

轻松玩转

指针万用表、数字万用表、台式万用表……

张 亮 主 编

寇海军 朱明英 副主编



手把手教你 使用万用表

用万用表检测
电子元器件、集成电路……很简单



化学工业出版社

手把手教你 使用万用表

张 亮 主 编 ■
寇海军 朱明英 副主编 ■



化学工业出版社

· 北 京 ·

《手把手教你使用万用表》从初学者角度全面介绍了指针万用表、数字万用表、高精度数字表和台式万用表的使用方法和测量技巧。重点说明了用万用表检测基本电子元件、半导体器件、光电与显示器件、电声器件、低压电器和集成电路的方法、步骤与技巧，对数字万用表常见故障及维修技巧进行了实用性说明。全书内容由浅入深，书中所介绍的使用方法及测量技巧均经过实践验证，便于读者灵活运用，轻松掌握万用表的各项使用技巧。

本书可供电子技术人员、电子爱好者以及电气维修人员阅读，也可供相关专业的院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

手把手教你使用万用表/张亮主编. —北京：化学工业出版社，2015.3
ISBN 978-7-122-22847-5

I. ①手… II. ①张… III. ①复用电表-使用
IV. ①TM938.107

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 015539 号

责任编辑：刘丽宏
责任校对：王素芹

文字编辑：余纪军
装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 24 字数 596 千字 2015 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：78.00 元

版权所有 违者必究

前言

万用表又称为复用表、多用表、三用表、繁用表等，是最常用的电工、电子测量仪器之一，熟练掌握万用表的使用方法是电子技术人员最基本的技能之一。万用表按显示方式分为指针万用表和数字万用表。正确、熟练地使用万用表可以使广大技术工作者顺利地完成任务，起到事半功倍的效果；如果使用不当，会造成万用表的损坏，甚至使测量工作被迫中断。因此，为了帮助广大电子技术人员掌握万用表的使用方法及技巧，我们特编写了本书。

本书内容集系统性、实用性于一体，内容由浅入深，从最基础的指针万用表讲起，进而讲解数字万用表、高精度数字表和台式万用表的使用方法和测量技巧。

全书从初学者角度全面介绍了用万用表检测基本电子元件、半导体器件、光电与显示器件、电声器件、低压电器和集成电路的方法、步骤与技巧，对数字万用表常见故障及维修技巧进行了实用性说明。书中所介绍的使用方法及测量技巧均经过实践验证，能为从事电子技术及广大电子爱好者提供帮助，也便于读者灵活运用，轻松掌握万用表的各项使用技巧。

本书由张亮主编，寇海军、朱明英副主编，参与编写的还有朱信伟、朱信忠、朱娇、刘晓倩、刘永祥、张士俊、张猛、李庆、姚继先、高振、冯丹、张超阳、王科伟、卢丹、王亚镇、姚磊。在本书的编写过程中，笔者借鉴了很多专业资料，在此，向这些资料的作者表示衷心的感谢！

由于水平有限，时间仓促，书中不足之处难免，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

第1章 初识万用表

1

1.1 万用表的分类	1
1.1.1 按表头类型分类	1
1.1.2 按功能操作旋钮分类	1
1.1.3 按测量功能分类	2
1.2 万用表的主要特性	2
1.2.1 指针式万用表的主要特性	2
1.2.2 数字式万用表的主要特性	8
1.3 万用表常用标志符号	9

第2章 指针式万用表的工作原理与使用

11

2.1 指针式万用表的基本结构	11
2.1.1 表头	12
2.1.2 测量电路	12
2.1.3 转换开关	13
2.2 指针式万用表的测量原理	13
2.2.1 直流电流测量电路	13
2.2.2 直流电压测量电路	14
2.2.3 交流电压测量电路	15
2.2.4 电阻测量电路	16
2.3 MF47 型指针式万用表介绍	17
2.3.1 外观	18
2.3.2 主要技术参数	19
2.3.3 主要功能	19
2.4 MF47 型万用表操作实训	21
2.4.1 基本操作	21
2.4.2 测量电阻	22
2.4.3 测量直流电压	26
2.4.4 测量交流电压	28
2.4.5 测量直流电流	28

2.4.6	测量晶体管的直流参数	29
2.4.7	测量电容的电容量	30
2.4.8	测量电感的电感量	30
2.4.9	检测集成电路	31
2.5	MF47 型万用表使用时的注意事项	32
2.6	MF47 型万用表的检修	33
2.6.1	MF47 型万用表的电路原理图	33
2.6.2	MF47 型万用表的检修程序	33
2.6.3	检修表头	34
2.6.4	MF47 型万用表的检修技巧	36

第3章 数字式万用表的基本结构和电路原理

37

3.1	数字式万用表的基本结构	37
3.1.1	普通数字万用表的基本结构	37
3.1.2	单片数字万用表的基本结构	38
3.1.3	智能数字万用表的基本结构	39
3.2	单片 AD 转换芯片 ICL7106 的应用	39
3.2.1	ICL7106 的引脚功能	39
3.2.2	ICL7106 的工作原理	40
3.2.3	数字电路	43
3.2.4	ICL7106 的应用	44
3.3	数字万用表的测量电路工作原理	47
3.3.1	直流电压测量电路	47
3.3.2	直流电流测量电路	48
3.3.3	交流电压测量电路	49
3.3.4	电阻测量电路	49
3.3.5	晶体管 h_{FE} 测量电路	52
3.3.6	电容测量电路	54
3.3.7	蜂鸣器电路	58
3.3.8	二极管测量电路	59
3.3.9	温度测量电路	60
3.3.10	低电量指示符驱动电路	62
3.4	数字万用表的保护电路	63
3.4.1	电流挡保护电路	64
3.4.2	电压挡保护电路	64
3.4.3	电阻挡保护电路	65
3.4.4	其他保护电路	66
3.5	液晶显示屏	68
3.6	液晶显示屏标识符驱动电路	68
3.6.1	JH220 型液晶屏	68
3.6.2	$3\frac{1}{2}$ 位标识符驱动电路	69

3.6.3	4½位标识符驱动电路	69
3.6.4	×10 标识符驱动电路	69
3.7	超量程报警电路	70
3.8	自动关机电路	71
3.9	DT9205A 型数字万用表的原理与使用	72
3.9.1	外观	73
3.9.2	DT9205A 型数字万用表主要技术参数	73
3.9.3	DT9205A 型数字万用表操作实训	75
3.9.4	数字万用表使用注意事项	78

第4章 数字万用表的维修

80

4.1	数字万用表维修常用工具及基本技能	80
4.1.1	数字万用表维修常用仪器仪表	80
4.1.2	数字万用表维修常用工具	81
4.1.3	手工焊接技术	89
4.1.4	电路识图基础	94
4.2	数字万用表的基本维修流程	97
4.2.1	准备阶段	97
4.2.2	初检	97
4.2.3	查找故障点	97
4.2.4	故障处理	98
4.2.5	复检	99
4.3	数字万用表的常用维修方法	99
4.3.1	直观诊断法	99
4.3.2	电压/电流测量法	100
4.3.3	阻值测量法	100
4.3.4	短路法	100
4.3.5	电路分割法	101
4.3.6	元件代换法	101
4.3.7	波形测量法	102
4.3.8	干扰法	102
4.4	数字万用表常见故障维修	102
4.4.1	直流电压/电流挡故障维修	102
4.4.2	交流电压挡故障维修	103
4.4.3	电阻挡故障维修	104
4.4.4	二极管/蜂鸣器挡故障维修	104
4.4.5	h_{FE} 挡故障维修	105
4.4.6	测温部分故障维修	105
4.4.7	自动关机电路维修	106
4.4.8	交直流自动转换电路故障维修	107
4.4.9	电导挡故障维修	108

4.4.10	显示部分故障维修	109
4.5	单片 AD 转换芯片功能检查	110
4.5.1	ICL7106 芯片功能检查	110
4.5.2	ICL7107 芯片功能检查	111
4.5.3	MC14433 芯片功能检查	111
4.6	DT890 型数字万用表故障维修	112
4.6.1	供电部分故障维修	112
4.6.2	A/D 转换部分故障维修	112
4.6.3	直流电压/电流挡故障维修	113
4.6.4	交流电压挡故障维修	115
4.6.5	电阻挡故障维修	115
4.6.6	电容挡故障维修	117
4.6.7	小数点驱动电路故障维修	117
4.7	数字万用表的调试	117
4.7.1	计算显示值允许误差	117
4.7.2	DT830A 型数字万用表的调试	119
4.7.3	DT890C+ 型数字万用表的调试	123
4.7.4	单片 AD 转换器基准电压和基本量程的关系	128

第5章 使用万用表检测基本电子元件

130

5.1	使用万用表检测电阻器	130
5.1.1	固定电阻器的命名规则	130
5.1.2	电阻器的分类	131
5.1.3	电阻器的主要参数	134
5.1.4	电阻器阻值的标注	135
5.1.5	电阻的串并联	137
5.1.6	电阻的故障及检测	138
5.1.7	电阻的代换使用	141
5.2	使用万用表检测电容器	141
5.2.1	电容器的命名	142
5.2.2	电容器的分类	143
5.2.3	电容器的主要参数	145
5.2.4	电容器参数的标注	147
5.2.5	电容器的串并联	148
5.2.6	电容器的故障检测	149
5.2.7	电容器的选配与代换	153
5.3	使用万用表检测电感器	154
5.3.1	电感器的命名	154
5.3.2	电感器的分类	155
5.3.3	电感器的主要参数	157
5.3.4	电感器参数的标注	158

5.3.5	电感器的串并联	158
5.3.6	电感器的检测	158
5.3.7	电感器的选配和代换	162
5.4	使用万用表检测变压器	162
5.4.1	变压器的分类	162
5.4.2	变压器的主要参数	163
5.4.3	变压器的参数标注	165
5.4.4	变压器的检测	165
5.4.5	变压器的选配与代换使用	166
5.5	使用万用表检测二极管	167
5.5.1	二极管的电路符号与特性	167
5.5.2	二极管的命名	168
5.5.3	二极管的分类	169
5.5.4	二极管的主要参数	171
5.5.5	二极管的检测	172
5.5.6	二极管的选配及代换	176
5.6	使用万用表检测三极管	177
5.6.1	三极管的结构与电路符号	177
5.6.2	三极管的命名和封装	177
5.6.3	三极管的分类	178
5.6.4	三极管的主要技术参数	179
5.6.5	普通三极管的检测	180
5.6.6	行输出管的检测	183
5.6.7	达林顿管的检测	185
5.6.8	带阻三极管的检测	187
5.6.9	光敏三极管的检测	187
5.6.10	三极管的代换	189
5.7	使用万用表检测场效应管	189
5.7.1	认识场效应管	190
5.7.2	场效应管工作原理	190
5.7.3	场效应管的分类	191
5.7.4	场效应管主要参数	191
5.7.5	场效应管的检测	192
5.7.6	场效应管的选配与代换	194
5.8	使用万用表检测晶闸管	195
5.8.1	认识晶闸管	195
5.8.2	晶闸管的分类	196
5.8.3	晶闸管的命名	196
5.8.4	晶闸管的主要参数	197
5.8.5	晶闸管的使用及注意事项	198
5.8.6	单向晶闸管的检测	198
5.8.7	双向晶闸管的检测	200

5.8.8 晶闸管的选配与代换	200
5.9 使用万用表检测 IGBT	201
5.9.1 IGBT 的主要参数	201
5.9.2 IGBT 的检测	202
5.9.3 IGBT 的选配与代换	202
5.10 使用万用表检测晶振	203
5.10.1 晶振的电路符号	203
5.10.2 晶振的工作原理	203
5.10.3 晶振的分类	203
5.10.4 晶振的命名	205
5.10.5 晶振的主要参数	206
5.10.6 晶振的检测	206

第6章 使用万用表检测集成电路

207

6.1 集成电路基础知识	207
6.1.1 集成电路的封装及引脚排列	207
6.1.2 集成电路的命名	211
6.1.3 集成电路的主要参数	212
6.1.4 集成电路的检测	212
6.1.5 集成电路的使用注意事项	214
6.2 使用万用表检测光电耦合器	214
6.2.1 光电耦合器的结构	215
6.2.2 光电耦合器的分类	215
6.2.3 光电耦合器的主要技术参数	216
6.2.4 光电耦合器的检测	217
6.3 使用万用表检测三端稳压器	219
6.3.1 三端稳压器的特点	219
6.3.2 三端稳压器分类	219
6.3.3 三端稳压器的主要参数	219
6.3.4 固定式三端稳压器	220
6.3.5 可调式三端稳压器	224
6.3.6 三端误差放大器的检测	227
6.4 使用万用表检测集成运算放大器	227
6.4.1 集成运算放大器的分类	227
6.4.2 集成运算放大器简介	229
6.4.3 LM324 集成运算放大器	229
6.4.4 集成运算放大器的检测	230
6.5 使用万用表检测 555 时基电路	232
6.5.1 各引脚功能及内部结构	232
6.5.2 工作原理	233
6.5.3 时基电路的检测	233

7.1 使用万用表检测继电器	236
7.1.1 使用万用表检测电磁继电器	236
7.1.2 使用万用表检测固态继电器	238
7.2 使用万用表检测电声器件	240
7.2.1 电声器件的命名	240
7.2.2 使用万用表检测扬声器	240
7.2.3 使用万用表检测耳机	242
7.2.4 使用万用表检测压电陶瓷片和蜂鸣器	244
7.2.5 使用万用表检测传声器	245
7.3 使用万用表检测显示器件	248
7.3.1 显示器件分类	249
7.3.2 使用万用表检测 LED 数码器件	249
7.3.3 使用万用表检测液晶显示器件	251
7.4 使用万用表检测传感器	252
7.4.1 使用万用表检测压力传感器	254
7.4.2 使用万用表检测热电偶传感器	255
7.4.3 使用万用表检测霍尔传感器	255

8.1 灵活使用万用表检测强电线路及设备	258
8.1.1 使用万用表判断相线和中性线	258
8.1.2 使用万用表判断电线（或电缆）断芯位置	259
8.1.3 使用万用表检查设备漏电	259
8.1.4 使用万用表判断暗敷线路走向	260
8.1.5 使用万用表测量接地电阻	261
8.1.6 使用万用表测量导线的绝缘性能	262
8.2 灵活使用万用表测量无源元件	262
8.2.1 使用万用表测量大阻值电阻	262
8.2.2 使用三极管放大倍数挡估测电阻	263
8.2.3 使用万用表测量大容量电容	263
8.2.4 使用万用表电容挡测量电感	264
8.3 万用表的其他应用	266
8.3.1 使用万用表检测电池	266
8.3.2 使用万用表测量逻辑电平	267
8.3.3 使用万用表当做信号源	268
8.4 数字万用表的功能扩展	271
8.4.1 使用数字万用表测量高压	271
8.4.2 数字万用表电压挡灵敏度的提高	272
8.4.3 DT830 型数字万用表电阻挡功能扩展	273

8.4.4	DT890B 型万用表电容挡扩展	274
8.4.5	数字万用表扩展 μA 电流挡	275
8.4.6	数字万用表增加频率挡	275
8.4.7	数字万用表频率挡扩展	279
8.4.8	数字万用表增加占空比测量功能	280
8.4.9	数字万用表增加测温功能	281
8.4.10	数字万用表增加读数保持功能	283
8.4.11	数字万用表增加自动关机电路	285

第9章 高档数字万用表的原理与使用

287

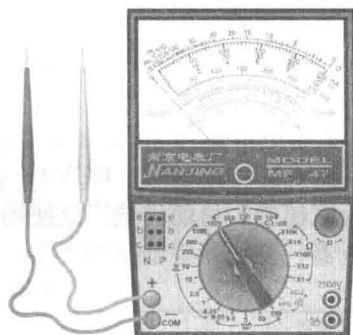
9.1	高精度万用表用 AD 转换芯片	287
9.1.1	ICL7135 型单片 $4\frac{1}{2}$ 位 AD 转换芯片	287
9.1.2	ICL7129 型单片 $4\frac{1}{2}$ 位 AD 转换芯片	292
9.2	VC970 型 $3\frac{3}{4}$ 位数字万用表的原理与维修	298
9.2.1	概述	298
9.2.2	整机电路分析	298
9.2.3	常见故障的维修	301
9.2.4	调试方法	302
9.3	DT930F/VC930F 型 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表的原理与维修	303
9.3.1	概述	303
9.3.2	整机电路分析	304
9.3.3	常见故障维修	311
9.3.4	调试要点	312
9.3.5	关键元器件的代换	314
9.4	VC9806+ /VC9807+ 型 $4\frac{1}{2}$ 位数字万用表的原理与维修	314
9.4.1	概述	314
9.4.2	整机电路分析	314
9.4.3	常见故障维修	319
9.4.4	调试方法	320
9.5	Fluke170 系列数字万用表简介	321
9.5.1	概述	321
9.5.2	性能参数	321
9.5.3	面板功能介绍	322
9.5.4	基本测量操作	325
9.6	Agilent U3402A 型 $5\frac{1}{2}$ 位双重显示台式万用表	329
9.6.1	主要功能及特点	329
9.6.2	使用入门	329
9.6.3	实际操作	335
9.6.4	双显示屏应用	348
9.6.5	RS232 远程操作	351
9.6.6	校准测试	359
9.6.7	维护与拆装	369

第1章

初识万用表

万用表因具有多项测量功能、操作简单且携带方便,成为最常用、最基本的电工电子测量仪表之一。

如图 1-1 所示。万用表既是电压表,又是电流表,也是欧姆表,还可以测量电平、电感、电容等。对于广大电工、家电维修、通信设备维修等从业人员,尤其是电工、电子技术初学者和无线电爱好者来说,掌握万用表的使用方法和技巧是快速判断元器件好坏、检测电气设备线路(或电路)是否正常的基础。



测电阻
测二极管反向
测直流电压
测交流电压
测直流电流
测交流电流
三极管(NBN)
测be 测cb
测bc 测cb
测ce 测ec
测放大倍数

图 1-1 万用表

1.1 万用表的分类

1.1.1 按表头类型分类

按工作表头构成的万用表可分为机械型(指针型)万用表和数字显示型(简称数字型)万用表两类。目前,常见的指针型万用表有 MF47、MF500 等,常见的数字型万用表有 DT590、DT9205 等。

1.1.2 按功能操作旋钮分类

万用表按功能操作旋钮可分为单旋钮型万用表和双旋钮型万用表两类。常见的单旋钮型万用表有 MF47、DT9205 等,而常见的双旋钮型万用表为 MF500。

1.1.3 按测量功能分类

万用表按测量功能可分为普通型万用表和多功能型万用表两类。普通型万用表只能测量电阻、电压、电流，所以也叫三角表，并且测量的电流容量较小，如常见的 MF500 就属于此类万用表。而早期的多功能型万用表仅增加了三极管放大倍数测量功能、大电流测量功能，如 MF30 和部分 MF47 型万用表；后期生产的多功能型万用表还增加了短路（通路）测量功能、电容测量功能，甚至有的万用表还增加了欠电压（电池电量不足）提示，自动延迟关机、音频电平、温度、电感量、频率测量和遥控器信号检测等功能，并且多功能型万用表的保护功能也越来越完善。

1.2 万用表的主要特性

1.2.1 指针式万用表的主要特性

指针式万用表的英文缩写是 VOM（Volt-Ohm Meter，即“伏欧表”），在本部分中以下简称万用表。其主要特点是准确度较高，测量项目较多，操作简单，价格低廉，携带方便，目前仍是国内最普及、最常用的一种电测仪表。

1.2.1.1 准确度

万用表的精度一般用准确度表示，它反映了仪表基本误差的大小，准确度愈高，测量误差愈小。根据我国制定的国家标准“电测量指示仪表通用技术条件（GB 776—1976）”，仪表的准确度分七个等级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。近年来随着仪表工业的迅速发展，我国已能制造 0.05 级的指示仪表。

准确度等级反映了仪表基本误差的大小。基本误差亦称固有误差，常用相对误差 γ_m 来表示。例如，2.5 级准确度即表示基本误差为 $\pm 2.5\%$ 。两者的对应关系见表 1-1。国产 MF18 型万用表测量直流电压（DCV）、直流电流（DCA）和电阻（ Ω ）的准确度都是 1.0 级，可供实验室使用。目前仍被广泛使用的 500 型万用表则属于 2.5 级仪表。需要指出，受分压器、分流器、整流器等电路的影响，同一块万用表各挡的基本误差也不尽相同。

表 1-1 准确度等级与基本误差的关系

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 $\gamma_m/\%$	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

万用表的基本误差有两种表示方法。对于直流和交流电压挡、电流挡，是以刻度尺工作部分上限的百分数表示的，这些挡的刻度呈线性或接近于线性。例如，设电压挡的满刻度（即满量程）为 U_M ，将基本误差折合成绝对误差就是

$$\Delta = \gamma_m U_M$$

对于电阻挡，因刻度呈非线性，故改用刻度尺总弧长的百分数来表示基本误差。但需指出，万用表说明书或表盘上注明的电阻挡基本误差值，仅对欧姆刻度尺的中心位置（即欧姆中心）适用，其余刻度处的基本误差均大于此值。

万用表的基本误差范围见表 1-2，具体数值可从万用表的表盘上查出。

表 1-2 万用表的基本误差范围

测量项目	符号	基本误差/%	测量项目	符号	基本误差/%
直流电压	DCV	$\pm 1.0 \sim \pm 2.5$	交流电流	ACA	$\pm 1.5 \sim \pm 5.0$
直流电流	DCA	$\pm 1.0 \sim \pm 2.5$	电阻	Ω	$\pm 1.5 \sim \pm 5.0$
交流电压	ACV	$\pm 1.5 \sim \pm 5.0$	电平	DB	$\pm 2.5 \sim \pm 5.0$

万用表的基本误差 γ_m 只能反映仪表满刻度时的相对误差。当被测电压 $U < U_M$ 时, 可改用下式计算最大允许测量误差:

$$\gamma_M = \frac{U_M}{U} \gamma_m$$

举例说明: 设 $U_M = 100\text{V}$, $\gamma_m = \pm 2.5\%$, 代入上式求出绝对误差 $\Delta = \pm 2.5\text{V}$, 这表明该挡有 $\pm 2.5\text{V}$ 的固有误差。当被测电压 $U = 50\text{V}$ 时, 由式求出最大允许测量误差 $\gamma_M = \pm 5\%$ 。表 1-3 给出了最大允许测量误差与被测电压的对应关系 (γ_m 和 U_M 均为定值)。若对 γ_m 取绝对值, 即可绘出该电压挡的误差曲线, 如图 1-2 所示。由图可见, 被测电压愈接近 U_M (对应于指针偏转接近于满刻度), 测量误差愈小。当 $U = U_M$ 时 (对应于指针大约偏转 90°), 测量误差为最小值, 等于基本误差。因此在测量电压或电流时应合理地选择量程, 尽量使指针偏以满刻度位置, 以减小测量误差。

表 1-3 最大允许测量误差与被测电压的关系

被测电压 U/V	100	80	60	40	20	10	5
最大允许测量误差 $\gamma_M/\%$	± 2.5	± 3.1	± 4.2	± 6.25	± 12.5	± 25	± 50

国产 MF18 型万用表测量直流电压、直流电流和电阻的准确度均为 1.0 级, 测量交流电压、交流电流的准确度为 1.5 级, 500 型万用表的 DCV、ACV 和 Ω 挡的准确度均为 2.5 级, ACV 挡为 5.0 级。

1.2.1.2 灵敏度

万用表的灵敏度可分为表头灵敏度和电压灵敏度 (含直流电压灵敏度和交流电压灵敏度) 两个指标。

(1) 表头灵敏度 万用表所用表头的满量程值 I_g 一般为 $9.2 \sim 200\mu\text{A}$, I_g 愈小, 说明表头灵敏度愈高。高灵敏度表头一般小于 $10\mu\text{A}$, 中灵敏度表头通常为 $30 \sim 100\mu\text{A}$, 超过 $100\mu\text{A}$ 就属于低灵敏度表头。

表头灵敏度是设计万用表电路的依据, 同时也决定着万用表的电压灵敏度。与表头灵敏度相关的两个参数分别为表头的内阻和线性度。表头的内阻是指针动圈与上、下两组游丝的电阻之和。线性度是指通过表头的电流与指针偏转角度的一致程度, 它也是绘制表盘刻度的依据。

万用表大多选用磁电式表头。过去的表头属于外磁式, 并且靠宝石轴尖支撑动圈, 体积较大, 抗震性差。某些新型万用表的表头已改成内磁式张丝结构, 其优点是磁能利用率高, 能减小表头的体积, 而用张丝代替轴尖和游丝, 还可消除摩擦误差, 提高抗冲击、抗震动性, 能使表头使用寿命超过 100 万次。

(2) 电压灵敏度 万用表的电压灵敏度 S_v 等于电压挡的等效内阻 R_v 与满量程电压 U_M 的比值, 有公式

$$S_v = \frac{R_v}{U_M}$$

其单位是 Ω/V 或 $\text{k}\Omega/\text{V}$, 简称每伏欧姆数, 该数值一般标在仪表盘上。直流电压灵敏度是万用表的主要技术指标, 交流电压灵敏度受整流电路的影响, 一般低于直流电压灵敏度。例如, 500 型万用表的直流电压灵敏度为 $20\text{k}\Omega/\text{V}$, 交流电压灵敏度则降低到 $4\text{k}\Omega/\text{V}$ 。

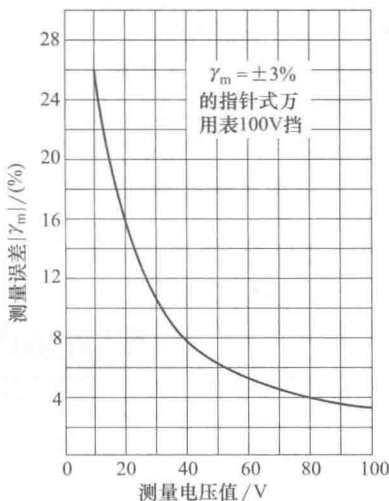


图 1-2 电压挡的误差曲线

电压灵敏度愈高,万用表的内阻(即仪表输入电阻)愈高,可以测量内阻的信号电压就越高。

电压灵敏度取决于表头灵敏度的灵敏度调整电路。如果不加灵敏度调整电路,万用表所能达到的最高电压灵敏度(S_{vH})等于表头灵敏度的倒数:

$$S_{vH} = 1/I_g$$

例如,用 $50\mu\text{A}$ 表头制成的万用表,最高电压灵敏度 $S_{vH} = 1/(50 \times 10^{-6} \text{ A}) = 50\text{k}\Omega/\text{V}$ 。若采用 $10\mu\text{A}$ 表头, S_{vH} 就能达到 $100\text{k}\Omega/\text{V}$ 。

实际上表头灵敏度总会存在一定的误差,而且 I_g 也不一定是整数值,需要对表头灵敏度进行调整。调整电路包括分压电阻和分流电阻。因此,万用表的实际电压灵敏度 $S_v \leq S_{vH}$ 。用于电子测量的万用表,应具有较高的电压灵敏度,以获得较高的等效内阻。主要用于电工测量的万用表,对电压灵敏度要求不高,但必须能测量交流电流。

知道万用表的电压灵敏度之后,利用下式很容易求出各电压挡的等效内阻 R_v :

$$R_v = S_v U_M$$

这种计算等效内阻的方法非常简单,不必考虑万用表的内部结构和电压挡的实际电路,以及 R_v 值究竟是由哪些电阻串联、并联而成的。当满量程值一定时, R_v 与 S_v 成正比。

进行电子测量时,选择高灵敏度的万用表有以下三个显著优点。

① 万用表测电压时与被测电路相并联,会产生分流作用。而电压灵敏度愈高,万用表的内阻(即仪表输入电阻)亦愈高。从被测电路上消耗的电流愈小,对被测电路工作状态的影响愈小,这样可减小测量高内阻电源电压时产生的误差。做电工测量时,因被测电源(如交流电源)的内阻很低。故可忽略万用表的分流作用,可选择低灵敏度的万用表。

② 电压灵敏度愈高,测电压时万用表所消耗的电功率 P_v 愈小。设被测电压为 U , 有关系式

$$P_v = \frac{U^2}{R_v} = \frac{U^2}{S_v U_M}$$

③ 便于设计高阻挡。因为电压灵敏度高,就意味着表头灵敏度高,很小的测试电流即可使指针作满刻度偏转,实现电阻挡的欧姆调零,在高阻挡也能采用较低的电池电压。

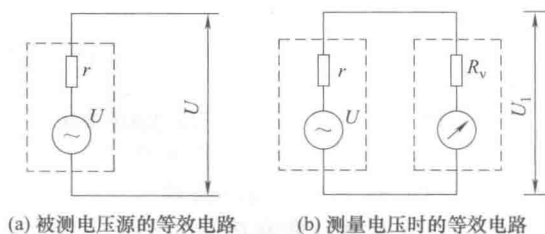


图 1-3 万用表测量电压时的电路

利用图 1-3 可分析万用表测量电压时的误差。设被测电压 U , 其内阻(或等效内阻) r 。图 1-3 (b) 图右边的虚线框内是电压挡的等效电路, 其内阻为 R_v , $\odot$ 表示内阻为零的指示计(下同)。将万用表并联在被测电路上, 设万用表读数为 U_1 , 有关系式

$$U_1 = \frac{R_v}{r + R_v} U$$

相对测量误差为

$$\gamma_v = \frac{U_1 - U}{U} 100\% = \frac{\frac{R_v}{r + R_v} U - U}{U} 100\% = -\frac{r}{r + R_v} 100\% = -\frac{1}{1 + \frac{R_v}{r}} 100\%$$

式中的 $\gamma_v < \gamma$, 表明 $U_1 < U$, 即测量值比实际电压值偏低。随着比值 R_v/r 的增大, 相对误差的绝对值 $|\gamma_v|$ 会减小。图 1-4 所示的相对误差曲线分别给出 $R_v/r = 1, 10, 100$ 这

三种情况下的 γ_v 值。由图可见, 当被测电源电压的内阻较低, 满足 $R_v \geq 100r$ 之条件时, $|\gamma_v| < 1\%$, 测量误差可忽略不计。但是当被测电路的内阻很高, 可以同 R_v 相比时, 会产生很大的测量误差。由此可得出以下三条结论。

① 若两块万用表所选择的量程相同而电压灵敏度不同, 那么用它们分别测量同一个高内阻电源电压时, 电压灵敏度高的那块表测量误差较小。

② 对同一块万用表而言, 电压量程愈高, 内阻愈大, 所引起的测量误差就愈小。

举例说明。假定万用表直流电压灵敏度为 $20\text{k}\Omega/\text{V}$, 被测直流电压 $U=10\text{V}$, 内阻 $r=200\text{k}\Omega$ 。代入式得到 $U_1=U/2=5\text{V}$, 再由式求出 $\gamma_v=-50\%$ 。第二次测量改用 50V 挡, 该挡内阻达 $1\text{M}\Omega$, 由此可求出 $U_1=8.33\text{V}$, $\gamma_v=-16.7\%$ 。

这表明, 为了减小测量高内阻电源电压的误差, 有时宁可选择较高的电压量程, 以增大万用表的内电阻。当然量程也不宜选得过高, 以免在测量低电压时因指针偏转角度太小而增加读数误差。对于低内阻的电源电压 (例如 220V 交流电源), 可选用电压灵敏度较低的万用表进行测量。换言之, 高灵敏度万用表适合于电子测量, 而低灵敏度万用表适合于电工测量。

③ 当万用表电压挡的内阻比被测电源的内阻大 100 倍以上时, 就不必考虑万用表对被测电源的分流作用。

1.2.1.3 电流挡内阻

理想情况下, 电流表的内阻 R_1 应等于零, 但实际上却做不到。由于 R_1 的存在, 使用万用表测量电流时必然有一定的电压降, 从而产生测量误差。

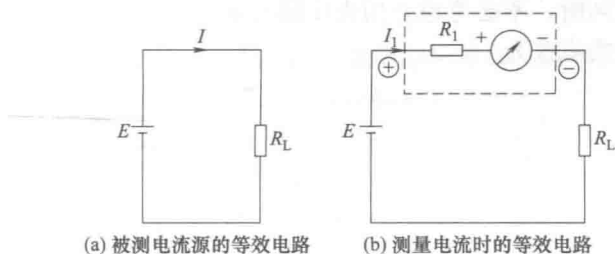


图 1-5 万用表测量电流时的电路

利用图 1-5 可分析万用表测量电流时产生的误差。设电源电压为 E , 其内阻可忽略不计, R_L 为负载电阻, 图 1-5 (b) 图中的虚线框内为直流电流表的等效电路, 其内阻为 R_1 , $\odot$ 表示内阻为零的指标计, $\oplus$ 和 $\ominus$ 分别表示万用表的正、负极插孔 (下同)。被测电流为

$$I = \frac{E}{R_L}$$

接上电流表后电流变成 I_1 , 有关系式

$$I_1 = \frac{E}{R_L + R_1}$$

相对误差

$$\gamma_1 = \frac{I_1 - I}{I} 100\% = \frac{\frac{E}{R_L + R_1} - \frac{E}{R_L}}{\frac{E}{R_L}} 100\% = -\frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_1}} 100\%$$

式中的 $\gamma_1 < 0$, 表示 $I_1 < I$, 即测量值比实际电流值偏低, 而且 R_1 值愈小, 相对误差的绝对值 $|\gamma_1|$ 也愈小。图 1-6 所示的误差曲线上分别给出 $R_1/R_L=0.01$ 、 0.1 、 1 三种情

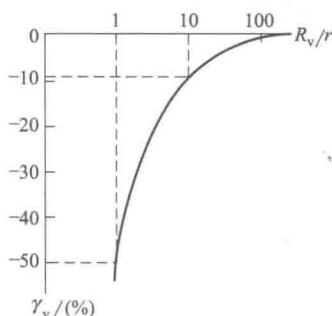


图 1-4 测量电压时的相对误差曲线