

高等学校计算机应用实践教程系列

单片机 应用实践教程

◎ 郑阿奇 主编

◎ 王绮红 张春良 编著

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等学校计算机应用实践教程系列

单片机应用实践教程

郑阿奇 主编

王绮红 张春良 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书比较系统地介绍单片机应用实践的主要内容,包括单片机应用基本技能、51 单片机仿真系统实践、51 单片机汇编程序设计实践、51 单片机 C 语言程序设计实践、Protel 99 SE 应用实践、Xilinx ISE9.1i 应用实践。本书关于基本技能的内容基本配套,应用的基本过程全部包含,两种编程方式都能掌握,单片机实习环节简单全面。本书在 51 单片机应用实践方面进行了一些积极探索。

本书可作为高等学校本科、高职高专有关专业单片机课程应用实践教学教材、辅助教材,也可作为单片机应用开发人员的入门参考资料。

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

单片机应用实践教程 / 郑阿奇主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.1

(高等学校计算机应用实践教程系列)

ISBN 978-7-121-07831-6

I. 单… II. 郑… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 181672 号

责任编辑: 程超群

印 刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装 订: 三河市双峰印刷装订有限公司

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: 12.75 字数: 326.4 千字

印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 20.00 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 zltts@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

51 单片机的流行已经有很长时间了，目前它仍然是单片机应用的主流。单片机课程是实践性很强的课程，只看不动没有用，这个道理大家都知道。但是，一旦要动手，一大堆的问题就摆在面前。原因很简单，完成一个实际的单片机应用，需要具有许多基本技能，学生在校期间虽然也在不同环节上受到了基本训练，但由于时间等原因，训练环节分布比较零散，单片机应用实践时，基本技能仍然不够，本书就想在这方面进行一些探索。

先看一下目录，看本书是否与其他的 51 单片机实践书不一样呢？

我们认为，本书主要特点如下：

- (1) 基本技能的内容基本配套；
- (2) 应用的基本过程全部包含；
- (3) 单片机两种编程方式都能掌握；
- (4) 单片机实习环节简单全面。

是否是这样？读者自己判断。如果有什么好的建议，请发到 easybooks@163.com。

本书不但适合高等学校本、专科有关专业单片机课程实践教学，也可作为单片机应用开发人员的入门参考资料。

本书配有教学课件、设计实例中的详细设计图和所有应用实例的源文件，需要者可免费从华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 下载。

本书由王绮红、张春良（南京师范大学）编著，郑阿奇进行统编和定稿。

由于作者水平有限，不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

第 1 章 单片机应用基本技能	(1)
1.1 基本工具的使用	(1)
1.1.1 万用表	(1)
1.1.2 逻辑笔	(4)
1.1.3 示波器	(4)
1.1.4 数字函数发生器	(8)
1.1.5 逻辑分析仪	(8)
1.1.6 虚拟仪器	(10)
1.1.7 面包板和搭试实验板	(11)
1.1.8 电源	(12)
1.1.9 焊接	(15)
1.2 基本集成电路的使用	(17)
1.2.1 模拟集成电路	(17)
1.2.2 数字集成电路	(18)
第 2 章 51 单片机仿真系统实践	(26)
2.1 单片机仿真系统简介	(26)
2.2 单片机汇编程序实例仿真调试	(30)
第 3 章 51 单片机汇编程序设计实践	(39)
3.1 51 单片机指令系统程序设计实验	(39)
实验 1 数码转换	(39)
实验 2 算术/逻辑运算	(41)
实验 3 常用算法设计	(44)
实验 4 单片机抗干扰程序设计	(49)
3.2 51 单片机功能单元程序设计实验	(53)
实验 1 存储器扩展	(53)
实验 2 中断系统	(55)
实验 3 定时器/计数器实验 (1)	(57)
实验 4 定时器/计数器实验 (2)	(59)
实验 5 定时器/计数器实验 (3)	(61)
实验 6 串行—并行转换实验	(64)
实验 7 串行通信实验 (1)	(66)
实验 8 串行通信实验 (2)	(68)
实验 9 键盘扩展实验	(71)
实验 10 显示器扩展实验	(74)

3.3	51 单片机扩展综合实验	(77)
	实验 1 快速反应能力测试仪的制作	(77)
	实验 2 竞赛抢答器的制作	(84)
	实验 3 简易航标灯的制作	(87)
3.4	51 单片机专业实习	(90)
	3.4.1 单片机专业实习要求	(90)
	3.4.2 单片机专业实习课题	(90)
第 4 章	51 单片机 C 语言程序设计实践	(96)
4.1	51 单片机 C 语言程序设计	(96)
	4.1.1 C51 程序的结构特点	(96)
	4.1.2 C51 程序的运算符、表达式及其语法规则	(97)
	4.1.3 C51 程序设计技巧	(101)
4.2	Keil C51 软件开发系统	(104)
	4.2.1 Keil C51 软件开发系统介绍	(104)
	4.2.2 Keil C51 软件开发	(105)
4.3	C51 程序设计举例	(111)
第 5 章	Protel 99 SE 应用实践	(120)
5.1	Protel 99 SE 介绍	(120)
	5.1.1 Protel 99 SE 特点	(120)
	5.1.2 原理图设计流程	(120)
	5.1.3 原理图仿真	(125)
	5.1.4 PLD 设计	(126)
	5.1.5 PCB 设计	(127)
5.2	Protel 99 SE 设计实例	(132)
	5.2.1 原理图设计	(132)
	5.2.2 印制电路板设计	(145)
5.3	Protel 99 SE 应用实例	(159)
	5.3.1 公共实验模块开发设计	(159)
	5.3.2 接口模块开发设计	(165)
	5.3.3 EDA 模块开发设计	(168)
第 6 章	Xilinx ISE9.1i 应用实践	(171)
6.1	Xilinx ISE9.1i FPGA/CPLD 设计准备	(171)
	6.1.1 Xilinx ISE9.1i 简介	(171)
	6.1.2 Xilinx ISE9.1i 基本操作	(172)
6.2	Xilinx ISE9.1i FPGA/CPLD 设计举例	(175)
	6.2.1 示例背景	(175)
	6.2.2 用 VHDL 语言设计输入	(177)
	6.2.3 行为仿真	(183)
	6.2.4 位置约束	(186)
	6.2.5 设计实现	(189)
	6.2.6 下载配置与调试	(190)
附录 A	80C51 系列单片机的产品	(193)

第 1 章 单片机应用基本技能

1.1 基本工具的使用

1.1.1 万用表

万用表具有用途多、量程广、使用方便等优点，是电子测量中最常用的工具。它可以用来测量电阻、交直流电压和电流等。有的万用表还可以测量晶体管的主要参数及电容器的电容量等。掌握万用表的使用方法是电子技术的一项基本技能。

常见的万用表有指针式万用表（模拟万用表）和数字式万用表（数字万用表），外形分别如图 1.1 和图 1.2 所示。指针式万用表是以表头为核心部件的多功能测量仪表，测量值由表头指针指示读取。数字式万用表的测量值由液晶显示屏直接以数字的形式显示，读取方便，有些还带有语音提示功能。



图 1.1 模拟万用表



图 1.2 数字万用表

下面对指针式万用表和数字式万用表进行比较。

(1) 指针表读取精度较差，但指针摆动的过程比较直观，其摆动速度、幅度有时也能比较客观地反映被测量的大小；数字表读数直观，但数字变化的过程看起来很杂乱，不太容易观看。

(2) 指针表内一般有两块电池，一块低电压的 1.5V，一块高电压的 9V 或 15V，其黑表笔相对红表笔来说是正端。数字表则常用一块 6V 或 9V 的电池，其红表笔相对黑表笔来说是

正端。在电阻挡,指针表的表笔输出电流相对数字表来说要大很多,用 $R \times 1\Omega$ 挡可以使扬声器发出响亮的“哒”声,用 $R \times 10k\Omega$ 挡甚至可以点亮发光二极管(LED)。

(3) 在电压挡,指针表内阻相对数字表来说比较小,测量精度比较差,某些高电压微电流的场合甚至无法测准,因为其内阻会对被测电路造成影响。数字表电压挡的内阻很大,至少在兆欧级,对被测电路影响很小。但极高的输出阻抗使其易受感应电压的影响,在一些电磁干扰比较强的场合测出的数据可能是虚的。

总之,一般来说在大电流高电压的模拟电路测量中适用指针表,在低电压小电流的数字电路测量中适用数字表。

用指针表和数字表测量的方法略有不同,有时还要讲点技巧,下面做一简单介绍。

1. 测喇叭、耳机、动圈式话筒

对指针表,用 $R \times 1\Omega$ 挡,任一表笔接一端,另一表笔点触另一端,正常时会发出清脆响量的“哒”声。如果不响,则是线圈断了;如果响声小而尖,则有擦圈问题,也不能用。

对数字表,可直接用“蜂鸣器”挡来判断通断或好坏。

2. 测电容

对指针表,用电阻挡,根据电容容量选择适当的量程,并注意测量时对于电解电容黑表笔要接电容正极。

(1) 估测微法级电容容量的大小:可凭经验或参照相同容量的标准电容,根据指针摆动的最大幅度来判定。所参照电容的耐压值不必一样,只要容量相同即可。例如,估测一个 $100\mu F/250V$ 的电容可用一个 $100\mu F/25V$ 的电容来参照,只要它们指针摆动最大幅度一样,即可断定容量一样。

(2) 估测皮法级电容容量的大小:要用 $R \times 10k\Omega$ 挡,但只能测到 $1000pF$ 以上的电容。对 $1000pF$ 或稍大一点的电容,只要表针稍有摆动,即可认为容量够了。

(3) 测电容是否漏电:对 $1000\mu F$ 以上的电容,可先用 $R \times 10\Omega$ 挡将其快速充电,并初步估测电容容量,然后改到 $R \times 1k\Omega$ 挡继续测一会儿,这时指针不应回返,而应停在或十分接近 ∞ 处,否则就是有漏电现象。对一些几十微法以下的定时或振荡电容(比如彩电开关电源的振荡电容),对其漏电特性要求非常高,只要稍有漏电就不能用。这时可在 $R \times 1k\Omega$ 挡充完电后再改用 $R \times 10k\Omega$ 挡继续测量,同样表针应停在 ∞ 处而不应回返。

对数字表,一般都有专用测电容的插座供测量使用。

3. 在线测二极管、三极管、稳压管好坏

因为在实际电路中,三极管的偏置电阻或二极管、稳压管的周边电阻一般都比较大,大都在几百到几千欧姆以上,这样,我们就可以用万用表的 $R \times 10\Omega$ 挡或 $R \times 1\Omega$ 挡来在线测量 PN 结的好坏。在线测量时,用 $R \times 10\Omega$ 挡测 PN 结应有较明显的正反向特性(如果正反向电阻相差不太明显,可改用 $R \times 1\Omega$ 挡来测)。一般正向电阻在 $R \times 10\Omega$ 挡测时表针应指示在 200Ω 左右,在 $R \times 1\Omega$ 挡测时表针应指示在 30Ω 左右(根据不同表型可能略有出入)。如果测量结果正向阻值太大或反向阻值太小,都说明这个 PN 结有问题,这个管子也就有问题了。这种方法对于维修时特别有效,可以非常快速地找出坏管,甚至可以测出尚未完全坏掉但特性变坏的管子。比如,当用小阻值挡测量某个 PN 结正向电阻过大,如果把它焊下来用常用的 $R \times 1k\Omega$

挡再测，可能还是正常的，其实这个管子的特性已经变坏了，不能正常工作或不稳定了。

4. 测电阻

测电阻时，重要的是要选好量程，当指针指示于 $1/3 \sim 2/3$ 满量程时测量精度最高，读数最准确。要注意的是，在用 $R \times 10k\Omega$ 电阻挡测兆欧级的大阻值电阻时，不可将手指捏在电阻两端，否则人体电阻会使测量结果偏小。被检测的电阻从电路中焊下来，至少要焊开一个头，以免电路中的其他元件对测量产生影响，造成测量误差。

5. 测稳压二极管

我们通常所用到的稳压管的稳压值一般都大于 $1.5V$ ，而指针表的 $R \times 1k\Omega$ 以下的电阻挡是用表内的 $1.5V$ 电池供电的，因此，用 $R \times 1k\Omega$ 以下的电阻挡测量稳压管就如同测二极管一样，具有完全的单向导电性。但指针表的 $R \times 10k\Omega$ 挡是用 $9V$ 或 $15V$ 电池供电的，在用 $R \times 10k\Omega$ 测稳压值小于 $9V$ 或 $15V$ 的稳压管时，反向阻值就不会是 ∞ ，而是有一定阻值，但这个阻值还是要大大高于稳压管的正向阻值的。如此，我们就可以初步估测出稳压管的好坏。但是，好的稳压管还要有个准确的稳压值，业余条件下怎么估测出这个稳压值呢？其实不难，再去找一块指针表来就可以了。方法是：先将一块表置于 $R \times 10k\Omega$ 挡，其黑、红表笔分别接在稳压管的阴极和阳极，这时就模拟出稳压管的实际工作状态；再取另一块表置于电压挡 $V \times 10V$ 或 $V \times 50V$ （根据稳压值）上，将红、黑表笔分别搭接到刚才那块表的黑、红表笔上，这时测出的电压值就基本上是这个稳压管的稳压值。说“基本上”，是因为第一块表对稳压管的偏置电流相对正常使用时的偏置电流稍小些，所以测出的稳压值会稍偏大一点，但基本相差不大。这个方法只可估测稳压值小于指针表高压电池电压的稳压管。如果稳压管的稳压值太高，就只能用外加电源的方法来测量了（这样看来，我们在选用指针表时，选用高压电池电压为 $15V$ 的要比 $9V$ 的更适用些）。

6. 测三极管

通常，在测三极管时我们要用 $R \times 1k\Omega$ 挡，不管是 NPN 管还是 PNP 管，不管是小功率、中功率、大功率管，测其 be 结 cb 结都应呈现与二极管完全相同的单向导电性，即反向电阻无穷大，其正向电阻大约在 $10k\Omega$ 左右。现在常见的三极管大部分是塑封的，如何准确判断三极管的三只引脚哪个是 b、c、e？三极管的 b 极很容易测出来，但怎么断定哪个是 c 哪个是 e？这里推荐三种方法。

第一种方法：对于有测三极管 hFE 插孔的指针表，先测出 b 极后，将三极管随意插到插孔中去（当然 b 极是可以插准确的），测一下 hFE 值，然后将管子倒过来再测一遍，测得 hFE 值比较大的一次，各管脚插入的位置是正确的。

第二种方法：对无 hFE 测量插孔的表，或管子太大不方便插入插孔的，可以用下列方法。对 NPN 管，先测出 b 极（无论管子是 NPN 还是 PNP，其 b 脚都很容易测出），将表置于 $R \times 1k\Omega$ 挡，将红表笔接假设的 e 极（注意拿红表笔的手不要碰到表笔尖或管脚），黑表笔接假设的 c 极，同时用手指捏住表笔尖及这个管脚，将管子拿起来，用舌尖舔一下 b 极，看表头指针应有一定的偏转，如果各表笔接得正确，指针偏转会大些，如果接得不对，指针偏转会小些，差别是很明显的，由此就可判定管子的 c、e 极。对 PNP 管，要将黑表笔接假设的 e 极（手不要碰到笔尖或管脚），红表笔接假设的 c 极，同时用手指捏住表笔尖及这个管脚，然后用舌尖

舔一下 b 极, 如果各表笔接得正确, 表头指针会偏转得比较大。当然, 测量时表笔要交换一下测两次, 比较读数后才能最后判定。这个方法适用于所有外形的三极管, 方便实用。根据表针的偏转幅度, 还可以估计出管子的放大能力, 当然这是凭经验的。

第三种方法: 先判定管子的 NPN 或 PNP 类型及其 b 极后, 将表置于 $R \times 10k\Omega$ 挡。对 NPN 管, 黑表笔接 e 极、红表笔接 c 极时, 表针可能会有一定偏转; 对 PNP 管, 黑表笔接 c 极、红表笔接 e 极时, 表针可能会有一定的偏转, 反过来都不会有偏转。由此也可以判定三极管的 c、e 极。不过对于高耐压的管子, 这个方法就不适用了。对于常见的进口型号的大功率塑封管, 其 c 极基本都是在中间。中、小功率管有的 b 极可能在中间, 比如常用的 9014 三极管及其系列的其他型号三极管、2SC1815、2N5401、2N5551 等三极管, 其 b 极有的就在中间。当然它们也有 c 极在中间的。所以在维修更换三极管时, 尤其是这些小功率三极管, 不可拿来就按原样直接安上, 一定要先测一下。对数字表, 一般都有专用测三极管的插座供测量使用。

1.1.2 逻辑笔

逻辑笔外形如图 1.3 所示。下面介绍逻辑笔的主要功能。

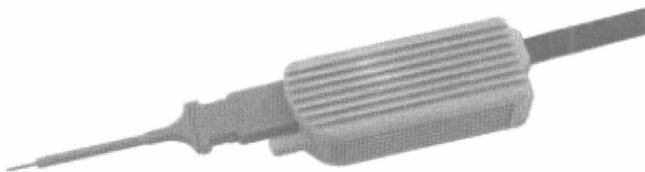


图 1.3 逻辑笔

(1) 能测量 TTL 逻辑电平, 也能分辨出被测信号的高阻抗状态 (悬空状态)。LED 指示灯若为红色表示被测信号是高电平, 蓝色表示是低电平, 而绿色则表示被测点处于高阻抗状态。在高电平时蜂鸣器发出中音, 低电平时蜂鸣器发出低音, 而高阻抗状态时蜂鸣器是静默的。

(2) 能测量脉冲信号。LED 指示灯具有三种颜色和三种闪烁速率。蓝色表示被测信号频率在 Hz 量纲频段, 绿色表示在 kHz 量纲频段, 红色表示在 MHz 量纲频段; 低速闪烁 (每秒 1 次) 表示被测信号频率为数个量级, 中速闪烁 (每秒 2 次) 表示被测信号频率为数十量级, 高速闪烁 (每秒 4 次) 表示被测信号频率为数百量级。蜂鸣器具有三种音调和三种通断速率。低音表示被测信号频率在 Hz 量纲频段, 中音表示在 kHz 量纲频段, 高音表示在 MHz 量纲频段; 低速通断 (每秒 1 次) 表示被测信号频率为数个量级, 中速通断 (每秒 2 次) 表示被测信号频率为数十量级, 高速通断 (每秒 4 次) 表示被测信号频率为数百量级。LP 系列的蜂鸣器带有开关, 可以满足静音需求。

(3) 能够捕捉单个脉冲信号。它具有不会丢失的全时监视能力, 其 LED 指示灯和蜂鸣器都会对单个脉冲做出反应。

1.1.3 示波器

示波器在当今仪器中是最通用的电子仪器。示波器具有显示屏, 能在显示屏上以图形的方式显示信号电压随时间的变化, 即波形。示波器可观察相对于时间的瞬时电压, 它可显示

波形的形状并可测量频率和相位等参数,被广泛地应用于电子和电气测量领域。示波器有模拟示波器和数字示波器之分,数字示波器又分为数字存储示波器(DSO)和数字荧光示波器(DPO),其外形分别如图1.4和图1.5所示。

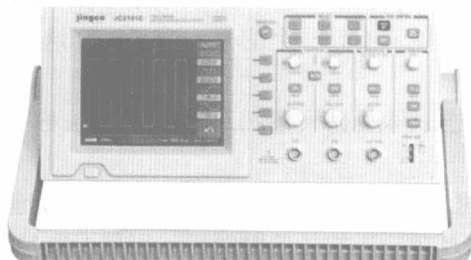


图 1.4 数字示波器

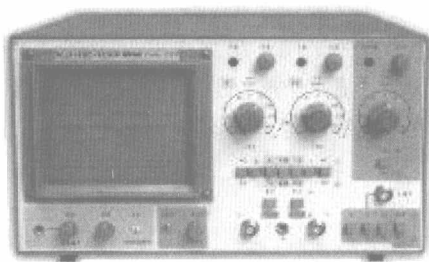


图 1.5 模拟示波器

1. 模拟示波器

模拟示波器操作简单,全部操作都在面板上可以找到,波形反应及时,垂直分辨率高,数据更新快,实时带宽和实时显示。简而言之,模拟示波器提供眼见为实的波形。下面介绍模拟示波器的主要功能。

(1) 灵敏度。垂直偏转系统对输入信号进行比例变换,使之能在显示屏上表现出来。示波器可以显示峰-峰值电压为几毫伏到几十伏的信号。因此必须把不同幅度的信号进行变换以适应显示屏的显示范围,这样就可以按照标尺刻度对波形进行测量。为此就要求对大信号进行衰减,对小信号进行放大。示波器的灵敏度或衰减器控制就是为此而设置的。

(2) 耦合控制。即 DC 耦合和 AC 耦合。DC 耦合方式为信号提供直接的连接通路。AC 耦合方式则在 BDC 端和衰减器之间串联一个电容,这样,信号的 DC 分量就被阻断,而信号的低频 AC 分量也将受阻或大为衰减。示波器的低频截止频率就是示波器显示的信号幅度仅为其真实幅度的 71% 时的信号频率。示波器的低频截止频率主要决定于其输入耦合电容的数值。

(3) 垂直位置。动态范围是示波器能够不失真地显示信号的最大幅值,在此信号幅值下只要调节示波器的垂直位置仍能观察到波形的全部。

(4) 相加和反向。简单地把两个信号相加起来似乎没有什么实际意义。然而,把两个有关信号之一反向,再将二者相加,实际上就实现了两个信号的相减。这对于消除共模干扰(即交流声)或者进行差分测量都是非常有用的。从一个系统的输出信号中减去输入信号,再进

行适当的比例变换,就可以测出被测系统引起的失真。由于很多电子系统本身就具有反向的特性,这样只要把示波器的两个输入信号相加就能实现我们所期望的信号相减。

(5) 交替和断续。示波器 CRT 本身一次只能显示一条扫迹。然而,在很多示波器应用中,常常要进行信号的比较,例如,研究输入/输出信号间的关系,或者一个系统对信号的延迟等。这就要求示波器实际上能同时显示不只一个信号。为了达到这一目的,可以用两种办法来控制电子束:

① 交替地画完一条扫迹,再画另一条扫迹。这种方法称为交替模式,或简称为 ALT 模式。

② 在两条扫迹之间迅速地进行开关或斩波切换,从而分段地画出两条扫迹。这称为断续模式或 CHOP 模式。其结果是在一次扫描的时间里一段接一段地画出两条扫迹。

断续模式适合于在低时基速率下显示低频率信号,因为这时斩波器开关能快速进行切换。交替模式适合于需要使用较快时基设置的高频率信号的显示。

(6) 辉度。辉度控制用来调节波形显示的亮度。

(7) 聚焦。聚焦控制机构用来控制显示屏上光点的大小,以便获得清晰的波形轨迹。

(8) 扫描旋转。这个控制机构使 X 轴扫描线和水平标尺线对齐。

(9) 标尺照明。标尺亮度可以单独控制,这对于显示屏摄影或在弱光线条件下工作时是非常有用的。

2. 数字存储示波器

在数字存储示波器(DSO)中,显示信号波形之前首先要采集波形并存入存储器。在基本 DSO 中使用了另一种类型的 CRT,即和 PC 监视器及电视机所使用的相类似的 CRT。在这些 CRT 中,电子束是由安装在 CRT 外面的线圈产生的磁场来偏转的。这种偏转方法称为磁偏转,它只能在一个很有限的偏转频率范围内使用,所以这种显示管采用和电视显示屏完全相同的方法来驱动,即在显示屏上以固定的频率从左到右一行紧挨一行地输出扫描线。扫描完整的一屏可能需要 500 行或者更多的行。DSO 计算出显示屏上的哪些点需要加亮,当扫描系统扫到显示屏上的这种点时,就使电子束加亮。这种显示方式只能用于 DSO,而不能用在模拟示波器中。这时我们在显示屏上看到的并不是输入信号本身的波形,而是使用早些时刻采集的表示输入信号的数据在显示屏上重建的波形。

一般来说,数字存储示波器主要有以下功能特点:

(1) 储存波形后,可以详细分析和查看波形,也可以实时测试波形。

(2) 使用电脑的内存和硬盘储存信号,可以达到 100MB,可以长时间地储存、观测波形。而使用芯片储存采集信号的数字示波器和采集卡,由于高速储存芯片的价格昂贵,一般采集深度只有 8KB。

(3) 最适合用于科学研究信号的波形,因为它可以有 16 位高清晰度采样。而对于 16 位采样,物理最高分辨率可以达到 1/65536,无论什么样的波形都能看得非常清楚。当然,现在大部分数字示波器是 8 位采样,因为这样比较节约储存的空间,且采样比较快,但是观察波形的细节部分的清晰度就不能满足很多用户的需要了。

(4) 用鼠标轻轻一点就可以知道任意一点波形的时间、任意两点的周期,用来解密分析各种编码信号,特别适合维修手机的数字电路部分,单片机等数字电子设备,各种家用电器设备如 VCD 机、数码彩电等。

3. 数字荧光示波器

数字荧光示波器 (DPO) 为示波器系列增加了一种新的类型, 它与模拟示波器一样具有显示屏的余辉方式显示, 并能实时显示、存储和分析复杂信号的三维信号信息: 幅度、时间和整个时间的幅度分布。

DSO 采用串行处理的体系结构捕获、显示和分析信号; 相对而言, DPO 为完成这些功能采用的是并行体系结构。并行结构和基于 ASIC 硬件的处理技术, 使数字荧光示波器能够捕捉到当今复杂的动态信号中的全部细节和异常情况, 并以人类眼睛的接受速度显示出来。

普通数字示波器要观察偶发事件需要使用长时间记录, 然后做信号处理, 这种办法会漏掉非周期性出现的信号且不能显示出信号的动态特性。而数字荧光示波器能够显示复杂波形中的微细差别, 以及出现的频繁程度。例如观察电视信号, 既有行扫描、帧扫描、视频信号和伴音信号, 还要记录电视信号中的异常现象, 对于专业人员和维修人员都是同样重要的。

4. 如何选择示波器

自从示波器问世以来, 它一直是最重要、最常用的电子测试工具之一。由于电子技术的发展, 示波器的能力也在不断提升, 其性能与价格也五花八门, 市场参差不齐。下面就如何选择示波器做一介绍。

(1) 模拟还是数字? 传统的观点认为模拟示波器具有熟悉的面板控制, 价格低廉, 因而总觉得模拟示波器“使用方便”。但是随着 A/D 转换器速度逐年提高和价格不断降低, 以及数字示波器不断增加的测量能力和实际上不受限制的各种功能, 数字示波器已独领风骚。

(2) 带宽如何? 带宽一般定义为正弦输入信号幅度衰减到-3dB 时的频率, 即 70.7%, 带宽决定示波器对信号的基本测量能力。随着信号频率的增加, 示波器对信号的准确显示能力将下降。如果没有足够的带宽, 示波器将无法分辨高频变化, 幅度将出现失真, 边缘将会消失, 细节数据将被丢失。

(3) 采样速率怎样? 定义为每秒采样次数 (S/s), 指数字示波器对信号采样的频率。示波器的采样速率越快, 所显示波形的分辨率和清晰度就越高。

(4) 显示屏刷新率多快? 所有的示波器都会闪烁。也就是说, 示波器每秒钟以特定的次数捕获信号, 在这些测量点之间将不再进行测量。这就是波形捕获速率, 也称显示屏刷新率, 表示为波形数每秒 (wfms/s)。采样速率表示的是示波器在一个波形或周期内采样输入信号的频率; 波形捕获速率则是指示波器采集波形的速度。波形捕获速率取决于示波器的类型和性能级别, 且有着很大的变化范围。高波形捕获速率的示波器将会提供更多的重要信号特性, 并能极大地增加示波器快速捕获瞬时的异常情况, 如抖动、矮脉冲、低频干扰和瞬时误差的概率。

数字存储示波器 (DSO) 使用串行处理结构, 每秒钟可以捕获 10 到 5000 个波形。数字荧光示波器 (DPO) 采用并行处理结构, 可以提供更高的波形捕获速率, 有的高达每秒数百万个波形, 大大提高了捕获间歇和难以捕捉事件的可能性, 并能让使用者更快地发现信号存在的问题。

(5) 存储深度是多少? 存储深度是示波器所能存储的采样点多少的量度。如果需要不间断地捕捉一个脉冲串, 则要求示波器有足够的存储器以便捕捉整个事件。将所要捕捉的时间长度除以精确重现信号所需的取样速度, 可以计算出所要求的存储深度, 也称记录长度。

(6) 要求何种触发? 示波器的触发能使信号在正确的位置点同步水平扫描, 决定着信号特性是否清晰。触发控制按钮可以稳定重复的波形并捕获单次波形。

1.1.4 数字函数发生器

函数发生器是一种常用的基本波形产生器，外形如图 1.6 所示。随着大规模集成电路的迅速发展，多功能信号发生器已被制作成专用集成电路，该电路能够产生正弦波信号、三角波信号、频率与占空比可调节的矩形波信号。各种信号频率可以通过调节外接电阻和电容的参数值进行调节，并具有较高的温度稳定性和频率稳定性，为快速而准确地实现函数信号发生器提供了极大的方便。

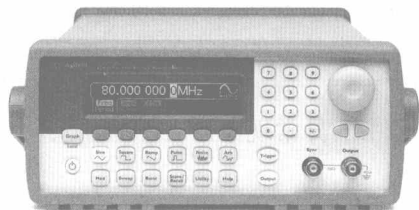


图 1.6 函数发生器

现代函数发生器使用直接数字合成（DDS）技术，可产生任意波形。任意波形发生器前面板操作简洁而友好，操作旋钮或数字键可以方便地调节频率、幅度、偏移和其他参数，内部 AM、FM、PM、FSK 调制使仪器能容易地调制波形，而不需要单独的调制源，并配置有 USB、LAN 和 GPIB 接口。

任意波形发生器可生成稳定、精确、纯净和低失真的正弦输出信号，它还能提供高达 120MHz、具有快速上升和下降的方波，并能用两种方法创建任意波形：既可以使用前面板定义波形，也可从 PC 或示波器下载波形。用户可在 PC 图形用户界面上通过专用软件创建任意波形，然后把它下载到函数发生器；也可从配套示波器上捕获波形，并将其输入至 PC，再通过专用软件的编辑功能平滑波形，也可加入噪声，或通过编辑创建一个周期。

1.1.5 逻辑分析仪

逻辑分析仪是一种类似于示波器的波形测试设备，外形如图 1.7 所示。它具有多种条件采集触发方式，用图形的方式直观地去表达出来，并加以存储，可以用于各种数字电路的信号测量和调试工作，便于用户检测、分析数字电路设计（硬件设计和软件设计）中的错误。逻辑分析仪可以同时采集几十路数字信号，采样频率可达到数百 MHz。

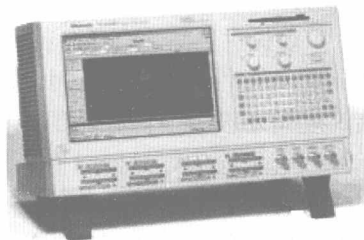


图 1.7 逻辑分析仪

【例 1.1】 逻辑分析仪使用实例。

先看下面的程序（源程序文件名为 1.asm）：

```
ORG      0000
MOV      DPTR,#1234H      ; 0000  90 12 34
MOV      A,#56H           ; 0003  74 56
MOVX     @DPTR,A          ; 0005  F0
NOP                               ; 在此设第一个断点
MOV      TMOD,#20H        ; 设定器 1 工作方式 2
MOV      TH1,#0F3H        ; 2400BPS (12MHz)
MOV      TL1,#0F3H
ANL      PCON,#7FH        ; 清 SMOD 位
MOV      SCON,#50H        ; 允许串行口发送
SETB     TR1
MOV      A,#55H
MOV      SBUF,A           ; 发送 55H
Wait:    JNB     TI,Wait
SJMP     $                ; 在此设第二个断点
END
```

分析：

首先在程序的第 5 行及第 15 行设置两个调试断点，并设置逻辑分析仪采样频率 20MHz。单片机全速执行到第一个断点，这时逻辑分析仪采样到前三条指令的执行波形，如图 1.8 所示。图中显示的是“MOVX @DPTR,A”的执行波形，这条指令的地址为 0005，机器码为 F0。图中 AH、AL 分别为高位地址和低位地址。在 ALE 的上升沿后，P0 口输出地址 05，在 ALE 的下降沿该地址被锁存。然后，PSEN 变低，开始读指令，稍后机器码 F0 被读出。接着 CPU 送出要访问的单元地址 1234H，并送出 A 的内容 56H，同时输出写信号。将 M0、M1 分别移至 WR 信号上升/下降沿。此时“dM:”显示的是 WR 宽度，即 500ns。

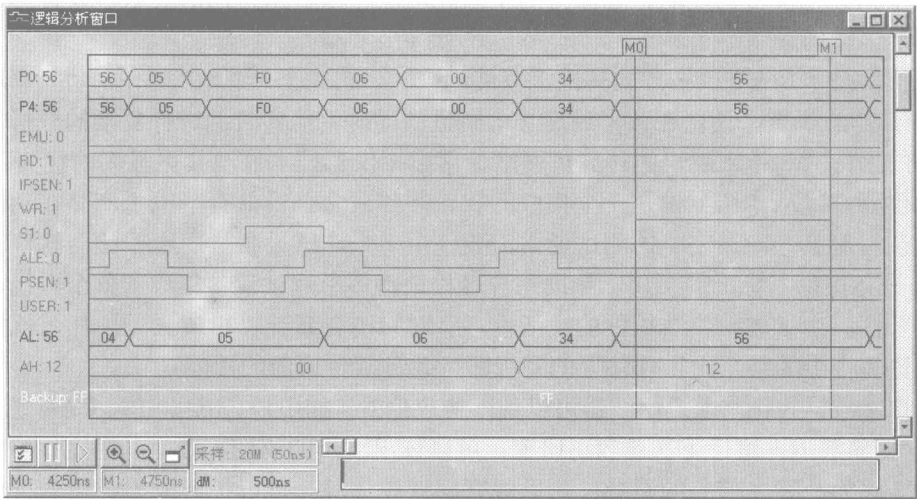


图 1.8 执行至第一个断点处的输出波形

接下来我们来采样串行口发送出的数据波形。我们在程序中设置的波特率为 2400，每一个数据位的长度应为： $1000000\mu\text{s}/2400 = 416.667\mu\text{s}$ 。串行口发送数据的格式为：一个起始位 0，8 个数据位（低位在前，高位在后），一个停止位 1，共十位。我们在程序中发送了数据 55H，因此串行口数据为 0、1、0、1、0、1、0、1、0、1。现在我们设置采样频率为 1MHz，将逻辑分析仪 J3 第 0 位测试勾（红色）勾在仿真头第 11 脚（TXD 引脚）上，全速执行到第二个断点。这时逻辑分析仪采样到的执行波形如图 1.9 所示，显示的是串行输出脚上的输出波形。可以看出输出的串口数据为 0、1、0、1、0、1、0、1、0，最后一个停止位 1 未输出，完全是因为 MCS-51 CPU 在开始发送停止位后就置位 TI 的原故。移动 M0、M1，可测出一个数据位的宽度为“dM:” $416\mu\text{s}$ ，并与理论数据 $416.667\mu\text{s}$ 相吻合。

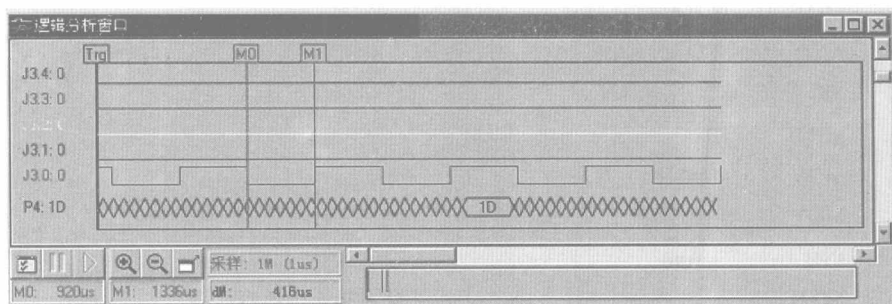


图 1.9 执行至第二个断点处的输出波形

1.1.6 虚拟仪器

虚拟仪器是在通用计算机现有资源上加上一组软件和硬件，使得使用者在操作这台计算机时，就像是在操作一台他自己设计的专用传统电子仪器，实现普通仪器的全部功能以及一些在普通仪器上无法实现的功能。其不但功能多样、测量准确，而且操作简易，与其他设备集成方便灵活。虚拟仪器技术的出现彻底打破了传统仪器由厂家定义、用户无法改变的模式，给用户一个充分发挥自己才能、想象力的空间。用户可以根据自己的要求，设计自己的仪器系统，满足多样的应用需求。

虚拟仪器技术是在 PC 技术的基础上发展起来的，它完全“继承”了 PC 功能卓越的处理器和文件 I/O 的优点，使得在数据高速导入磁盘的同时就能实时地进行复杂的分析。此外，不断发展的因特网和越来越快的计算机网络使得虚拟仪器技术展现其更强大的优势。

虚拟仪器技术从本质上说是一个集成的软、硬件概念。目前有些电子产品在功能上不断地趋于复杂，对某一产品完整的测试通常需要使用多个测试设备。而虚拟仪器软件平台为所有的 I/O 设备提供了标准的接口，帮助用户轻松地将多个测试设备集成到单个系统，减少了任务的复杂性。由于虚拟仪器软件的灵活性，有时只需更新计算机或测量硬件，就能以最少的硬件投资和极少的甚至无须软件上的升级即可改进整个仪器的性能。

以虚拟示波器为例，虚拟示波器可以观察协议信号（如串口、IIC、SPI、CAN 总线、USB 等）；可以存储波形，留待下次比较、研究；可以读出波形的周期、频率、幅度；可以观察信号触发前（比如故障之前）的波形；可以观察超低频信号；可以扩展成为逻辑分析仪；可以扩展成为信号发生器；可以扩展成为信号采集器。

1.1.7 面包板和搭试实验板

对于一个实物电路实验，可以通过面包板（或搭试实验板）搭接或加工印刷电路板来完成。对这两种方法的应用场合，取决于实验所需的元器件数量和元器件外形。一般来说，元器件越少，管脚越少，越适合用第一种方法。其中，对于第二种方法，首先需要在计算机上绘制实验电路原理图、布线图，然后将文件交给印刷电路制板厂，再经过几天时间，完成电路板的加工。此后，在电路板上焊接、调试即可，这是很多实验最为常见的方法。但是，这需要时间和成本。因此，如果电路结构比较简单，用面包板（或搭试实验板）完成电路搭接也很常见。

面包板的结构如图 1.10 所示。图 1.10 中的面包板由三部分组成，即上电源区、中元器件区和下电源区，三部分可由一块铝板固定结合在一起（铝板仅仅是为了提高机械强度）。对于元器件区，所有厂家的产品都一样，由若干个 5 孔“孤岛”组成。“孤岛”在内部是一个铜条，保证 5 个孔之间是相通的。每个孔内是一个有弹性的铜片，当元器件的管脚插入孔内，就和“孤岛”有了电连接。需要注意的是，当频繁插拔或者将较粗的管脚硬插入孔内，可能造成铜片失去弹性，此时，即便元器件管脚插入孔内，也可能没有与“孤岛”连接，这就造成了开路故障。对于电源区的布局，有可能随不同的产品而不同，图 1.10 中所示的是一种类型，将 10 个 5 孔“孤岛”划分成两部分，每部分内部是连接的，两部分之间不连接。这种布局，相当于上、下电源区共由 8 个 25 孔“孤岛”组成。还有一种是将 10 个“孤岛”划分成 3、4、3，相当于上、下电源区共由 4 个 20 孔“孤岛”、8 个 15 孔“孤岛”组成。因此，对待一个没有使用过的面包板，在电源区使用前，最好先用万用表测量一下。

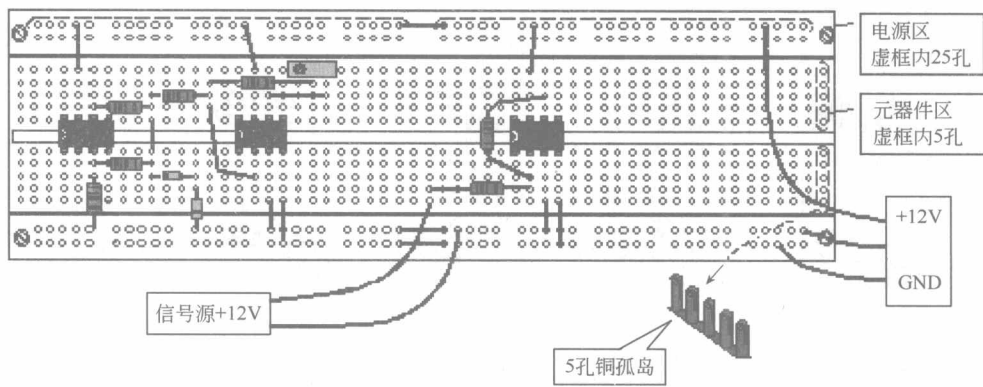


图 1.10 面包板结构示意图

下面介绍面包板布线的几个基本原则：

(1) 连接点越少越好。每增加一个连接点，实际上就人为地增加了故障概率。面包板孔内不通、导线松动、导线内部断裂等都是常见故障。

(2) 尽量避免立交桥。所谓的“立交桥”就是元器件或者导线骑跨在别的元器件或者导线上。初学者最容易犯这样的错误。这样做，一方面给后期更换元器件带来麻烦；另一方面，在出现故障时，零乱的导线很容易使人失去信心。

(3) 尽量牢靠。有两种现象需要注意：一是集成电路很容易松动，因此，对于运放等集