

实用
万用
电表
检修

实用 万用电表 检修

● 李保宏 编著



TM938-17

版
社

人民邮电出版社

TM938.17

L19

355130

实用万用电表检修

李保宏 编著



人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是在吸取前人经验的基础上,通过作者多年工作实践,总结归纳写成的一本实用修理参考书。书中介绍了一套实用有效的修理方法,明确而又系统地将表头机械故障和电气故障区别开来。对表头磁场强度、动圈匝数变化后的表头修理做了详尽的阐述,这对渴望全面了解万用电表表头修理的读者,会有很大帮助。其次还介绍了如何处理电路故障、元件选用、制作、焊接知识等。介绍的修理方法有标准修理法、一般修理法、简易修理法,可适用于不同读者的需要。

本书作者汇集的《普及型万用电表图集》与本书同时出版。该书共汇集了 75 种万用电表的电路图和简要说明,其中包括国产模拟万用电表、进口模拟万用电表和部分普及型数字万用电表,是万用表维修、使用人员不可缺少的工具书。



人民邮电出版社出版发行

北京东长安街 27 号

中国铁道出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:787×1092 1/16 1991 年 8 月 第一版

印张:7 24/32 页数:62 1991 年 8 月北京第 1 次印刷

字数 192 千字 印数:1—40 000 册

ISBN7-115-04500-3/TN·460

定价:4.60 元

前 言

随着祖国电子技术的发展,人们愈来愈觉得要掌握电子技术,不能没有万用电表。电工需要它,电子技术研究、应用方面的技术人员需要它,业余无线电爱好者需要它。

为了充分发挥万用电表的作用,许多使用人员希望自己能处理一般故障,一来减轻修理门市部的负担,二来免去送修带来的费工、费钱、误事之苦恼。维修万用电表的人员希望能有一本较为系统的专业资料手册。很多人曾经为此作出了努力。但是,随着科学技术的不断进步,万用电表的修理方法也在不断改进。本书若能承前启后,基本满足广大的仪表修理人员和使用人员的渴求,也算是作者的荣幸。

本书力求简明扼要,通俗易懂。在本书介绍的修理方法中,有标准修、一般修、简易修法,读者可根据自己现有的条件,选择合适的检查、修理和检定方法。如果修理中需要万用电表的电路原理图作向导时,请查阅本书的姊妹篇《普及型万用电表图集》,其中有普通万用电表,运放万用电表、普及型数字万用电表的电路原理图和简要说明。

本书初稿完成后,华东工学院彭国琳副教授,上海第四电表厂庄尧永,江苏省仪器仪表学会郑国胜等同志进行了认真的审阅,并提出了许多宝贵意见。

在编写过程中,曾得到哈尔滨电工仪表研究所顾维均,南京铁路分局高级工程师高云卿,南京铁路运输学校陈振华、丁文祥,上海铁路局陈先锋、詹正之和南京电表厂王元恺等同志的帮助和关心。

在初稿整理中,曾得到薛梅萍等同志的帮助,在稿件修改中,山东大学吉俊涛阅读了全稿并提出了修改意见。

在此,我对所有审阅本书并提出宝贵意见,以及在编写、出版过程中曾给予热情帮助、支持和关心的同志们,表示衷心的感谢!

由于我水平有限,书中错误和不妥之处,在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

1987年4月

目 录

1. 万用电表的一般知识	1
1.1 万用电表的表头	1
1.1.1 表头结构简介	1
1.1.2 表头的作用原理	6
1.1.3 表头可动部分的惯性力矩、阻尼力矩、摩擦力矩	7
1.2 万用电表中二极管的应用	9
1.2.1 万用电表中的半波整流电路	9
1.2.2 万用电表中的全波整流电路	9
1.2.3 交流电流平均值与仪表指针偏转角	10
1.3 普通万用电表测量电路	13
1.3.1 直流电流、电压测量电路	13
1.3.2 交流电流、电压测量电路	16
1.3.3 电阻测量电路	19
1.3.4 其它参数测量电路	21
1.4 运放万用电表测量电路	22
1.4.1 集成运算放大器	22
1.4.2 运放万用电表的典型电路	25
1.4.3 运放万用电表的典型电路分析	33
1.4.4 运放万用电表用变换器	34
1.5 万用电表的技术性能及其误差的计算	39
1.5.1 万用电表的技术特性	39
1.5.2 误差的定义及其计算	40
2. 万用电表的维修	45
2.1 万用电表修法概要	45
2.1.1 万用电表的检修步骤	45
2.1.2 故障寻查方法	46
2.1.3 故障处理方法	47
2.2 表头机械故障的修理	47
2.2.1 卡表与不平衡故障的处理	47
2.2.2 指示变差故障的处理	51
2.2.3 示数装置误差的处理	54
2.2.4 表头拆装	55
2.3 表头电气故障的处理	59

2.3.1 表头灵敏度下降的原因及处理	59
2.3.2 永磁体的磁化与老化稳定	60
2.3.3 磁场强度衰减后游丝力矩的选择	65
2.3.4 动圈匝数变化后游丝力矩的选择	67
2.3.5 动圈短路或断路时的故障处理	68
2.4 普通万用电表测量电路的修理	71
2.4.1 直流电流挡故障的检查与修复	71
2.4.2 直流电压挡故障的检查与修复	76
2.4.3 交流电压挡故障的检查与修复	78
2.4.4 电阻测量电路故障的检查与修复	81
2.5 元件制作与焊接	83
2.5.1 电阻元件的采用与制作	83
2.5.2 焊接基本知识	87
2.5.3 其它内容的修理	89
3. 调试与检定	93
3.1 静电影响误差与消除	93
3.1.1 有机玻璃面板产生静电的条件	93
3.1.2 静电作用及其影响	94
3.1.3 静电的判断和消除	95
3.2 测量电路的调试	95
3.2.1 表头参数的测定	96
3.2.2 普通万用电表测量电路调整	98
3.2.3 运放万用电表测量机构调整	100
3.3 万用电表的检定及其使用装置	100
3.3.1 万用电表的检定	101
3.3.2 检定用装置与接线方法	105
参考书目	108
附录 1. 本书主要文字符号表	109
附录 2. 修理万用电表常用工具	111
附录 3. 康铜锰铜合金线线材规格及漆膜厚度(高强度聚脂漆)	112
附录 4. 表头动圈常用漆包铜线参考数据表	113
附录 5. 各型万用电表表头参数	114
附录 6. 电工仪表产品型号类组表	116
附录 7. 修理工作台尺寸示意图	118

1 万用电表的一般知识

万用电表简称万用表,又称三用表、繁用表和复用表,国家标准中称为复用表。

万用电表的发展已有一百多年的历史了。它起初是一只多量程的安培表;或者是多量限的电压表;或者是多量限的欧姆表。后来将这三种多量限仪表合为一体,共用一只表头。在此基础上,又派生了电容、电感、功率、电平、三极管的静态放大系数等测量项目。由于它的用途多而被称为万用电表。为了区别不同形式的万用电表,本书将上述结构的万用电表划分为第一代万用电表,下称普通万用电表。

在普通万用电表的基础上,采用集成运算放大器构成的万用电表,彻底改变了仪表性能完全取决于表头满偏转电流的限制,使仪表在被测量远低于表头满偏转电流时,仍能获得准确读数。它是第二代万用电表,下称运放万用电表。

电子技术的应用,给模拟万用电表(普通万用电表与运放万用电表的统称)带来了深刻的变化。随即应运而生的袖珍式数字万用电表已进入市场,它彻底脱离了古典的指针式表头,使万用电表的面貌为之一新,这里称它为第三代万用电表,通称数字万用电表。

随着科学技术的发展,应用微处理机构成的第四代万用电表——智能万用电表,已进入科研和自动化测量领域,它的普及应用在不久的将来就会实现。

万用电表虽然在向数字化、智能化方向发展,但是由于模拟万用电表具有结构简单,读数方便,可靠性高,价格便宜等特点,在相当长的时间内,它仍然在显示其独有的地位。从这一点出发,本书以成熟的指针式仪表为基础,对常见的模拟万用电表的表头结构作了些介绍;分析了二极管在万用电表中的应用;对普通万用电表的测量电路作了简要汇集;对运放万用电表电路作了较详细的讨论;其次还就万用电表的技术性能及其误差的计算作了叙述。掌握这些知识,对理解仪表电路工作原理及分析仪表故障现象,将起到很好的作用。

1.1 万用电表的表头

1.1.1 表头结构简介

模拟万用电表的表头由四部分组成,即可动部分、固定部分、磁系统、读数装置。其结构如图 1—1 所示。

一、可动部分

可动部分的支撑方式,常见的有二种:轴尖轴承式和张丝弹片式。轴尖轴承式由动圈、轴尖座、指针支持、游丝等组成。张丝弹片式由动圈、张丝座、弹片,指针支持、张丝等所组成。动圈是用高强度漆包铜线绕制成矩形线圈(线径一般在 0.02mm 到 0.05mm 之间),用以通过一定的电流。指针支持,用以联接指针和纠正重力矩;指针支持上的小焊片用作动圈引线连接和游

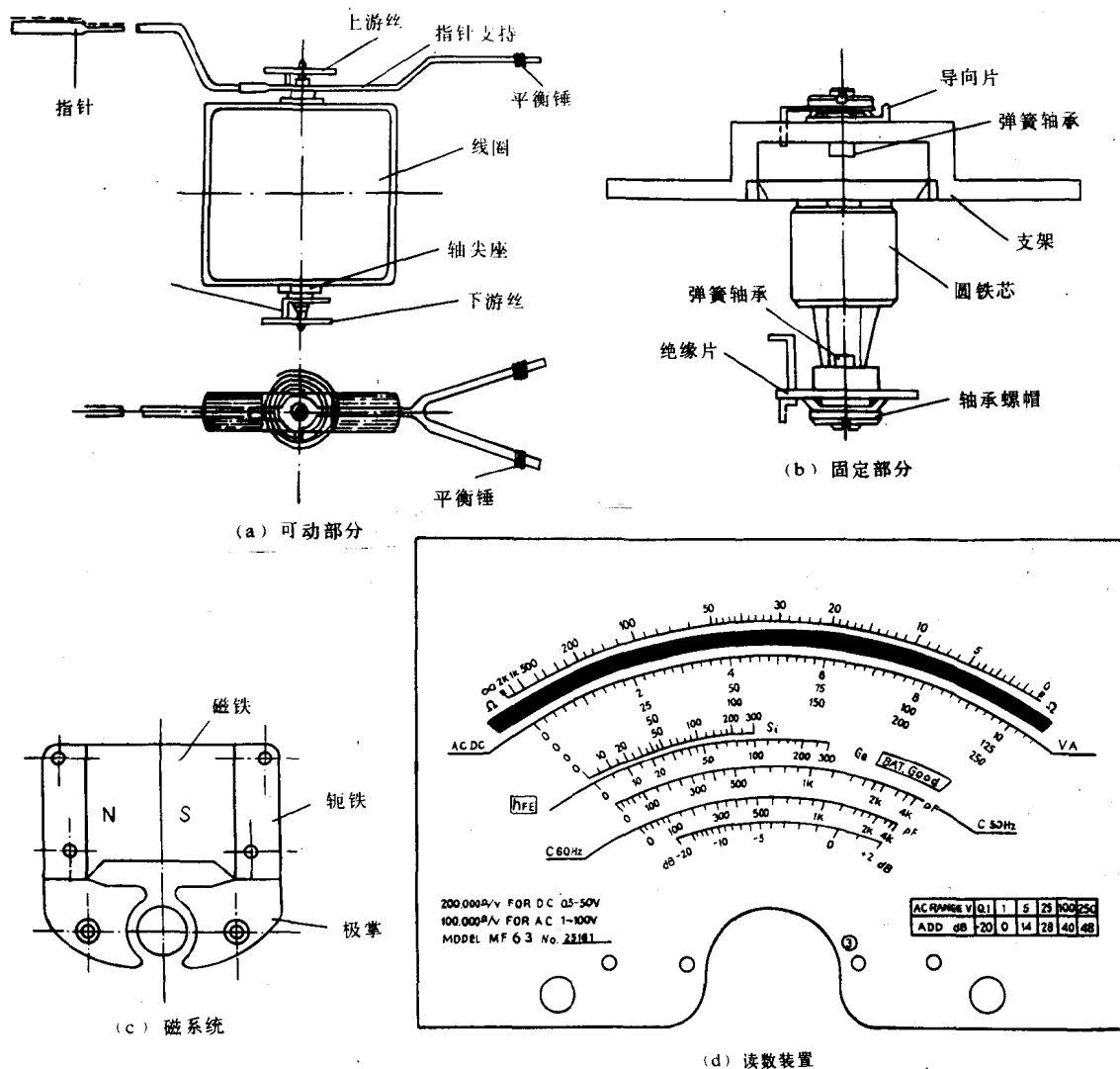


图 1-1 磁电系表头主体结构示意图

丝或张丝焊接；指针支持常见的有“+”字形和“Y”字形两种。还有一种“*”字形结构，但国内尚少见，在进口的万用电表中有这种结构的。轴尖座、张丝座均用不易氧化的逆磁性材料制成。游丝通常用磷青铜、锡锌青铜和隔青铜等材料制成。张丝通常用锡锌青铜、铍青铜、铍钴铜和铂镍合金等材料制成。张丝、游丝不仅用以产生反作用力矩和自动返零，还作为动圈与外接导线的媒介。

二、固定部分

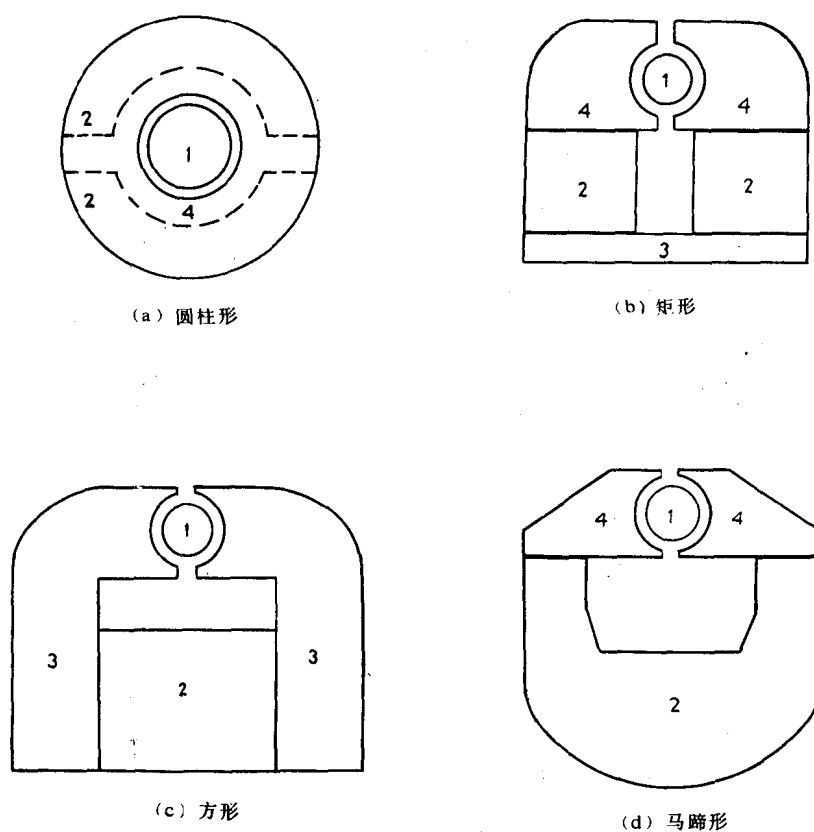
轴尖轴承式的固定部分由支架、弹簧宝石轴承螺钉、导向片、绝缘片等组成。弹簧宝石轴承装在支架的上下中心位置，作为活动线圈的支撑之用。张丝弹片式的固定部分与轴尖轴承式的固定部分其不同之处是：弹片和张丝一起支撑仪表的可动部分。张丝的工作弹力靠弹片来维持；弹片还对张丝起减震作用。弹片的形状有S形的、弧形的、平面形的。弹片一般由磷青铜、

锡锌青铜、铍青铜等材料制成。

支架用铝合金或塑料浇制而成；圆柱形铁芯一般用低碳钢制成，它与支架轴线中心同心。圆柱形铁芯与支架组合，常采用压接和螺钉固定二种方法。导向件用作焊接上、下游丝外端头，通过接线引入电流，又作为机械调零用。绝缘片用作动圈的引出线与支架的绝缘，以免“+”、“-”引出线相连发生短路。

三、磁系统

表头磁钢由永久磁铁和低碳钢(或粉末合金)制成的轭铁、极掌等组成。按磁路构成有内磁式和外磁式二种。磁钢的形状有马蹄形、方形、矩形、圆柱形等，各种形状的磁钢示于图 1—2。



1. 动圈铁芯 2. 永久磁铁 3. 轭铁 4. 极掌

图 1—2 各种形状的表头磁钢

不同型号的万用电表，所采用的磁性材料有相同的，也有不同的。目前常见的有：铝镍铁、铝镍钴和铝镍钴钛等牌号。

任何一种磁铁均有三个重要参数：

1. 磁铁的剩余磁感应强度 B_r 。 B_r 决定磁场的强弱，直接影响仪表的灵敏度。 B_r 的单位在 SI 国际单位制中是韦伯/米² (Wb/m²)，即特斯拉 (T)。而在高斯单位制中是高斯 (Gs)，它们之间的关系为

$$1(\text{Wb}/\text{m}^2) = \frac{10^8(\text{Mx})^{①}}{10^4(\text{cm}^2)}$$

$$= \frac{10^4(\text{Mx})}{(\text{cm}^2)} = 10^4(\text{Gs})。$$

2. 磁矫顽力 H_c 。 H_c 愈大剩余磁感应愈稳定,而长时间受外界因素引起的磁性衰退的变化就小,它与仪表的稳定性有密切关系。 H_c 的单位在 SI 国际单位制中用安/米(A/m),而在高斯单位制中用奥斯特(Oe)简称奥。它们之间的关系为

$$1(\text{A}/\text{m}) = 4\pi \times 10^{-3}(\text{Oe})$$

$$1(\text{Oe}) = 79.6(\text{A}/\text{m}) \approx 0.8(\text{A}/\text{cm})$$

3. 磁能积 $(BH)_m$ 。 $(BH)_m$ 表示磁铁内部 B 和 H 乘积的最大值。当气隙中的磁场强度和气隙的体积给定后,所需磁铁的体积与磁能积成反比,所以 $(BH)_m$ 大,可以使磁铁本身缩小。这不仅可以节省磁性材料,而且对仪表的小型化有着特殊的意义。

四、读数装置

通过表头的电流值经可动机构转换为偏转角指示,为使指针偏转角能够直接反映所测量值的大小,把偏转角的大小刻印在一个标度盘上,连接各点组成一条刻度线。标度尺特性有二种:均匀标度尺和不均匀标度尺。为扩大测量种类,通常在一块标度盘上印上多条刻度线,这就是万用电表的读数装置—标度盘—俗称刻度盘。通过刻度盘再结合量程转换开关的倍率,即可读出所测量值的数值的大小。

表 1—1 永磁材料磁性能表

材料	牌 号	磁性能(不小于)		
		剩磁 Br Wb/m ² (Gs)	矫顽力 Hc kA/m(Oe)	磁能积 (BH) _m kJ/m ³ (MGOe)
铸 造 铝 镍 钴	铝 镍 AlNi 9.2	0.66(6600)	27(340)	9.2(1.15)
	铝 镍 AlNi 10	0.60(6000)	36(450)	10(1.2)
	铝 镍 AlNi 10.4	0.56(5600)	38(480)	10.4(1.3)
	铝镍钴 Alnico 13	0.68(6800)	48(600)	13(1.6)
	铝镍钴 Alnico 20	0.93(9000)	52(650)	20(2.5)
	铝镍钴 Alnico 35	1.20(12000)	44(550)	35(4.4)
	铝镍钴 Alnico 40	1.25(12500)	48(600)	40(5.0)

① Mx—麦克斯韦。1Wb=10⁸(Mx)

续表

材料	牌 号	磁性能(不小于)		
		剩磁 Br Wb/m ² (Gs)	矫顽力 Hc kA/m(Oe)	磁能积 (BH)m kJ/m ³ (MGOe)
铸 造 铝 镍 钴	铝镍钴 44 Alnico	1.25(12500)	52(650)	44(5.5)
	铝镍钴 52 Alnico	1.30(13000)	56(700)	52(6.5)
	铝镍钴钽 Alnicoti	0.80(8000)	100(1250)	32(4.0)
	铝镍钴钽 Alnicoti	0.95(9500)	104(1300)	56(7.0)
	铝镍钴钽 Alnicoti	1.05(10500)	111(1400)	72(9.0)

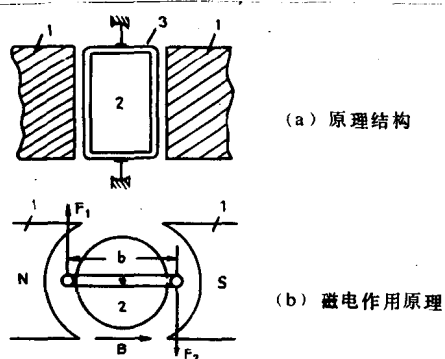
表 1—2

永磁材料物理性能表

材料	牌 号	技 术 参 数					
		可逆磁导率 μ _{rec}	居里点 T _c (°C)	比重 d (g/cm ³)	硬度 H _{RC}	B _r 温度系数 α _{B_r} (10 ⁻³ /°C)	线膨胀系数 ★ ΔL/L (10 ⁻⁶ /°C)
铸 造 铝 镍 钴	铝 镍 9.2 Alni	6.0—7.0	760	7.0	47	—0.22	13.0
	铝 镍 10 Alni	6.7—7.0	760	7.0	47	—0.22	13.0
	铝 镍 10.4 Alni	6.0—7.0	760	7.0	47	—0.22	13.0
	铝镍钴 13 Alnico	6.0—6.7	810	7.2	52	—0.14	12.4
	铝镍钴 20 Alnico	5.0	840	7.2	53	—	—
	铝镍钴 35 Alnico	4.0—5.0	890	7.3	50	—0.16	11.2
	铝镍钴 40 Alnico	2.5—4.0	890	7.3	50	—0.16	11.2
	铝镍钴 44 Alnico	2.5—4.0	890	7.3	50	—0.16	11.2
	铝镍钴 52 Alnico	2.4—3.6	890	7.3	50	—0.16	11.2
	铝镍钴钽 Alnicoti	2.4—3.6	850	7.4	59	—0.20	11.0
	铝镍钴钽 Alnicoti	2.4—3.6	850	7.4	59	—0.25	11.0
	铝镍钴钽 Alnicoti	2.0—3.2	850	7.4	59	—0.25	11.0

1.1.2 表头的作用原理

万用电表的指示机构俗称表头,它和普通的磁电式仪表相似,是以永久磁铁间隙中的磁场与载流线圈相互作用为基础的,其原理性结构如图 1—3 所示。



1. 永久磁铁 2. 软磁铁芯 3. 可动线圈

图 1—3 磁电系仪表的原理性结构示意图

将式(1—1)代入上式得到:

$$M = b \cdot BINL = ABNI \quad (1-2)$$

式中 A ——动圈的有效面积,它等于 bL ; b ——动圈的平均有效宽度。

只有转动力矩,仪表还不能显示出被测量的大小。对于具有轴尖轴承结构的仪表来说,如果只有转动力矩存在,那么不管被测量大小如何,只要它产生的转动力矩能够克服轴尖轴承的摩擦力矩,就可以使可动部分偏转到不能再偏转的位置,这当然不能显示出实际被测量。为了使仪表能够反映出被测量的大小,还必须有一个反作用力矩(又称控制力矩)。这个力矩用 M_a 表示。这个力矩的方向应该与转动力矩相反,而且应该随着偏转角 α 的增大而增大,满足下式要求:

$$M_a = F_2(\alpha)$$

当被测量值小时转动力矩也小,可动部分只要偏转一个相应的小角度,就可以使转动力矩和反作用力矩平衡而停止下来;当被测量值大时, M 也大,可动部分偏转一个较大的角度才能与反作用力矩 M_a 相等,而停止下来。这样一来就能通过指针偏转角的大小来显示被测量值的大小了。

模拟式万用电表的表头除了少数采用张丝结构外,多数是利用上、下二盘方向相反的游丝作为产生反作用力矩的元件。国家标准 GB2788—81《电测量指示仪表用游丝》规定,精密级游丝应标注为: 9×140 —QSn4—3。这里: 9×140 表示游丝外径 $r = 9\text{mm}$,自由状态扭转 90° 角时的力矩 $M = 140\mu\text{N} \cdot \text{cm}/90^\circ$; QSn4—3 表示制造游丝的材料是锡青铜。

当转动力矩 M 使动圈转动时,带动仪表可动部分偏转。与此同时,作为控制装置的游丝也扭转一个角度 α ,产生一个反作用力矩 M_a ,其大小与偏转角成正比:

$$M_a = W\alpha \quad (1-3)$$

式中 α ——活动部分偏转角, W ——游丝反作用力矩系数。它由弹簧材料性质和几何尺寸形状所决定:

$$W = E \frac{bh^3}{12l}$$

其中 E —材料弹性系数,根据材料而不同; b —游丝宽度; h —游丝厚度; l —游丝长度。

在平衡状态下,指针偏转至某一平衡位置时,可动部分静止下来,这时转动力矩与反作用力矩相等,用公式

$$M = M_s$$

表示。若将式(1—2)和式(1—3)代入上式,可得

$$ABNI = W\alpha$$

故

$$\alpha = ABNI/W \quad (1-4a)$$

如果令 $ABNI/W = S_i$,

就会得到

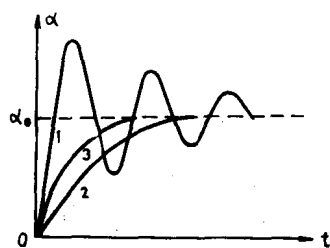
$$\alpha = S_i I \quad (1-4b)$$

式(1—4a)说明,仪表动圈的转角 α 与动圈的截面积 A 、动圈匝数 N 、磁感应强度 B 及通过动圈的电流 I 成正比,与游丝(张丝)的反作用力矩系数成反比。

式(1—4b)说明,仪表一经制成,其 A 、 B 、 N 、 W 都是定值,这时 S_i 是不随偏转角而变化的。因此,仪表动圈的转角只与通入动圈的电流大小相关。

1.1.3 表头可动部分的惯性力矩、阻尼力矩、摩擦力矩

当仪表通电后,可动部分的动能(或称为惯性力)与游丝相互作用,指针不是立即停止在平衡位置 α_0 的直线上,而是在其最终位置附近作减幅振动,见图 1—4 中的曲线 1(图中横轴代表时间,纵轴代表转角)。这样,要取得稳定后的读数就需要很长的时间。为了限制它的摆动,仪表就要设阻尼装置。但阻尼力矩必须设计合理,如果阻尼过强,将会呈现过阻尼状态(见图中曲线 2),其读数时间不但不会缩短,反而可能因为仪表指针缓慢爬行,误认为已达到平衡而读错示值。临界阻尼(见图中曲线 3),所需要的读数时间最短。但是最理想的状态是稍欠阻尼状态。因为这种状态下,仪表的指针围绕最后稳定位置稍作左右摆动后即停止,便于读数,不易引起错误判断。磁电系万用表的阻尼时间规定不得超过 4 秒。



1. 欠阻尼 2. 过阻尼 3. 临界阻尼

图 1—4 可动部分的阻尼曲线

模拟万用电表的表头,一般采用二种阻尼方式,一种是:利用永久磁铁产生的辐射磁场在铝制的框架运动时产生涡流形成阻尼力矩,称为框架阻尼;另一种是:在表头动圈的引出线正、负端并联一定数值的电阻来达到阻尼的方法。因为它只有线绕动圈而无框架,通常称其为无框架阻尼。这二种阻尼的原理都一样,都是依靠可动部分偏转时产生的反电动势被短路后形成的反力矩。

1. 有框架阻尼

假设当仪表的可动部分以角速度 ω 向顺时针方向偏转时,动圈框架要切割磁力线,如图 1—5。根据右手定则,在此动圈框架中必然感应出图示方向的涡流,此涡流反过来与永久磁铁的磁通相互作用,按左手定则而产生一个与动圈框架运动方向相反的作用力 F_f ,它阻止动圈来回摆动,促使动圈很快静止下来。这个力形成的阻尼力矩可用公式表示:

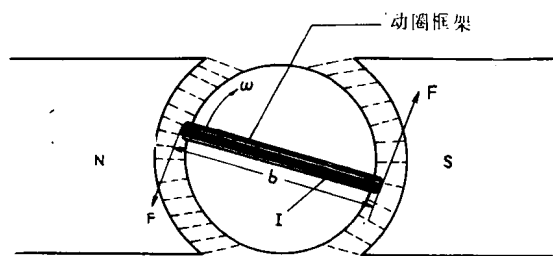


图 1-5 铝框架的阻尼作用示意图

$$M_z = \frac{(BLb)^2 \omega A}{(2b + 2L)\rho} = \frac{(BLb)^2 \omega}{(2b + 2L)\rho/A} \quad (1-5)$$

式中 B —磁通密度, L —框架边长, b —框架另一边长, ω —可动部分运动角速度, A —框架截面积, Lb —框架面积, ρ —框架材料电阻率。

由于框架电阻 $r = (2b + 2L)\rho/A$, 因此改

写式(1-5)可得到

$$M_z = \frac{1}{r} (BbL)^2 \omega$$

从式中可以看出, 其阻尼力矩大小与框架电阻 r 成反比。当几何形状决定后, 材料越厚, 磁通密度越强, 产生的力矩也越大。一般用 0.1 到 0.2 毫米厚的铝皮作框架, 有的为了减小阻尼力矩, 就在框架上打几个小孔, 以增加框架电阻。

2. 无框架阻尼

无框架阻尼是利用表头动圈与被测电路构成一个完整的电路而产生阻尼力矩, 这个力矩为

$$M_z = \frac{(BAN)^2}{R_s + R_{\text{外}}} \omega \quad (1-6)$$

式中 R_s ——动圈内阻; $R_{\text{外}}$ ——与动圈绕组构成闭合回路的外电阻。

表头外接电阻使阻尼时间最短的状态, 称为临界阻尼状态, 这个电阻称为临界阻尼电阻, 用 R_{cr} 表示,

$$R_{\text{cr}} = \frac{(BNA)^2}{2 \sqrt{JW}} - R_s \quad (1-7)$$

式中 J ——转动惯量, W ——反作用力矩系数。

由于表头动圈与被测电路所组成的回路中的电阻是一个常量, 所以在测量端开路的任一情况下, 其阻尼时间始终是相等的。

阻尼时间: 指从指针开始转动起, 至仪表指针离最后静止位置不大于标度 R 长度的 1% 时为止的这段时间。这个时间可用秒表测定。

3. 摩擦力矩

当 $M_s = M$ 时, 可动部分达到平衡, 实际在这个过程中, 轴尖与轴承之间存在一定的摩擦, 这个摩擦所产生的力矩用 M_m 表示。它本质上是一个不定的量, 决定于各种偶然因素, 如轴尖轴承的曲率半径大小, 材料硬度, 表面光洁度, 可动与支撑件之间的间隙, 磨损程度和内部清洁等等。这个力矩永远相反于可动部分的运动方向。力矩的大小与可动部分的重量的 1.5 次方成正比,

$$M_m = KG^{1.5} \quad (1-8)$$

式中 K ——与轴尖轴承材料及曲率半径有关的系数。

由式(1-8)可知, 当 K 一定时, 摩擦力矩的大小与可动部分的重量有关, 因此不得随意增加或减小可动部分的重量, 以免可动部分的重心与其转动轴线发生偏离, 影响仪表可动部分的偏转及其正确指示。

1.2 万用电表中二极管的应用

1.2.1 万用电表中的半波整流电路

半波整流电路如图 1—6 所示。

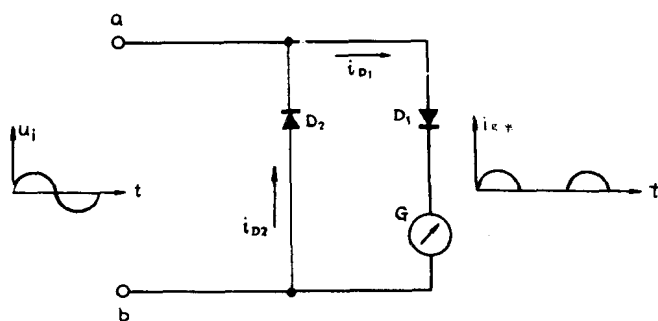


图 1—6 半波整流对表头的作用原理

输入为正半周时, 电流从 $a \rightarrow D_1 \rightarrow G \rightarrow b$, 因为 D_2 负端电位高于正端, 所以截止。输入为负半周时, 电流从 $b \rightarrow D_2 \rightarrow a$, 因为 D_1 负端电位高于 D_1 正端电位, 所以截止。这样, G 中便无电流经过。图中 $\bar{I}_{G\#}$ 即为理想的半波整流时, 电路中通过表头的电流波形。 D_2 的并联接入是为了防止整流元件 D_1 被击穿, 其原理是: 若只有 D_1 时, 在外加电压负半周时, 整流元件 D_1 相当于开路, 外

加电压几乎全部加到 D_1 上, 很容易将二极管击穿。当并联接入 D_2 时, 负半周的电流通过 D_2 流入 a 端。由于 D_2 的正向阻值很小, 所以使 a 、 b 两端的电压大大降低, 故 D_2 在这里主要起着“反向保护”作用。

1.2.2 万用电表中的全波整流电路

全波整流电路如图 1—7 所示。先看图(a), 该电路由四个整流元件组成。如果在 ab 两端加上交流电压, 设这时交流电压为正半周, 则电流从 a 端输入, 经 $D_1 \rightarrow G \rightarrow D_4 \rightarrow b$ (如图中实线箭头所示); 在交流电压为负半周时, 电流将从 b 流入, 经过 $D_2 \rightarrow G \rightarrow D_3 \rightarrow a$, 如图中虚线所示。由此可见, 在交流电流的正、负半周, 都有同一方向的电流通过表头。因此, 当外加交流电压的数值与 1.2.1 节中所述的半波整流电路输入相等时, 全波整流电路中通过表头的电流要比半波整流大一倍, 即

$$\bar{I}_{G\text{全}} = 2\bar{I}_{G\text{半}}$$

在全波整流电路中, 节点的相邻两个整流器件可用电阻代替, 如图 1—7 的 (b)、(c)、(d) 所示。由于电阻的接入, 对二极管的温度特性和非线性有补偿作用, 使仪表的特性有所改善。但是, 在图 (b) 这种电路中, 整流后的电流被电阻 R_2 分流; 在图 (c)、(d) 这两种电路中, 未经整流时, 已有部分电流被 R_3 、 R_1 电阻分流, 而不是全部通过表头因而灵敏度低。若选用上述某种电路设计仪表时, 应采用高灵敏度的表头。这几种电路专门用在要求特殊的万用电表电路上。

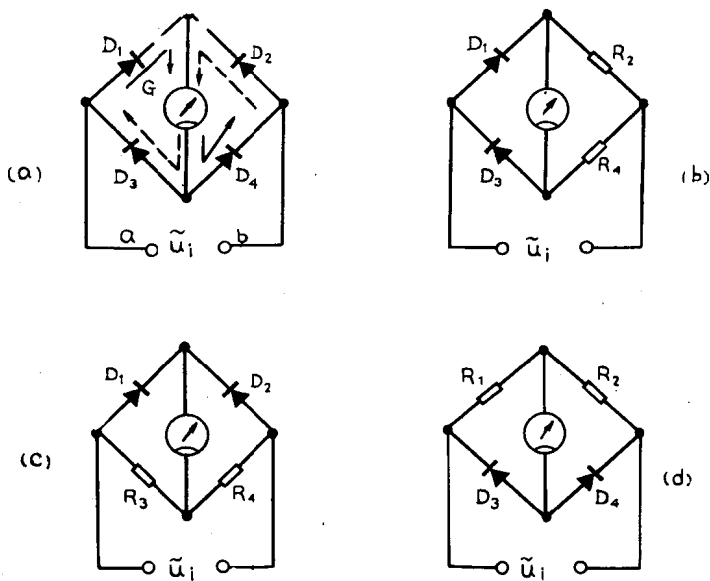


图 1—7 全波整流电路

1. 2. 3 交流电流平均值与仪表指针偏转角

无论是半波整流电路,还是全波整流电路,通过表头的电流都是脉动的。因此,作用在表头活动部分上的转动力矩也是一个方向不变,而数值随时间变化的力矩。但由于表头活动部分的惯性量比较大,使得它不可能随瞬时力矩的变化而变化,所以指针最后指示位置偏转角决定于一个周期内瞬时力矩的平均值,称为平均转矩,用 $\overline{M}$ 表示:

$$\alpha \propto \overline{M}$$

平均转矩的数值与交流电流的平均值有关。

1. 对半波整流电路而言,由于在一个周期内,只有半个周期有电流通过表头,所以表头中通过的电流平均值 $\overline{I}_{s\#}$,只有外加交流电流平均值 I_{av} 的一半;因此,表头活动部分的偏转角为:

$$\alpha \propto \overline{I}_{s\#} = I_{av}/2$$

交流有效值 I 与平均值 I_{av} 之比,称为波形因素:

$$K = I/I_{av} \quad (1-9)$$

对于不同的波形,波形因素 K 有不同的数值。在正弦波半波整流电路中,表头能测得的交流平均值 $\overline{I}_{s\#}$ 与交流电流的峰值 $\hat{I}$ 和有效值 I 有如下关系:

$$\overline{I}_{s\#} = \frac{1}{\pi} \hat{I} = 0.318 \hat{I} \quad (1-10)$$

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{I} = 0.707 \hat{I} \quad (1-11)$$

由式(1—10)、(1—11)求出半波整流电路的换算系数:

$$K_{\#} = I/\overline{I}_{s\#} = \frac{0.707 \hat{I}}{0.318 \hat{I}} = 2.223 \quad (1-12)$$

若要求 $\bar{I}_{\text{g}\frac{1}{2}}$, 可由式(1—12)求得

$$\bar{I}_{\text{g}\frac{1}{2}} = \bar{I} / 2.223 \approx 0.45\bar{I}$$

同样道理

$$\bar{I} = 2.223\bar{I}_{\text{g}\frac{1}{2}}$$

由于整流后的电流是平均值, 考虑到二极管的实际情况, 即 $R_{\text{正}} > 0, R_{\text{反}} \geq 50R_{\text{正}}$, 而不是无穷大, 这说明整流元件的效率不是百分之百, 故实际电流平均值为:

$$\bar{I}_{\text{g}\frac{1}{2}} = 0.45\bar{I}\eta \quad (1-13)$$

式中 $\eta = 1 - (R_{\text{正}}/R_{\text{反}})$, 称为整流元件的效率。

一般说来, $\eta = 98\%$ (运放万用电表取 η 为 $99\% \sim 100\%$), 若将这一数值代入式(1—13), 就会得到

$$\bar{I}_{\text{g}\frac{1}{2}} = 0.44\bar{I},$$

所以, 100V 的交流电压(指有效值), 经半波整流后, 对表头的作用只有: $100\text{V} \times 0.44 = 44\text{V}$ 。换句话说, 100V 的交流电压经半波整流后, 作用到表头时, 指针的偏转角相当于 44V 直流电压作用下的偏转角。

2. 对全波整流线路而言, 表头活动部分的偏转角位移正比于交流电流的平均值 I_{av} , 即

$$\alpha \propto \bar{I}_{\text{g全}} = I_{\text{av}}$$

在全波桥式整流电路中, 流过仪表的电流平均值 $\bar{I}_{\text{g全}}$ 与被测电流的峰值 $\hat{I}$ 和有效值 $\bar{I}$ 有如下关系:

$$\bar{I}_{\text{g全}} = \frac{2}{\pi} \hat{I} = 0.637\hat{I} \quad (1-14)$$

$$\bar{I} = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{I} = 0.707\hat{I} \quad (1-15)$$

将式(1—14)、(1—15)代入式(1—9), 求出全波整流电路的换算系数:

$$\begin{aligned} K_{\text{全}} &= \bar{I} / \bar{I}_{\text{g全}} \\ &= 0.707\hat{I} / 0.637\hat{I} = 1.111 \end{aligned} \quad (1-16)$$

若要求 $\bar{I}_{\text{g全}}$, 可由式(1—16)求得

$$\bar{I}_{\text{g全}} = \bar{I} / 1.111 = 0.9\bar{I}$$

实际上

$$\bar{I}_{\text{g全}} = 0.9\bar{I}\eta = 0.9 \times 0.98 \times \bar{I} = 0.88\bar{I}$$

同样道理

$$\bar{I} = 1.111\bar{I}_{\text{g全}}$$

比较式(1—12)和式(1—16)可知, $K_{\frac{1}{2}}$ 正好比 $K_{\text{全}}$ 大一倍。也就是说, 通过表头的电流, 全波比半波大一倍。所以, 100V 的交流电压(指有效值)经全波整流后, 对表头的作用为 $100\text{V} \times 0.88 = 88\text{V}$ 。换句话说, 就是 100V 交流电压经全波整流后, 作用到表头时, 指针的偏转角相当于 88V 直流电压作用下的偏转角。

由磁电系表头与整流电路组合而成的整流式万用电表所指示的是交流电流平均值, 而在工程技术中讲交流电流(或电压)的数值, 都是指有效值, 所以万用表的交流刻度都是在正弦波条件下, 按平均值换算成有效值来刻度的。

如果被测量值是正弦波的有效值, 还可以通过图 1—8 换算其平均值、峰值、峰—峰值。