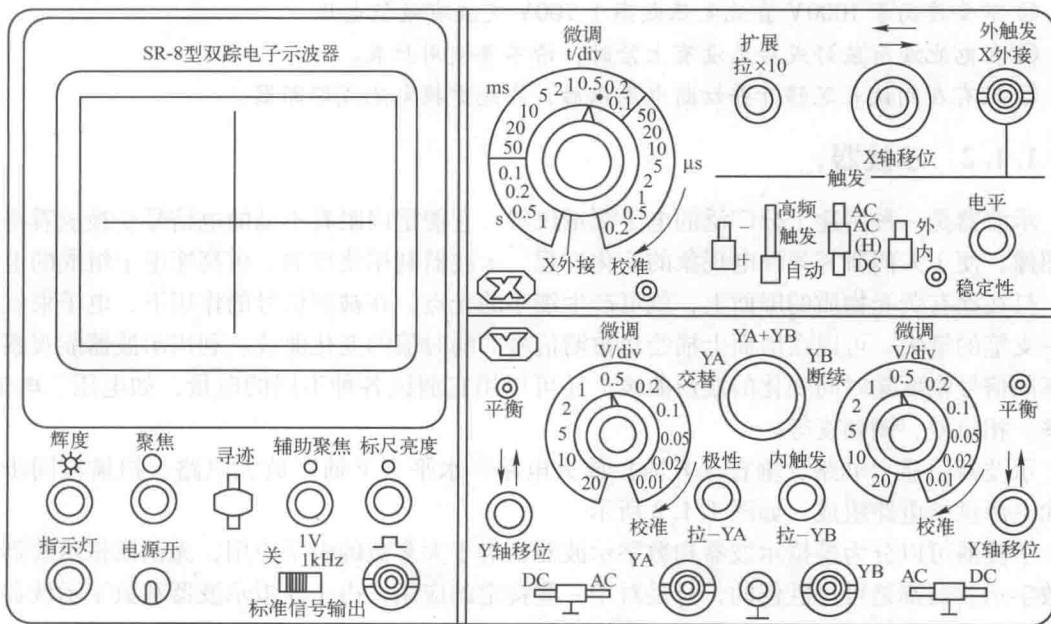


图 1.1.3 SR-8 型双踪示波器的面板图

1) 显示部分主要控制件

- (1) 电源开关。
- (2) 电源指示灯。
- (3) 辉度调整光点亮度。

(4) 聚焦调整光点或波形清晰度。

(5) 辅助聚焦配合“聚焦”旋钮调节清晰度。

(6) 标尺亮度调节坐标片上刻度线亮度。

(7) 寻迹。当按键向下按时,使偏离荧光屏的光点回到显示区域,而寻到光点位置。

(8) 标准信号输出 1kHz、1V 方波校准信号由此引出。加到 Y 轴输入端,用以校准 Y 轴输入灵敏度和 X 轴扫描速度。

2) Y 轴插件部分

(1) 显示方式选择开关用以转换两个 Y 轴前置放大器 YA 与 YB 工作状态的控制件,具有 4 种不同作用的显示方式:

①“交替”:当显示方式开关置于“交替”时,电子开关受扫描信号控制转换,每次扫描都轮流接通 YA 或 YB 信号。被测信号的频率越高,扫描信号频率也越高,电子开关转换速率也越快,不会有闪烁现象。这种工作状态适用于观察两个工作频率较高的信号。

②“断续”:当显示方式开关置于“断续”时,电子开关不受扫描信号控制,产生频率固定为 200kHz 的方波信号,使电子开关快速交替接通 YA 和 YB。由于开关动作频率高于被测信号频率,因此屏幕上显示的两个通道信号波形是断续的。当被测信号频率较高时,断续现象十分明显,甚至无法观测;当被测信号频率较低时,断续现象被掩盖。因此,这种工作状态适合于观察两个工作频率较低的信号。

③“YA”、“YB”:显示方式开关置于“YA”或者“YB”时,表示示波器处于单通道工作,此时示波器的工作方式相当于单踪示波器,即只能单独显示“YA”或“YB”通道的信号波形。

④“YA + YB”:显示方式开关置于“YA + YB”时,电子开关不工作,YA 与 YB 两路信号均通过放大器和门电路,示波器将显示出两路信号叠加的波形。

(2) “DC - $\perp$ - AC” Y 轴输入选择开关,用以选择被测信号接至输入端的耦合方式。置于“DC”位置是直接耦合,能输入含有直流分量的交流信号;置于“AC”位置,实现交流耦合,只能输入交流分量;置于“ $\perp$ ”位置时,Y 轴输入端接地,这时显示的时基线一般用来作为测试直流电压零电平的参考基准线。

(3) “微调 V/div”灵敏度选择开关及微调装置。灵敏度选择开关是套轴结构,黑色旋钮是 Y 轴灵敏度粗调装置,自 10mV/div ~ 20V/div 分 11 挡。红色旋钮为细调装置,顺时针方向增加到满度时为校准位置,可按粗调旋钮所指示的数值,读取被测信号的幅度。当此旋钮逆时针转到满度时,其变化范围应大于 2.5 倍,连续调节“微调”电位器,可实现各挡级之间的灵敏度覆盖,在进行定量测量时,此旋钮应置于顺时针满度的“校准”位置。

(4) “平衡”。当 Y 轴放大器输入电路出现不平衡时,显示的光点或波形就会随“V/div”开关的“微调”旋转而出现 Y 轴方向的位移,调节“平衡”电位器能将这种位移减至最小。

(5) “ $\uparrow\downarrow$ ” Y 轴位移电位器,用以调节波形的垂直位置。

(6) “极性、拉 YA” YA 通道的极性转换按拉式开关。拉出时 YA 通道信号倒相显示,即显示方式(YA + YB)时,显示图像为 YB - YA。

(7) “内触发、拉 YB”触发源选择开关。在按的位置上(常态)扫描触发信号分别取自 YA 及 YB 通道的输入信号,适应于单踪或双踪显示,但不能对双踪波形进行时间比较。当把开关拉出时,扫描的触发信号只取自于 YB 通道的输入信号,因而它适合于双踪显

示时对比两个波形的时间和相位差。

(8) Y轴输入插座采用 BNC 型插座, 被测信号由此直接或经探头输入。

3) X轴插件部分

(1) “ t/div ”扫描速度选择开关及微调旋钮。X轴的光点移动速度由其决定, 从 $0.2\mu\text{s} \sim 1\text{s}$ 共分 21 挡级。当该开关“微调”电位器顺时针方向旋转到底并接上开关后, 即为“校准”位置, 此时“ t/div ”的指示值即为扫描速度的实际值。

(2) “扩展、拉 $\times 10$ ”扫描速度扩展装置。它是按拉式开关, 在按的状态为正常使用, 拉的位置扫描速度增加 10 倍。“ t/div ”的指示值也应相应计取。采用“扩展、拉 $\times 10$ ”适于观察波形细节。

(3) “ $\rightarrow \leftarrow$ ”X轴位置调节旋钮。为X轴光迹的水平位置调节电位器, 是套轴结构。外圈旋钮为粗调装置, 顺时针方向旋转基线右移, 逆时针方向旋转则基线左移。置于套轴上的小旋钮为细调装置, 适用于经扩展后信号的调节。

(4) “外触发、X外接”插座采用 BNC 型插座。在使用外触发时, 作为连接外触发信号的插座。也可以作为X轴放大器外接时信号输入插座。其输入阻抗约为 $1\text{M}\Omega$ 。外接使用时, 输入信号的峰值应小于 12V 。

(5) “触发电平”旋钮是触发电平调节电位器旋钮, 用于选择输入信号波形的触发点。具体地说, 就是调节开始扫描的时间, 决定扫描在触发信号波形的哪一点上被触发。顺时针方向旋动时, 触发点趋向信号波形的正向部分; 逆时针方向旋动时, 触发点趋向信号波形的负向部分。

(6) “稳定性”触发稳定性微调旋钮。用以改变扫描电路的工作状态, 一般应处于待触发状态。调整方法是: 将Y轴输入耦合方式选择 (AC - 地 - DC) 开关置于地挡, 将 V/div 开关置于最高灵敏度的挡级, 在电平旋钮调离自激状态的情况下, 用小螺丝刀将稳定度电位器顺时针方向旋到底, 则扫描电路产生自激扫描, 此时屏幕上出现扫描线; 然后逆时针方向慢慢旋动, 使扫描线刚消失。此时扫描电路即处于待触发状态。在这种状态下, 用示波器进行测量时, 只要调节电平旋钮, 即能在屏幕上获得稳定的波形, 并能随意调节选择屏幕上波形的起始点位置。少数示波器, 当稳定度电位器逆时针方向旋到底时, 屏幕上出现扫描线; 然后顺时针方向慢慢旋动, 使屏幕上扫描线刚消失, 此时扫描电路即处于待触发状态。

(7) “内、外”触发源选择开关。置于“内”位置时, 扫描触发信号取自Y轴通道的被测信号; 置于“外”位置时, 触发信号取自“外触发X外接”输入端引入的外触发信号。

(8) “AC”、“AC (H)”、“DC”触发耦合方式开关。“DC”挡是直流耦合状态, 适合于变化缓慢或频率甚低 (如低于 100Hz) 的触发信号。“AC”挡是交流耦合状态, 由于隔断了触发中的直流分量, 因此触发性能不受直流分量影响。“AC (H)”挡是低频抑制的交流耦合状态, 在观察包含低频分量的高频复合波时, 触发信号通过高通滤波器进行耦合, 抑制了低频噪声和低频触发信号 (2MHz 以下的低频分量), 免除因误触发而造成的波形晃动。

(9) “高频、常态、自动”触发方式开关。用以选择不同的触发方式, 以适应不同的被测信号与测试目的。“高频”挡, 频率甚高时 (如高于 5MHz), 且无足够的幅度使触发稳定时, 选该挡。此时扫描处于高频触发状态, 由示波器自身产生的高频信号 (200kHz 信号) 对被测信号进行同步。不必经常调整电平旋钮, 屏幕上即能显示稳定的波形, 操作方便, 有利于观察高频信号波形。“常态”挡, 采用来自Y轴或外接触发源的输入信号进行触发扫描, 是常用的触发扫描方式。“自动”挡, 扫描处于自动状态 (与高频触发方式相仿), 但