



杜虎林 编著

指针式万用表

实用测量技法 与故障检修

人民邮电出版社
www.pptph.com.cn

指针式万用表实用测量技法与故障检修

杜虎林 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

指针式万用表实用测量技法与故障检修/杜虎林编著. 北京:人民邮电出版社,2002.1

ISBN 7-115-09637-6

I. 指... II. 杜... III. ①复用电表,指针式-使用②复用电表,指针式-检修
IV. TM938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 064366 号

内 容 提 要

本书是一本比较全面地介绍指针式万用表的结构原理、测量技法与故障检修的实用技术读物。全书共分 7 章,第一章介绍万用表的基本原理和主要参数;第二章介绍万用表的常规使用方法与选购知识;第三章介绍万用表的变通使用技巧;第四章介绍用万用表检测 139 种电子元器件的实用方法;第五章介绍万用表的功能扩展与改进;第六章介绍万用表附加测量装置的制作;第七章介绍万用表的故障检修;附录部分介绍万用表表笔改造的小窍门。全书内容丰富,资料翔实,实践性强,通俗易懂。

本书可供家电维修人员、电子爱好者及有关工程技术人员阅读。

指针式万用表实用测量技法与故障检修

◆ 编 著 杜虎林

责任编辑 唐素荣

◆ 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@pptph.com.cn

网址 <http://www.pptph.com.cn>

读者热线:010-67129212 010-67129211(传真)

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京朝阳隆昌印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/16

印张:29.5

字数:714 千字

2002 年 1 月第 1 版

印数:1-5 000 册

2002 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-09637-6/TN·1770

定价:37.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

前 言

指针式万用表(以下简称万用表)是电子测量最实用的仪表。实践证明,万用表确实无愧于“万用”之冠。用它除了可以进行各项常规电参数的测量外,还能用来检测百余种电子元器件的优劣;将万用表功能加以扩展应用或为其配以附加测量装置,在某些情况下甚至可以替代专用测量仪器。古人云,“工欲善其事,必先利其器”,这话颇具哲理。对于电子工程技术人员及电子爱好者来讲,所谓的“事”,便是电子实践活动,而基本的“器”,便是万用表。操作使用万用表,看似简单,实则不然,其中大有奥妙可言。要想学会更巧妙、更有效、更得心应手地使用万用表,必须下一番功夫才行。而一旦熟练掌握了万用表的测量技法,将使家电维修、电子制作等工作取得事半功倍的效果。为了帮助家电维修人员、电子工程技术人员、电子爱好者全面系统地掌握万用表的原理、测量技法及维修等方面的知识,特编著此书。

本书第一章介绍万用表的基本原理和主要参数;第二章介绍万用表的常规使用与选购方法;第三章介绍万用表的变通使用技巧;第四章介绍用万用表检测 139 种电子元器件的实用方法;第五章介绍万用表的功能扩展与改进;第六章介绍万用表附加测量装置的制作;第七章介绍万用表的故障检修;附录部分介绍万用表表笔改造的小窍门。全书内容丰富、实用,资料翔实、系统,适用性强。既适合初学者阅读,也适合有一定电子基础知识的读者使用。通过阅读本书,读者不仅能学会正确操作万用表的一般方法,而且还可以解决在使用与维修万用表时所遇到的各种技术问题。同时,读者还可以将书中所述测量方法灵活运用,在自己的维修实践、电子制作中开拓思路、举一反三,使万用表这只“器”更加“锋利”,真正成为自己手中的得力工具和助手。

编著本书参阅了大量电子书籍和刊物,为此,向有关作者及出版单位表示衷心的感谢。

此外,编著本书得到了许多同志的热情帮助。叶庆道、华锡明、安昌吉、陈志海、雷彬同志提供了部分参考资料;黄新悦、张明泉、任炳业、段颖、段亚聪、刘东、刘学、李斌、李苗、杜树青、牡丹、宋春泽等同志协助完成了书稿的录入及校对工作;宋双、顾守仁、蒋廷武等领导同志对笔者给予了真诚的鼓励和支持。在此,向上述同志一并致谢。

在编著本书的过程中,尽管笔者做了大量试验,进行了各种实试验证,但由于水平有限,疏漏与不妥之处在所难免,敬请广大读者不吝指正。

杜虎林

目 录

第一章 万用表的工作原理与主要参数	1
§ 1.1 万用表的表头	1
§ 1.2 万用表的测量电路	4
§ 1.3 万用表表头参数	14
§ 1.4 万用表主要参数	14
第二章 万用表的常规使用与选购	17
§ 2.1 万用表的测量范围	17
§ 2.2 万用表的操作面板及字符含义	18
§ 2.3 万用表使用十点安全注意事项	22
§ 2.4 万用表电流挡的使用	24
§ 2.5 万用表电压挡的使用	25
§ 2.6 万用表电阻挡的使用	29
§ 2.7 万用表 $D\Omega$ 挡的使用	31
§ 2.8 万用表 h_{FE} 挡的使用	32
§ 2.9 万用表 dB 挡的使用	33
§ 2.10 万用表 LI 和 LV 刻度线的使用	35
§ 2.11 万用表 L 挡与 C 挡的使用	37
§ 2.12 万用表的选购	39
第三章 万用表的变通使用	46
§ 3.1 用交流电压挡应急测量直流电压	46
§ 3.2 用小电流挡测量小电压	47
§ 3.3 用万用表测量大内阻电路的电压	47
§ 3.4 用万用表测量非正弦周期性电压	48
§ 3.5 用万用表估测音频输出功率	50
§ 3.6 用万用表测量直流开关的接触电阻	51
§ 3.7 测电阻时读出和算出电流和电压值	52
§ 3.8 用万用表测量线路空载电压与输出阻抗	53
§ 3.9 用万用表区分市电的火线与零线	53
§ 3.10 用万用表测量接地线电阻	54
§ 3.11 用万用表交流电压挡测量电器设备的绝缘电阻	54
§ 3.12 用万用表检测负氧离子浓度	56
§ 3.13 用万用表电阻挡作检修彩色电视机时的干扰信号	56

§ 3.14	用万用表测量彩色显像管的灯丝电压	57
§ 3.15	万用表 h_{FE} 插孔的妙用	57
第四章	用万用表检测 139 种电子元器件	59
§ 4.1	检测固定电阻器	59
§ 4.2	检测排电阻	63
§ 4.3	检测电位器	64
§ 4.4	检测熔断电阻器	68
§ 4.5	检测负温度系数热敏电阻 (NTC)	70
§ 4.6	检测正温度系数热敏电阻 (PTC)	72
§ 4.7	检测压敏电阻 (VSR)	75
§ 4.8	检测光敏电阻	78
§ 4.9	检测磁敏电阻	81
§ 4.10	检测湿敏电阻	82
§ 4.11	检测力敏电阻	83
§ 4.12	检测气敏电阻	85
§ 4.13	检测固定电容器	86
§ 4.14	检测电解电容器	91
§ 4.15	检测可变电容器	97
§ 4.16	检测小功率晶体二极管	99
§ 4.17	检测片状二极管	102
§ 4.18	检测玻封硅高速开关二极管	103
§ 4.19	检测 1N 系列硅整流二极管	104
§ 4.20	检测快恢复 (超快恢复) 二极管	106
§ 4.21	检测肖特基二极管	108
§ 4.22	检测半桥组件	109
§ 4.23	检测全桥组件	111
§ 4.24	检测硅柱	116
§ 4.25	检测双基极二极管 (单结晶体管)	118
§ 4.26	检测稳压二极管	124
§ 4.27	检测恒流二极管	127
§ 4.28	检测瞬态电压抑制二极管 (TVS)	129
§ 4.29	检测变容二极管	132
§ 4.30	检测双向触发二极管	134
§ 4.31	检测光电二极管	136
§ 4.32	检测单色发光二极管 (LED)	139
§ 4.33	检测电压型发光二极管 (BTV)	141
§ 4.34	检测变色发光二极管	142
§ 4.35	检测闪烁发光二极管 (BTS)	143

§ 4.36	检测红外发光二极管	145
§ 4.37	检测红外接收二极管	146
§ 4.38	检测激光二极管	149
§ 4.39	检测磁敏二极管	151
§ 4.40	检测隧道二极管(TD)	151
§ 4.41	检测高频变阻二极管	153
§ 4.42	检测中小功率晶体三极管	154
§ 4.43	检测大功率晶体三极管	165
§ 4.44	检测巨型晶体管(GTR)	168
§ 4.45	检测差分对管	170
§ 4.46	检测普通达林顿管(DT)	171
§ 4.47	检测大功率达林顿管	172
§ 4.48	检测片状三极管	174
§ 4.49	检测带阻三极管	175
§ 4.50	检测光电三极管	180
§ 4.51	检测结型场效应管(JFET)	182
§ 4.52	检测 MOS 场效应管	185
§ 4.53	检测 VMOS 场效应管	187
§ 4.54	检测单向晶闸管	191
§ 4.55	检测双向晶闸管	195
§ 4.56	检测可关断晶闸管(GTO)	201
§ 4.57	检测 BTG 晶闸管	204
§ 4.58	检测四端小功率晶闸管	206
§ 4.59	检测干簧管(DRC)	210
§ 4.60	检测光电开关	211
§ 4.61	检测光电耦合器	213
§ 4.62	检测小型电磁继电器	217
§ 4.63	检测固态继电器	220
§ 4.64	检测固态继电器组件	222
§ 4.65	检测霍尔元件	224
§ 4.66	检测霍尔传感器	225
§ 4.67	检测色码电感器	228
§ 4.68	检测中周变压器	229
§ 4.69	检测软磁铁氧体磁芯	231
§ 4.70	检测扬声器	233
§ 4.71	检测耳机	235
§ 4.72	检测压电蜂鸣片	236
§ 4.73	检测压电蜂鸣器	238
§ 4.74	检测通用运算放大器	239

§ 4.75	检测 555 时基电路	242
§ 4.76	检测反相器 CD4069	244
§ 4.77	检测高频宽带放大集成电路 μ PC1651G	245
§ 4.78	检测 $78 \times \times$ 固定正压集成稳压器	247
§ 4.79	检测 $79 \times \times$ 固定负压集成稳压器	251
§ 4.80	检测 $29 \times \times$ 低压差集成稳压器	254
§ 4.81	检测三端可调集成稳压器	255
§ 4.82	检测单片开关集成稳压器(L49 $\times \times$ 系列)	259
§ 4.83	检测 MAX6 $\times \times$ 系列 AC - DC 电压变换器	263
§ 4.84	检测 DC - DC 电压变换器(ICL7660)	264
§ 4.85	检测硅光电池	266
§ 4.86	检测电源变压器	267
§ 4.87	检测电源噪声滤波器	275
§ 4.88	检测 LED 电平显示器	277
§ 4.89	检测一位 LED 数码管	279
§ 4.90	检测多位 LED 数码管	281
§ 4.91	检测辉光数码管	284
§ 4.92	检测单色 LED 点阵显示器	285
§ 4.93	检测彩色 LED 点阵显示器	287
§ 4.94	检测电子管	289
§ 4.95	检测石英晶体	292
§ 4.96	检测驻极体话筒	294
§ 4.97	检测电容式话筒	297
§ 4.98	检测动圈式话筒	298
§ 4.99	检测导电橡胶	299
§ 4.100	检测薄膜开关	300
§ 4.101	检测推推开关	301
§ 4.102	检测直键开关	302
§ 4.103	检测杠杆式开关	303
§ 4.104	检测收录机录放开关	303
§ 4.105	检测收录机磁头	304
§ 4.106	检测收录机直流电机	307
§ 4.107	检测黑白电视机偏转线圈	309
§ 4.108	检测黑白显像管	311
§ 4.109	检测彩色显像管	313
§ 4.110	检测彩色电视机轻触选台开关	323
§ 4.111	检测彩色电视机变阻二极管	324
§ 4.112	检测彩色电视机带阻尼行输出三极管	326
§ 4.113	检测彩色电视机陶瓷滤波器和陶瓷陷波器	328

§ 4.114	检测彩色电视机亮度延迟线	331
§ 4.115	检测彩色电视机色度延迟线	333
§ 4.116	检测彩色电视机行推动变压器	333
§ 4.117	检测彩色电视机行输出变压器(FBT)	335
§ 4.118	检测彩色电视机声表面滤波器(SAWF)	343
§ 4.119	检测彩色电视机开关电源厚膜集成电路	346
§ 4.120	检测彩色电视机开关变压器	352
§ 4.121	检测彩色电视机集成电路	353
§ 4.122	检测电冰箱压缩机 PTC 元件	357
§ 4.123	检测电冰箱化霜定时器	358
§ 4.124	检测电冰箱温控器	359
§ 4.125	检测电冰箱温度传感器	359
§ 4.126	检测电冰箱双金属除霜温控器	361
§ 4.127	检测电冰箱压缩机电机绕组	361
§ 4.128	检测电冰箱电热丝元件	362
§ 4.129	检测电冰箱 65℃超温保险丝	362
§ 4.130	检测微波炉高压二极管	363
§ 4.131	检测微波炉磁控管	363
§ 4.132	检测微波炉转盘电机	365
§ 4.133	检测电风扇电机绕组	365
§ 4.134	检测吊扇调速器	366
§ 4.135	检测电烙铁芯	367
§ 4.136	检测氖灯(氖管)	367
§ 4.137	检测白炽灯泡	369
§ 4.138	检测日光灯管	370
§ 4.139	检测三相异步电动机	370
第五章 万用表功能扩展与改进		372
§ 5.1	给 500 型万用表增加直流 2.5A 量程	372
§ 5.2	将 500 型万用表 dB 挡改为直流 5A 挡	372
§ 5.3	MF52 型万用表直流电流挡扩程方法	373
§ 5.4	提高万用表直流电压挡输入阻抗的方法	373
§ 5.5	提高万用表直流电压挡灵敏度的方法	374
§ 5.6	使用万用表低电压挡测量高电压	375
§ 5.7	给万用表增设交流电流挡的方法	376
§ 5.8	将万用表 OFF 挡改为 $R \times 10k$ 电阻挡	377
§ 5.9	给万用表电阻调零旋钮增设刻度	378
§ 5.10	MF10 型万用表测试接口电路的改进	378
§ 5.11	给万用表增加声光通断测试功能	379

§ 5.12	使万用表具有蜂鸣测试功能	379
§ 5.13	提高 MF16 型万用表灵敏度的方法	380
§ 5.14	改善万用表的阻尼特性	381
§ 5.15	微功耗高压电池代用电路	382
§ 5.16	万用表直流升压器	383
§ 5.17	小型直流升压器	385
§ 5.18	高压电池替代电源	385
§ 5.19	万用表 9V 直流升压器	387
§ 5.20	MF63 型万用表改进	387
§ 5.21	给万用表加装保护二极管	391
第六章 万用表附加测量装置制作		392
§ 6.1	万用表附加测量电解电容容量刻度线	392
§ 6.2	电解电容极性测试装置	393
§ 6.3	万用表测量电容附加器	394
§ 6.4	直读式电容计	395
§ 6.5	万用表附加电容计	397
§ 6.6	大电容简易测量装置	398
§ 6.7	电解电容器损耗内阻测试器	399
§ 6.8	万用表测电容及频率的附加装置	402
§ 6.9	晶体管耐压测试装置	403
§ 6.10	稳压管测试器	404
§ 6.11	万用表晶体管 h_{FE} 测试附加器	405
§ 6.12	万用表兼作高精度晶体管 h_{FE} 测试仪	406
§ 6.13	万用表附加测试晶体管装置	407
§ 6.14	简易晶体管 f_T 特性测试器	408
§ 6.15	可自动鉴别极性的晶体管筛选器	410
§ 6.16	万用表测量行、场脉冲附加器	411
§ 6.17	万用表色度信号检查附加器	413
§ 6.18	检修彩色电视机多用检波头的制作	413
§ 6.19	万用表加装行输出变压器测试装置	414
§ 6.20	简易行输出变压器短路测试仪	415
§ 6.21	万用表测量峰峰值电压附加器	416
§ 6.22	给万用表增加逻辑测试功能	417
§ 6.23	万用表附加测温装置	418
§ 6.24	万用表附加测温仪	418
§ 6.25	万用表附加电子温度计	419
§ 6.26	万用表附加测量场强装置	419
§ 6.27	简易场强表	421

§ 6.28 简易土壤湿度测试仪	422
§ 6.29 万用表兼作照度计	422
§ 6.30 测量变压器或同轴电缆绝缘电阻附加器	423
第七章 万用表故障检修	425
§ 7.1 所有量程均失效故障的检查方法	425
§ 7.2 某一量程失效故障的检查方法	427
§ 7.3 指示不准故障的检查方法	428
§ 7.4 万用表常见故障简明速查表	429
§ 7.5 万用表常见故障检修 28 例	430
附录 表笔改造小窍门	453
§ 1 用音箱线作表笔线	453
§ 2 具有夹持功能的表笔	453
§ 3 适合测量 IC 的表笔	453
§ 4 鳄鱼夹表笔	454
§ 5 利用废旧签字笔自制表笔	454
§ 6 自制组合表笔	454
参考文献	457

第一章 万用表的工作原理与主要参数

§ 1.1 万用表的表头

表头是万用表的测量机构和指示部分。表头大多采用磁电系测量机构,它利用永久磁铁的磁场与载流线圈的相互作用来产生转动力矩。这种测量机构的气隙中具有很强的磁感应强度 B , 所以其电流灵敏度较高, 且磁感应强度比较均匀, 使读数方程为线性, 标尺刻度呈均匀分布。同时, 由于磁感应强度 B 较大, 也使这种测量机构具有很强的抗外磁干扰能力。

在磁电系测量机构中, 如果可动部分是永久磁铁, 则称为动磁式结构; 如果可动部分是载流线圈, 则称为动圈式结构。动圈式结构应用最为广泛。在动圈式结构中, 又可根据永久磁铁位于可动线圈内部、外部或者内外部都有这样三种情况, 将磁电系测量机构分为内磁式、外磁式和内外磁式三种类型。下面仅以外磁式磁电测量机构为例, 介绍其组成和工作原理。

一、外磁式磁电系测量机构的组成

外磁式磁电系测量机构主要由可动部分和固定部分组成, 其结构如图 1-1(a) 所示。固定部分是由永久磁铁③、极掌④和圆柱形铁心⑨组合在一起构成的, 它们形成了磁电系测量机构的磁路系统。永久磁铁是由磁性很强的硬磁材料制作的, 而极掌和铁芯则是由导磁性能良好的软磁材料制成的。由于环形气隙窄小而均匀, 所以在气隙中形成了一个强大而均匀的径向磁场, 如图 1-1(b) 所示。这种均匀辐射的磁场保证了载流线圈受到的转动力矩不会随它的偏转位置而改变。

可动部分是由可动线圈②、转轴①以及与转轴相连的指针⑧、游丝⑥、平衡锤⑤和调零器⑦构成。其中, 可动线圈②是一个用细导线绕在一个铝质框架上的矩形线圈, 其上下端部固定着两个轴(带轴尖), 借以把可动部分支撑在轴承里; 游丝⑥用来把电流引入可动线圈同时提供反作用力矩。两个游丝绕向相反, 其外端固定在支架上, 内端则固定在转轴上, 并与可动线圈相连。线圈的初始位置由游丝来保持。为了使可动部分的重心落在转轴上, 可以调节平衡锤⑤, 以保持整个可动部分的机械平衡。如果万用表指针的起始点不在零位, 可用位于万用表外部的调零器螺杆进行调节。调零器的一端与游丝相连, 通过改变游丝的旋紧程度, 可以进行调零操作, 使指针指在零位上。

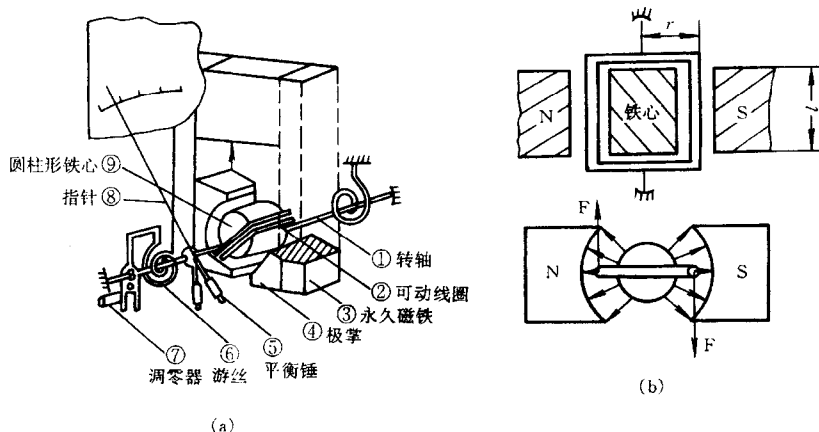


图 1-1 外磁式磁电系测量机构组成

二、磁电系测量机构的工作原理

1. 转动力矩的产生

当可动线圈中有电流通过时,电流所产生的磁场与永久磁铁的磁场相互作用,将产生电磁力 F 。电磁力的方向可用左手定则确定,每个垂直边受到的电磁力大小为

$$F = NBli \quad \dots\dots\dots (1-1)$$

式中:

F ——电磁力(单位为牛顿,用 N 表示);

N ——线圈匝数;

B ——气隙中的磁感应强度(单位为韦伯/米²,用 Wb/m^2 表示);

l ——线圈每个受力垂直边的有效长度(单位为米,用 m 表示);

I ——通过线圈的电流(单位为安培,用 A 表示)。

若转轴中心到垂直边的距离为 r [见图 1-1(b)],则整个线圈的转动力矩 M 为

$$M = 2Fr = 2NBli r \quad \dots\dots\dots (1-2)$$

式中:

M ——转动力矩(单位为牛顿·米,用 $N \cdot m$ 表示);

r ——可动线圈转轴中心到垂直边的距离(单位为米,用 m 表示)。

由于线圈包围的面积为

$$S = 2lr(m^2)$$

则转动力矩为

$$M = NBS$$

上式中的 NBS 在仪表制成以后均为固定值,所以转动力矩 M 的大小仅与被测电流 I 成正比。但是,可动线圈在偏转时若没有反作用力矩,就不能分辨转动力矩的大小(也就是电流 I 的大小)。所以,测量机构的稳定偏转,还将取决于游丝产生的反作用力矩与转动力矩的平衡。

2. 反作用力矩的产生

当可动线圈偏转时,游丝被旋紧,并产生相反方向(即与可动线圈偏转方向相反)的力矩,

称为反作用力矩。线圈偏转角度越大,游丝被扭得越紧,它产生的反作用力矩就越大。因此,反作用力矩的大小正比于线圈的偏转角,可用下式表示

$$M_a = D\alpha \quad \cdots \cdots \cdots (1-3)$$

式中:

M_a ——反作用力矩(单位为牛顿·米,用 $N \cdot m$ 表示);

α ——线圈(即指针)的偏转角;

D ——游丝的反作用力矩系数,其大小由游丝的材料性质、形状和尺寸决定。

当反作用力矩和转动力矩大小相等时,力矩平衡,指针停止偏转,这时指针的偏转角 α 可以通过力矩平衡方程式来得到,即

$$\begin{aligned} M &= M_a \\ NBSI &= D\alpha \\ \alpha &= \frac{NBS}{D}I = S_I I \quad \cdots \cdots \cdots (1-4) \end{aligned}$$

式中, $S_I = \frac{\alpha}{I}$ 称为测量机构的灵敏度,它的大小取决于仪表的结构参数,对某一个仪表来说,它是一个常数。由上式可见,指针偏转角 α 正比于流过线圈的电流 I ,因此,磁电系仪表可以用来测量电流,也可以通过测量线路的变换,测量电压或其他电量。

3. 阻尼力矩的产生

当万用表的可动部分到达平衡位置时,由于惯性,可动部分不会立即停下来,还要在平衡位置附近往复摆动一段时间才能稳定下来。为了能尽快取得读数,测量机构中通常都设有阻尼装置,用以产生阻尼力矩,吸收摆动能量,使可动部分迅速在平衡位置处稳定下来。显然,阻尼力矩只在可动部分运动时发生作用,一旦运动停止,阻尼力矩立即消失。阻尼力矩的方向总是和可动部分运动的方向相反。

磁电系测量机构大多利用绕制线圈的铝框来产生阻尼力矩,如图 1-2 所示。当线圈铝框在磁场中运动时,闭合的铝框切割磁力线,产生感应电流 i_e ,其方向可用右手定则判定。 i_e 和永久磁铁的磁场相互作用,产生电磁力 F_e ,其方向可由左手定则判定。与 F_e 相对应的力矩就是阻尼力矩 M_e 。由图 1-2 可见,阻尼力矩的方向与铝框运动方向正好相反,因此能够使指针平稳地停在读数位置上。

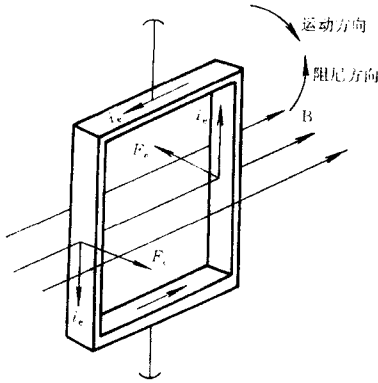


图 1-2 阻尼力矩的产生

三、表头

万用表的表头多采用高灵敏度的磁电系测量机构。图 1-3 给出了一个实际的万用表表头的结构图,它与图 1-1 所示的外磁式磁电系测量机构基本相同。只是作为万用表的表头,它的可动线圈是用很细的漆包线(48 号左右)绕在铝框上,这个线圈的电阻就是表头的内阻。表头的满刻度偏转电流一般为几微安到几百微安,它的满偏电流就用来表示万用表的灵敏度。满偏电流越小,灵敏度就越高,测量电压时的内阻就越大。例如,常用的 500 型万用表的表头

满偏电流为 $40\mu\text{A}$,测电压时内阻为 $20000\Omega/\text{V}$ 。表头本身的准确度一般都在 0.5 级以上,做成万用表后可达 5 级以上,有的可达到 1.0 级。表头的刻度盘上标有多种刻度尺,可直接读出被测量。

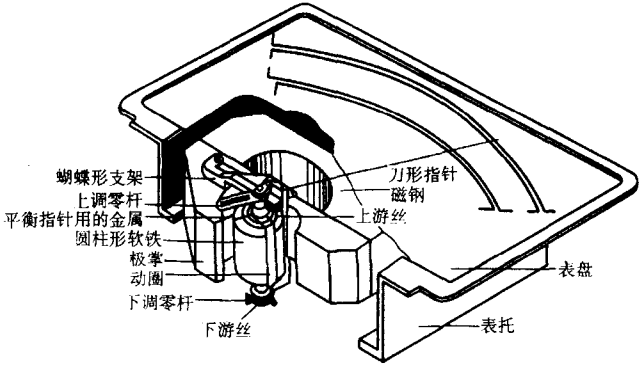


图 1-3 万用表表头结构示例

§ 1.2 万用表的测量电路

测量电路是万用表的重要组成部分,其作用是将各种不同的被测电量转换成能够为磁电系测量机构所接受的直流电流。万用表的测量电路,实质上是由多量程直流电流表、多量程直流电压表、多量程交流电压表和多量程欧姆表等若干种电路组合而成。下面分别介绍万用表各挡常用测量电路的结构及参数计算方法。

一、直流电流挡

万用表的直流电流挡,实际上是一个多量程的直流电流表。磁电系测量机构虽然能直接用来测量直流电流,但机构中可动线圈能够允许通过的电流是有限的,通常为 $20 \sim 50\mu\text{A}$,最大不超过 $100 \sim 300\mu\text{A}$ 。在实际应用中,不仅要求万用表的电流挡能测量较大的电流(如 5A),而且要有多个量程。要测量较大的电流,就必须要在测量机构的两端并联分流电阻;而要设置多个量程,则需要并联多个分流器。

1. 开路式分流器

开路式分流器的电路形式如图 1-4 所示。在图 1-4(a)所示的分流电路中,各量程具有单独的分流电阻,各量程互不影响,因此调整方便。但由于转换装置的接触电阻包括在测量电路之内,而这种接触电阻是不稳定的,所以会给电流表带来较大的不稳定误差。

图 1-4(b)是开路式分流器的另一种形式。在这个电路中,分流电阻 R 固定不变,通过改变与测量机构串联的附加电阻 r_1 、 r_2 、 r_3 的

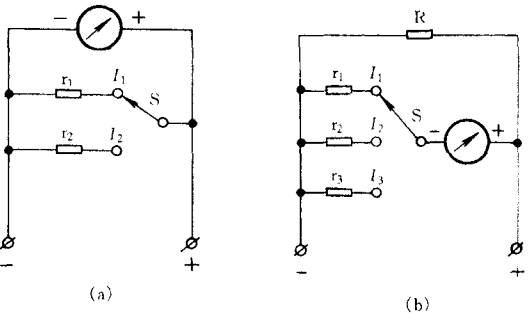


图 1-4 开路式分流器

阻值即可获得不同的电流量程。这种电路由于转换装置的接触电阻是串联在表头支路上,而一般这个支路的总电阻较大,因而接触电阻对测量电路的影响不大可忽略不计;同时,量程的改变对测量电路电阻的影响也不大。但随着附加电阻的增加,功耗在增加。开路式分流器的实际应用比较少。

2. 闭路式分流器

这种分流器又称为环形分流器,是一种应用比较广泛的分流器。所谓闭路式分流器,是指在转换量程的过程中,基本分流器不使表头的电路断开。根据其转换方式,又可分为端钮式、插塞式和转换开关式,分别参见图 1-5(a)、(b)、(c)所示。

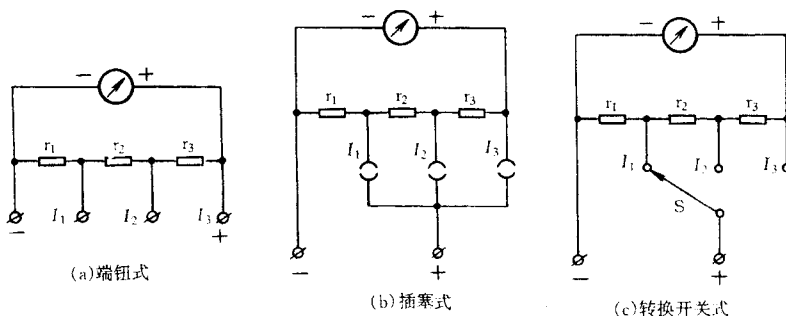


图 1-5 闭路式分流器

环形分流器的优点是:分流器与仪表的测量机构形成一个闭合回路,量程转换开关的接触电阻不会影响仪表的准确度。它的缺点是:若其中某一量程的电阻出现故障,则会不同程度地影响其他各个量程,给调整带来一定的困难。

下面以图 1-6 所示的环形分流器为例,介绍多量程分流器的计算方法。由图 1-6 可知

$$I_m R_i = (I_1 - I_m) R_1$$

$$R_1 = \frac{R_i I_m}{I_1 - I_m} \dots \dots \dots (1-5)$$

$$I_m R_i = I_1 R_1 - I_m R_1$$

$$I_m (R_i + R_1) = I_1 R_1$$

$$I_m = \frac{R_1}{(R_i + R_1)} I_1 \dots \dots \dots (1-6)$$

同理

$$I_m (R_i + r_1) = (I_2 - I_m) R_2$$

$$I_m R_i + I_m r_1 + I_m R_2 = I_2 R_2$$

$$I_m (R_i + r_1 + R_2) = I_2 R_2$$

而

$$r_1 + R_2 = R_1$$

则有

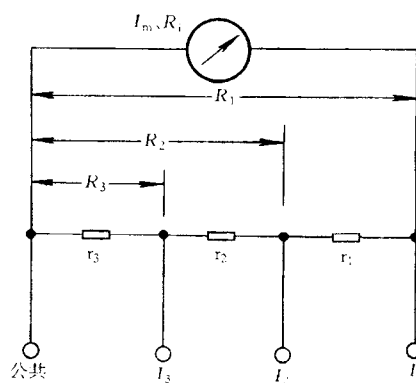


图 1-6 环形分流器计算举例

$$I_m(R_i + R_1) = I_2 R_2$$

$$I_m = \frac{R_2}{(R_i + R_1)} I_2 \dots\dots\dots (1-7)$$

以此类推,得

$$I_m = \frac{R_3}{(R_i + R_1)} I_3 \dots\dots\dots (1-8)$$

合并(1-6)式、(1-7)式、(1-8)式,得

$$\frac{R_1}{R_i + R_1} I_1 = \frac{R_2}{R_i + R_1} I_2 = \frac{R_3}{R_i + R_1} I_3$$

消去 $R_i + R_1$,则有

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 \dots\dots\dots (1-9)$$

此公式可推广至

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = \dots\dots\dots = I_n R_n$$

若已知 I_m 、 R_i 、 I_1 ,即可用(1-6)式求出 R_1 ,然后用(1-9)式算出 R_2 、 R_3 …… R_n 各电阻值,其他各电阻值则为

$$r_3 = R_3, r_2 = R_2 - r_3, r_1 = R_1 - R_2$$

计算举例。现给定一个微安表头,其满偏电流 I_m 为 $100\mu A$,内阻 R_i 为 $2.5k\Omega$,要求电流挡的量程分别为 $1mA$ 、 $5mA$ 和 $10mA$,计算各电阻的数值。

将已知数值代入相关公式后计算如下

$$R_1 = \frac{R_i I_m}{I_1 - I_m} = \frac{2500 \times 10^{-4}}{10^{-3} - 10^{-4}} = 277.778(\Omega)$$

根据 $I_1 R_1 = I_2 R_2$,则有

$$R_2 = \frac{I_1}{I_2} R_1 = \frac{1}{5} \times 277.778 = 55.556(\Omega)$$

$$R_3 = \frac{I_1}{I_3} R_1 = \frac{1}{10} \times 277.778 = 27.778(\Omega)$$

$$r_3 = R_3 = 27.778(\Omega)$$

$$r_2 = R_2 - r_3 = 55.556 - 27.778 = 27.778(\Omega)$$

$$r_1 = R_1 - R_2 = 277.778 - 55.556 = 222.222(\Omega)$$

在选用电阻时,应注意其耗散功率要足够大,以免电阻过热引起阻值的变化,造成测量误差。

二、直流电压挡

从原理上来讲,每个测量机构本身就是一个小量程的电压表。例如,磁电系测量机构本身的电压量程是 $U_0 = I_m R_i$,其中, I_m 为该测量机构的满偏电流值, R_i 是该测量机构的内阻,若 $I_m = 100\mu A$, $R_i = 2.5k\Omega$,则其电压量程即为 $U_0 = 250\mu V$ 。但是,因为由测量机构本身单独构成的电压表的电阻会随着环境温度的改变而改变,将严重影响转换的准确度,而且其量程太小,所以实用意义不大。

在实际应用中,一般采用与该测量机构串联适当的附加电阻 R 的办法来构成电压表,如