



学技术系列丛书

电工电子仪表 的使用

杨承毅 刘起义 主编
李忠国 江华圣 刘军 编著



- ✓ 丰富的仪表操作步骤和数据
- ✓ 大量彩色照片清晰再现实物
- ✓ 简单易懂的电子技术读物

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

按图索骥学技术系列丛书

电工电子仪表的使用

杨承毅 刘起义 主编

李忠国 江华圣 刘 军 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

电工电子仪表的使用 / 杨承毅, 刘起义主编; 李忠国, 江华圣, 刘军编著. —北京: 人民邮电出版社, 2009.9
(按图索骥学技术系列丛书)
ISBN 978-7-115-19080-2

I. 电… II. ①杨…②刘…③李…④江…⑤刘… III.
①电工仪表—使用②电子仪器—使用 IV. TM930.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第167591号

内 容 提 要

本书对电工电子常用仪表的使用方法进行了比较详细的讲解, 重点介绍了万用表(指针式万用表、数字万用表)、双踪示波器、数字示波器、信号发生器(低频信号发生器、高频信号发生器和函数信号发生器)、频率特性测试仪、电子计数器等仪表。书中对各种仪表的使用和介绍大量采用数码照片, 真实表现仪表的操作步骤和过程, 使学习的过程更为清晰易懂。

本书内容浅显、信息量大, 实物图的表现方式有利于初学者的学习理解。本书适合大中专学校学生和电子爱好者阅读, 对电子技术从业人员也有一定的参考价值。

按图索骥学技术系列丛书

电工电子仪表的使用

- ◆ 主 编 杨承毅 刘起义
编 著 李忠国 江华圣 刘 军
责任编辑 张 鹏
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京画中画印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 10.75
字数: 270千字
印数: 1—4 500册
- 2009年9月第1版
2009年9月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-19080-2/TN

定价: 28.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

测量的目的是为了了解有关情况。电类技术人员主要通过仪表测量的方法来了解电路元器件的优劣及电路所处的状态。

如今，从电子元器件的生产到电子产品的组装、检测、维护和修理都已离不开测量这一环节，从生产线到研究室也离不开各种仪表的技术支撑。事实证明，科学地使用各种仪表能为从事专业工作的人员提供有力的帮助，熟练地使用各种仪表可以大大提高工作效率。娴熟地掌握各种仪表已成为反映电类从业人员技术水平高低的重要标志，因此，“仪表使用”是电类各专业从业人员“不可或缺”的基本技能。

本书重点介绍了万用表、信号发生器、示波器、计数器和扫频仪等常用仪表的使用方法。对非电测专业人员而言，学习仪表的关键在于使用，特别是在微处理器被广泛应用到仪表中的情况下，再去分析仪表内部电路已显得不大可能。例如，我们对示波器介绍不再是“产品说明书”及电路的一一罗列和分析，而是根据示波器的操作步骤，以图文并茂的形式逐一展开，让读者“按图索骥”学技术，易学易懂。

本书是一本电类专业的职业启蒙教育读物，书中介绍的仪表也是最常用的。我们克服了面面俱到、泛泛而谈以及抽象的写作倾向，书中的内容都是真实的、有意义的、可以模仿的，故在自学中不会有很多障碍，使得本书非常便于读者自学使用。

总之，在知识膨胀的年代，我们希望通过本书简洁的介绍为读者学习电工电子技术提供一种直观的、基础的、启蒙的、快速且有效的帮助。

本书由杨承毅、刘起义、李忠国、江华圣、刘军和李伟共同完成，由杨承毅统稿。在本书编写过程中，武汉新仪电子测量技术有限公司靳立新总经理给予了大力支持，在此表示感谢！

由于编者水平有限，书中难免有错误，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 指针式万用表的使用.....	1
第 2 章 数字万用表的使用.....	10
第 3 章 钳形接地电阻测试仪的使用.....	17
第 4 章 钳形电流表的使用.....	22
第 5 章 交流电桥的使用.....	25
第 6 章 电容、电感测试仪的使用.....	31
第 7 章 兆欧表的使用.....	42
第 8 章 逻辑笔的使用.....	46
第 9 章 晶体管毫伏表的使用.....	49
第 10 章 低频信号发生器的使用	55
第 11 章 高频信号发生器的使用	61
第 12 章 函数信号发生器的使用	67
第 13 章 彩色电视信号发生器的使用	74
第 14 章 稳压电源的使用	85
第 15 章 双踪示波器的使用	95
第 16 章 数字示波器的使用	117
第 17 章 频率特性测试仪的使用	137
第 18 章 电子计数器的使用	154
第 19 章 场强仪的使用	160
附录: 电工仪表标志符号.....	165

第 1 章 指针式万用表的使用

万用表是集电压表、电流表和欧姆表于一体的便携式仪表，可分为指针式万用表和数字万用表两大类。万用表的功能很多，但主要是测量电压、电流、电阻 3 种基本电参数，所以也称为三用表。使用者根据测量对象的不同，可以通过拨动万用表的挡位 / 量程选择开关来进行选择。

指针式万用表是电工电子测量中应用最广泛的一种测量仪表，下面以 MF-47 型指针万用表为例来介绍其工作原理和使用方法。

MF-47 型万用表的基本功能如下。

- ① 测量电压、电流。
- ② 测量电阻，象征性测量电容、电感。
- ③ 测量红外线。
- ④ 导通器。
- ⑤ 测量晶体管放大能力。
- ⑥ 估测放大器放大能力。

一、认识 MF-47 型万用表

1. MF-47 型万用表面板图及其说明

MF-47 型万用表的面板如图 1-1 所示，面板结构介绍如表 1-1 所示。

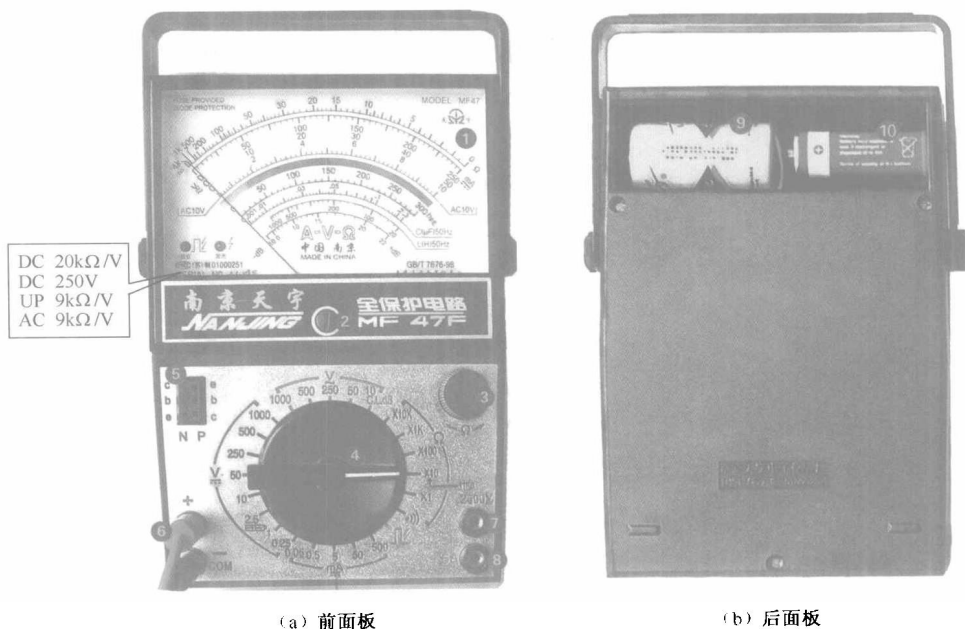


图 1-1 MF-47 型万用表面板图

表 1-1 MF-47 型万用表面板结构

图中标号	名 称	图中标号	名 称
①	表盘	⑥	表笔插孔
②	机械调零旋钮	⑦	高压测试插孔
③	欧姆调零旋钮	⑧	大电流测试插孔
④	挡位 / 量程选择开关	⑨	1.5V 电池
⑤	晶体管测试孔	⑩	9V 电池

2. 表盘标度尺简介

MF-47 型万用表表盘如图 1-2 所示, 表盘上共有 7 条标度尺, 从上到下各条标度尺的说明如表 1-2 所示。

表 1-2 表盘标度尺说明

对应标度尺序号 (从上至下)	名 称	说 明
①	电阻标度尺	用 “ Ω ” 表示
②	直流电压、交流电压及直流电流共用标度尺	分别在标尺左右两侧用 “ $\frac{V}{-}$ ” 和 “ $\frac{mA}{-}$ ” 表示
③	10V 交流电压标度尺	用 “AC10V” 表示
④	晶体管共发射极直流电流放大系数标度尺	用 “ h_{FE} ” 表示
⑤	电容容量标度尺	用 “C (μF) 50Hz” 表示
⑥	电感量标度尺	用 “L (H) 50Hz” 表示
⑦	音频电平标度尺	用 “dB” 表示



图 1-2 MF-47 型万用表的表盘

1. 使用 MF-47 型万用表

MF-47 型万用表可以通过拨动表盘下方的挡位 / 量程选择开关, 选择不同的挡位进行不同电参数的测量, 下面具体介绍各挡位的使用方法。

1. 欧姆挡的使用

欧姆挡的使用如表 1-3 所示。

表 1-3

欧姆挡的使用

项 目

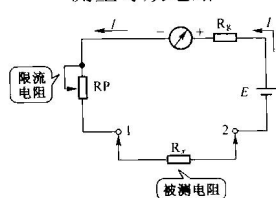
图 示

说 明

测量示范



测量等效电路



由测量等效电路图可知

$$I = \frac{E}{R_g + R_P + R_x}$$

在 E 、 R_P 、 R_g 为常量时，回路电流随 R_x 的大小而发生改变，即指针偏转的角度随 R_x 大小而改变，万用表即利用这一原理来测量电阻的阻值

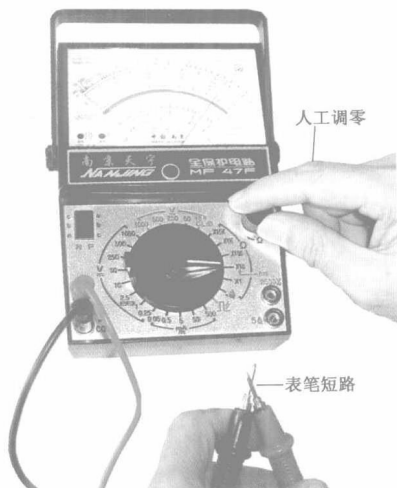
机械调零



万用表在使用前应检查指针是否指在机械零位上，即指针在静止时是否指在电阻标度尺的“ ∞ ”刻度处，若不在，应用小螺丝刀左右调节机械调零旋钮，使指针的位置准确指在“ ∞ ”刻度处。

注意，在测量其他电参数时也需要先进行机械调零操作

欧姆调零



当测量等效电路图中的 1、2 端被表笔短路时， $R_x=0$ ，此时表头电流 I 达到最大，指针应达到满刻度偏转；若指针不能偏转到满刻度位置，则可通过调节欧姆调零旋钮从而调节流入表头的电流，使 $R_x=0$ 时指针指示零点。

注意，每换一次挡位都需要重新进行欧姆调零，以减少测量误差；若调不到零点，多数原因是电池使用过久，此时应更换电池

项 目	图 示	说 明												
量程选择开关		欧姆挡共分 5 挡, 分别是“ $\times 1$ ”挡、“ $\times 10$ ”挡、“ $\times 100$ ”挡、“ $\times 1k$ ”挡、“ $\times 10k$ ”挡, 左图中选择为“ $\times 1$ ”挡												
不同量程的 读数方法		选择不同的量程, 其读数的方法也不同, 下面以图中的指示“10.8”数值为例进行说明 <table><tr><th>挡位</th><th>对应电阻值</th></tr><tr><td>$\times 1$ 挡</td><td>10.8Ω</td></tr><tr><td>$\times 10$ 挡</td><td>$10.8 \times 10\Omega$</td></tr><tr><td>$\times 100$ 挡</td><td>$10.8 \times 100\Omega$</td></tr><tr><td>$\times 1k$ 挡</td><td>$10.8 \times 1k\Omega$</td></tr><tr><td>$\times 10k$ 挡</td><td>$10.8 \times 10k\Omega$</td></tr></table>	挡位	对应电阻值	$\times 1$ 挡	10.8Ω	$\times 10$ 挡	$10.8 \times 10\Omega$	$\times 100$ 挡	$10.8 \times 100\Omega$	$\times 1k$ 挡	$10.8 \times 1k\Omega$	$\times 10k$ 挡	$10.8 \times 10k\Omega$
挡位	对应电阻值													
$\times 1$ 挡	10.8Ω													
$\times 10$ 挡	$10.8 \times 10\Omega$													
$\times 100$ 挡	$10.8 \times 100\Omega$													
$\times 1k$ 挡	$10.8 \times 1k\Omega$													
$\times 10k$ 挡	$10.8 \times 10k\Omega$													
多挡欧姆表电路及等效电路		在工作实践中常利用万用表的欧姆挡去测量一些电子元器件, 为避免损坏电子元器件, 操作者应了解万用表欧姆挡的等效电路。 由图所示电路可知, $R \times 1$、$R \times 10$、$R \times 100$、$R \times 1k$ 挡内部电池为 1.5V, 且 $R \times 1$ 挡 R' (万用表内阻) 为最小; $R \times 10k$ 挡内部电池为 9 ~ 15V, 内阻为 R''。 实际测量时, 对一般小功率管使用 $R \times 100$、$R \times 1k$ 挡测量, 而不宜使用 $R \times 1$ 和 $R \times 10k$ 挡测量, 因为选择 $R \times 1$ 挡时万用表内阻最小, 通过二极管的正向电流较大, 可能烧毁管子; 而选择 $R \times 10k$ 挡时万用表电池的电压较高, 加在二极管两端的反向电压也较高, 易击穿管子, 而对大功率管, 可选 $R \times 1$ 挡测量。 由上可知, 了解万用表欧姆挡的等效电路有利于操作者正确地使用万用表												

使用万用表测量应注意以下问题。

① 使用欧姆挡时不允许测量带电体。

② 不能用两只手同时捏住表笔的金属部分测电阻，否则会因将人体电阻并接于被测电阻而引起测量误差。

③ 测量时应根据指针所指的位置选择合适的倍率，合适倍率的选择标准是使指针指示在表盘中值附近。一般而言，应使指针尽量指在电阻标度尺刻度的 5 ~ 10。

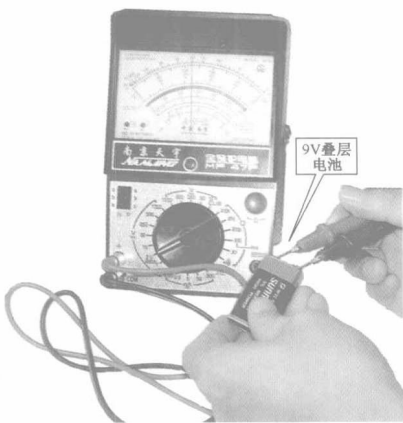
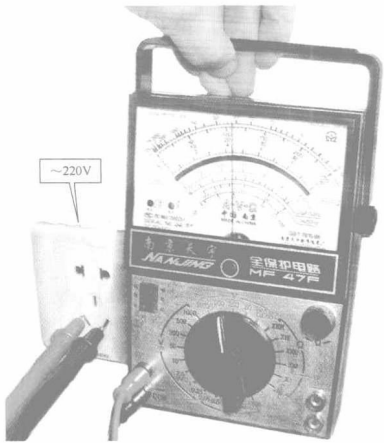
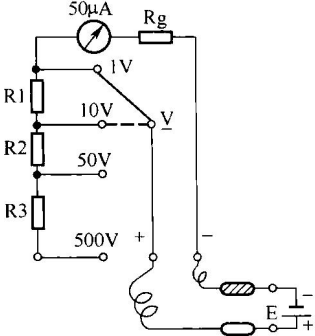
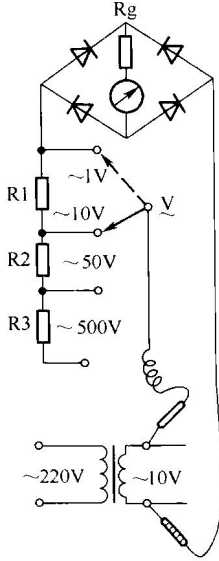
④ 测量完毕应将挡位 / 量程选择开关旋至交流电压最高挡，而不可将开关置于电阻挡，以防止两表笔长期短接耗尽表内电池。

⑤ 若万用表长时间不使用，则应将表中的电池取出，以防止电池漏液。

2. 电压挡的使用

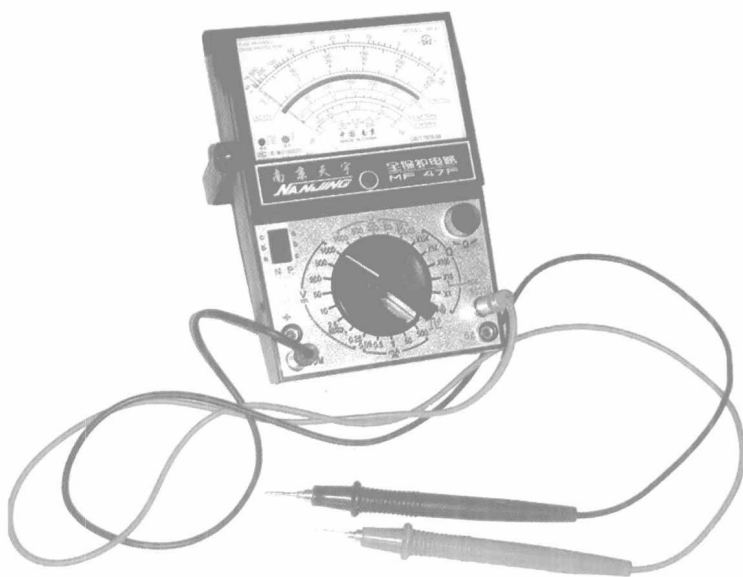
电压挡的使用方法如表 1-4 所示。

表 1-4 电压挡的使用

项 目	直流电压挡	交流电压挡
测量示范		
多挡电压表电路模型	 从图中可以看出，1V 挡电压表的内阻为 R_g，10V 挡的内阻是 $R_1 + R_g$，50V 挡的内阻是 $R_1 + R_2 + R_g$，依此类推，由此可知，随着电压挡位的提高，电压表的内阻逐渐增大	

续表

项 目	直流电压挡	交流电压挡
测量原理	一只量程为 1V 的表头，被测电压值不能超过 1V，否则指针偏转幅度会超出指示范围。而上图所示的多挡电压表实质上就是在表内串联一系列适当的电阻（倍增电阻）进行降压，从而达到扩展电压量程的目的。改变倍增电阻的阻值，就能改变电压的测量范围 交流电压表与直流电压表的测量原理基本相同，只是交流电压表增加了整流电路	
测量须知	① 测量直流电压时，红表笔应接至高电位，黑表笔接至低电位。 ② 测量交流电压时，表笔无所谓正负。 ③ 当选择交流 10V 挡测量时，读数查看第 3 条标度尺。 ④ 在测量高压（1000 ~ 2500V）时将红、黑表笔插在正确的插孔内测交流高压时，量程选择开关置于交流 1000V 挡；测直流高压时，量程选择开关置于直流 1000V 挡。读数时查看表盘第 2 条标度尺，满偏刻度为 2500V	
养成好习惯	① 若无法估计被测电压的大小，则应先选择最高挡进行测量，再根据指针偏转情况，选择合适的挡位进行测量。 ② 在测量 100V 以上的高压时，要养成单手操作的习惯，即先将黑表笔置电路零电位处，再单手持红表笔去碰触被测端，以保护人身安全	

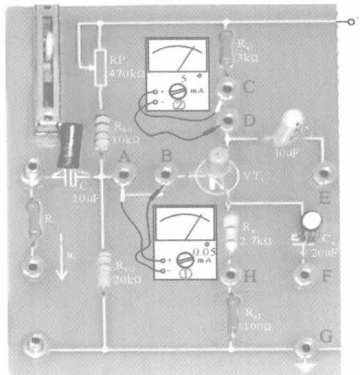
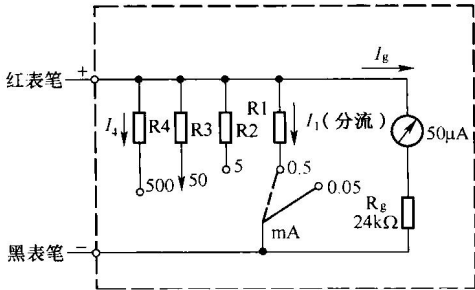


3. 电流挡的使用

电流挡的使用方法如表 1-5 所示。

表 1-5

电流挡的使用

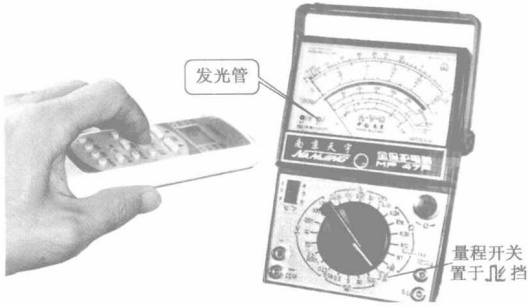
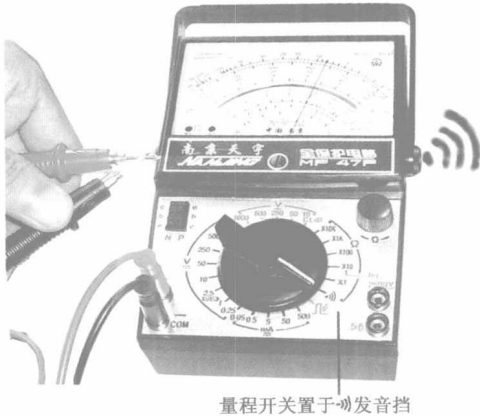
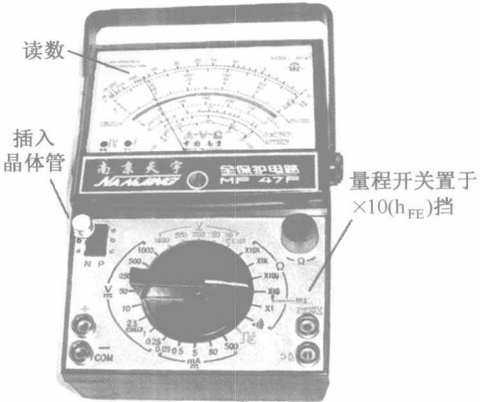
项 目	图示及说明
测量示范	 左图中①为万用表串联在放大器基极回路中测 I_b，②为万用表串联在集电极回路中测 I_c。
多挡电流表电路模型	
测量原理	如图所示，多挡电流表利用在表头上并联的一系列适当的分流电阻来达到扩展电流量程的目的。选择不同分流电阻的阻值，就能改变电流的测量范围，其中 0.05 挡是空格，此时万用表就是一只满偏刻度为 0.05mA (50μA) 的电流表
测量须知	① 因为表头满偏刻度的电压值仅为 1V，若测量电压值超过 1V 则必然会造成万用表的损坏，所以禁止用电流挡测量负载电压或电源电压。 ② 为避免指针逆时针方向偏转损坏表头，所以测量直流电流时，不可将表笔的正负极性接错。 ③ 测量大电流 (500mA ~ 5A) 时： - 红表笔应插入 5A 专用插孔，黑表笔插入“-”位置； - 应将量程选择开关置于 500mA 挡； - 读数时查看表盘第 2 条标度尺，满偏刻度为 5A
养成好习惯	在测量前若不能估计被测电流的大小，则应先用最高电流挡进行测量，然后根据指针指示情况选择合适的挡位来测试，以免指针偏转过度而损坏表头。 注意，变换挡位操作应断电进行，不得带电操作

4. MF-47 型万用表的其他功能

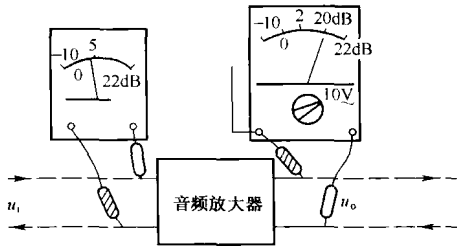
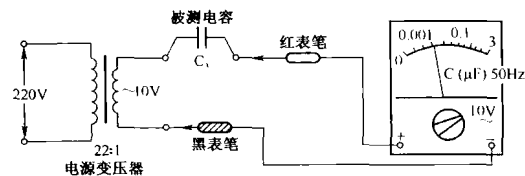
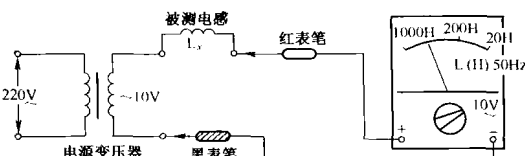
MF-47 型万用表的其他功能使用方法如表 1-6 所示。

表 1-6

MF-47 型万用表的其他功能

项 目	图 示	说 明
红外线测量		万用表内设红外线接收电路，当接收到遥控器发射的脉冲信号后，表盘中发光管的红灯闪烁，这种功能称为红外线数据测量，一般用来简单判断遥控器（空调遥控器、彩色电视机遥控器等）工作是否正常
通路蜂鸣器提示测量		两表笔相碰，当电路处于通路状态时，表中附带的蜂鸣器发出蜂鸣声，维修者常利用此功能来快速检查导线、开关、触点和保险丝的通断
晶体管放大参数 (h_{FE}) 测量		按插孔提示的要求插入晶体管，可从表盘第 4 条标度尺直接读数

续表

项 目	图 示	说 明												
音频电平 (dB) 测量	 用万用表测音频电平示意图	使用 MF-47 型万用表可以对放大器的增益进行基本的估测, 虽然不准确, 但也方便。测量连线如图所示。 音频电平的测量步骤如下。 ① 将万用表量程选择开关旋至交流电压 10V 挡。 ② 按图中的连线测量放大器输出幅度, 从表盘第 7 条标度尺直接读数。 a. 若放大器的输入幅度为 5dB, 测得输出幅度为 20dB, 则可直接算出放大器的增益为 $20 - 5 = 15\text{dB}$; b. 若指针超过满偏刻度 + 22dB, 说明测量值超过标度尺范围, 此时与测量交流电压的操作一样, 应调大量程测量范围, 再根据修正值表求出实际值。 测音频电平时的各挡位修正值如下表所示。 <table><tr><th>量程挡位</th><th>修 正 值</th></tr><tr><td>~ 10V</td><td>0</td></tr><tr><td>~ 50V</td><td>+ 14dB</td></tr><tr><td>~ 250V</td><td>+ 28dB</td></tr><tr><td>~ 500V (很少用)</td><td>+ 34dB</td></tr><tr><td>~ 1000V (很少用)</td><td>+ 40dB</td></tr></table> 例如, 当挡位选择开关置于交流 50V 挡时, 指针指在第 7 标度线的 + 10dB 位置上, 则实际音频电平值应该为 + 10dB(读数值)加上 + 14dB(修正值), 即 + 24dB	量程挡位	修 正 值	~ 10V	0	~ 50V	+ 14dB	~ 250V	+ 28dB	~ 500V (很少用)	+ 34dB	~ 1000V (很少用)	+ 40dB
量程挡位	修 正 值													
~ 10V	0													
~ 50V	+ 14dB													
~ 250V	+ 28dB													
~ 500V (很少用)	+ 34dB													
~ 1000V (很少用)	+ 40dB													
电容容量、 电感量测量	 (a) 用万用表测电容容量示意图  (b) 用万用表测电感量示意图	利用万用表交流电压 10V 挡可以估测小容量电容器的容量, 如图 (a) 所示的连线可以测量电器的电容容量, 但这需要另外增加一个电源变压器, 实用性不强。 用万用表测电感量的示意图如图 (b) 所示, 与测电容量的原理和方法类似												

第2章 数字万用表的使用

数字万用表是一种直接用数字显示的万用表，它具有显示清晰直观、读数准确、分辨率高等特点。

一、认识数字万用表

数字万用表英文缩写为 DMM(Digital Multi-meter)，图 2-1 所示是一种便携型数字万用表。数字万用表一般由单片 A/D 转换器和外围电路（主要包括功能转换器、挡位 / 量程选择开关、LCD 或 LED 显示器和蜂鸣器振荡电路、驱动电路、检测线路通断电路、低压指示电路、小数点及标志符驱动电路）组成。



图 2-1 DT9205 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表面板结构图

数字万用表的显示位数有 $3\frac{1}{2}$ 、 $3\frac{2}{3}$ 和 $4\frac{1}{2}$ 等几种，它表示了数字万用表的最大显示量程和精度，示例说明如下。

1. $3\frac{1}{2}$

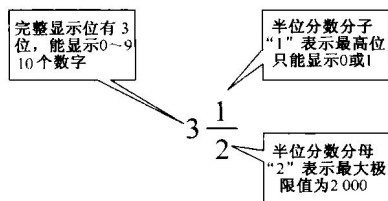


图 2-2 数字万用表显示位数 $3\frac{1}{2}$ 代表的含义

2. $3\frac{2}{3}$

半位分数分子为“2”，表示最高位只能显示数字 0、1、2。

半位分数分母为“3”，表示最大极限值为 3000。

数字万用表的分辨率是表示数字万用表灵敏度大小的重要参数，它与显示位数密切相关。对电压表而言，分辨率是指数字电压表能够显示的被测电压的最小变化值，即显示器的末位跳变一个数字所需要的最小输入电压值。可见，在最小量程上，数字电压表的分辨率最高。分辨率也是指数字电压表最小量程上的分辨率。例如最小量程为 200mV 的 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表显示为 199.9mV 时，末位变一个字所需要的最小输入电压是 0.1mV，则这台数字电压表的分辨率为 0.1mV。

二、数字万用表面板结构及基本构成

数字万用表面板结构如图 2-1 所示，面板结构说明如表 2-1 所示。

表 2-1 数字万用表面板结构说明

图中标号	名 称
①	LCD 显示器（液晶显示器）
②	电源开关
③	被测晶体管插孔
④	输入插孔
⑤	挡位 / 量程选择开关

三、数字万用表的工作原理

如图 2-3 所示，被测信号经输入保护电路（防止误操作引起过大的电压输入而损坏内部电路）、单片 A/D 转换器（将被测量的模拟量转换成相应的数字量），配合相应的功能转换器和挡位 / 量程选择开关，将被测量值由译码电路和 LCD 显示器显示出来。

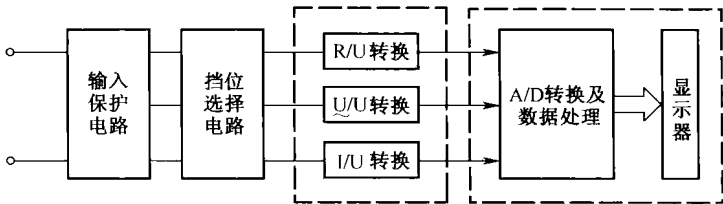


图 2-3 数字万用表工作原理示意图

常用的 DT92 系列数字万用表 DT9205 是一种结构坚固且由电池驱动的 $3\frac{1}{2}$ 位数字万用表，可以进行直流和交流电压（流）、电阻的测量，二极管、带声响的通断测试及晶体管 h_{FE} 的测试，并具有极性选择、过量程显示和全量程过载保护特点（使用时只要不超过规定的极

限指标，一般不会损坏万用表内部的大规模集成电路)。

1. 工作条件

数字万用表的工作温度为 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，保证精度的测试温度为 $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；工作频率为 $40 \sim 400\text{Hz}$ 。数字万用表有以下显示特性。

① 显示方式：LCD 显示。

② 最大显示： $1999(3\frac{1}{2} \text{ 位})$ 自动极性显示（其最大显示值为 ± 1999 ）。

③ 过量程显示：“1”（若仅最高位显示数字“1”，其他位均消隐，证明万用表已发生过载，应选择更高的量程）。

④ 读数速度：每秒钟 $2 \sim 3$ 次。

⑤ 全量程过载保护。

2. 基本性能

① 直流基本误差为 $\pm 0.5\%$ 。

② 电容测量数值范围为 $1\text{pF} \sim 200\mu\text{F}$ 。

③ 频率测量数值范围为 $10\text{Hz} \sim 20\text{kHz}$ 。

④ 具备全量程保持功能。

⑤ 最大显示值为 $1999(3\frac{1}{2} \text{ 位})$ 。

⑥ 电源采用 9V 叠层电池。

⑦ 电压不足指示“LOBAT”。

四、数字万用表的使用方法

1. 数字万用表的操作步骤（见表 2-2）

表 2-2 数字万用表的操作步骤

测量对象	操作步骤
直流电压、交流电压的测量 直流电压： $200\text{mV} \sim 1000\text{V}$ 交流电压： $200\text{mV} \sim 700\text{V}$	首先将黑表笔插入 COM 插孔、红表笔插入 V/ Ω 插孔，然后将挡位 / 量程选择开关置于 DCV（直流）或 ACV（交流）挡位，并将测试表笔连接到被测源两端，显示器将显示被测电压值，在显示直流电压值的同时，将显示红表笔端的极性，如果显示器只显示“1”，表示过量程，挡位 / 量程选择开关应置于更高的量程（下同）
直流（DC）电流、交流（AC）电流的测量 直流电流： $20\mu\text{A} \sim 20\text{A}$ 交流电流： $20\mu\text{A} \sim 20\text{A}$	首先将黑表笔插入 COM 插孔，测量最大值为 2A 的电流时，将红表笔插入 A 孔；测量最大值为 20A 的电流时，将红表笔插入 20A 插孔，然后将挡位 / 量程选择开关置于 DCA 或 ACA 量程，测试表笔串联接入被测负载电路，显示器即显示被测电流值，在显示直流电流的同时，将显示红表笔端的极性