

电 动 量 仪

(上 册)

哈 尔 滨 工 业 大 学 编
三 机 部 三〇四 研 究 所 印
一 九 七 四 年 六 月

前 言

在党的“十大”团结、胜利路线的指引下，我国社会主义建设事业飞速发展。在各工业部门中，使用电动长度计量仪器越来越广泛。为了正确使用电动长度计量仪器，以及搞好这些仪器的维护和检修工作，三〇四研究所和哈尔滨工业大学联合举办了这一期电动量仪学习班。学习班的目的在于，能够基本掌握电动长度计量仪器的原理和初步的修理知识，以便更好地开展计量工作，为国防建设、工农业生产和科学研究服务。

这是为这一期学习班编写的讲义。由于我们的思想水平和业务水平所限，本讲义会有许多缺点、错误和不妥之处，希望同志们批评指正，并提出宝贵意见。

对热情支持和大力协助本讲义编写工作的哈尔滨量具刃具厂、中原量仪厂、大连轴承仪器厂，以及其他有关单位和同志们深表感谢！

哈尔滨工业大学“电动量仪”编写组

一九七四年六月

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

我们能够学会我们原来不懂的东西。
我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

目 录 (上册)

绪 言	1
第 一 章 电路与磁路的基本知识	3
§1-1 电路的基本物理量	3
一、电流	3
二、电压和电位	4
三、电势	5
四、电功率	6
§1-2 直流电和交流电	6
一、直流电源	6
二、交流电源	6
(一) 交流电势的变化规律	6
(二) 交流电的有效值	7
(三) 正弦量的向量表示法	7
三、讯号源	9
§1-3 电阻元件	9
一、电阻的基本特性——欧姆定律	9
二、电阻的串联和并联	10
(一) 串联	10
(二) 并联	11
三、电阻元件接于交流电路	12
§1-4 电容元件	13
一、电容元件的基本参数和特性	13
二、电容器的充放电	13
(一) 充电	13
(二) 放电	14
三、电容元件接于交流电路	15
四、电容元件的串联和并联	16
(一) 串联	16
(二) 并联	16
§1-5 电感元件	16
一、电感元件的基本参数	16
二、电感元件接于直流电路	17
三、电感元件接于交流电路	17

§1-6 交流串联电路	18
一、 r, L 串联电路	18
二、两个线圈的串联电路	19
三、 r, C 串联电路和移相电路	20
(一) r, C 串联电路的基本特性	20
(二) 阻容移相电路	20
§1-7 交流并联电路	21
§1-8 阻容滤波电路	22
一、低通滤波器	22
二、高通滤波器	22
§1-9 线性电路计算方法	23
一、等值发电机定理	23
二、叠加原理	25
三、定流源与定势源的转换	26
§1-10 电感传感器测量电路的平衡	27
§1-11 电流产生磁场	28
§1-12 磁场的基本物理量及全电流定律	29
一、磁感应强度 B	29
二、磁通 Φ	29
三、磁场强度 H 与导磁系数 μ	29
§1-13 铁磁物质	31
一、高导磁性	31
二、磁饱和性	31
三、磁滞性	32
§1-14 磁路及其计算方法	32
§1-15 铁磁饱和对磁通与电流波形的影响	34
§1-16 电磁感应	35
一、自感电势与自感系数	35
二、互感电势与互感系数	36
第 二 章 传 感 器	38
§2-1 电感式传感器	38
一、概述	38
二、工作原理和结构	39
三、电感的基本测量电路	43
四、测头灵敏度	44
五、关于零点剩余电压	45
六、参数选择	46
§2-2 电容式传感器	47
一、概述	47

二、工作原理和结构	47
三、电容的基本测量电路及测头灵敏度	49
四、参数选择	50
§2-3 变压器式传感器	50
一、概述	50
二、工作原理和结构	51
三、输出电压与测头灵敏度	52
四、关于零点剩余电压	55
五、参数选择	55
第 三 章 放 大 器	57
§3-1 概述	57
§3-2 晶体管	57
一、半导体及其电特性	57
二、 $P-N$ 结及其伏安特性	59
三、晶体二极管	60
(一) 晶体二极管的结构与分类	60
(二) 晶体二极管的主要参数	61
(三) 利用万用表测试晶体二极管	61
四、晶体三极管	62
(一) 晶体三极管的结构与电流分配关系	62
(二) 晶体三极管的电路联结及放大作用	63
(三) 晶体三极管的特性曲线	64
(四) 晶体管的开关特性	67
(五) 晶体管的极限参数	68
(六) 晶体管的频率参数	70
(七) 晶体管的简易测试方法	70
§3-3 单级放大器	74
一、单级放大器的分析	74
(一) 图解法	75
1. 静态工作点的图解	75
2. 动态工作情况图解	76
3. 工作点的选择与失真	77
4. 交流负载线	79
(二) 微变等效电路法	79
二、偏置电路及稳定问题	83
(一) 固定偏置电路	83
(二) 电压负反馈偏置电路	85
(三) 电流负反馈偏置电路	86
(四) 分压式电流负反馈偏置电路	87

三、放大器的共基极与共集电极电路	89
§3-4 多级放大器	92
一、阻容耦合放大器	92
二、放大器中的负反馈	95
(一) 概述	95
(二) 反馈的种类和举例	95
(三) 负反馈对放大器性能的影响	97
(四) 运算放大器	101
三、放大器的调整与测试	104
(一) 调整静态工作点	104
(二) 输入交流信号的调试	105
(三) 放大器的干扰噪声与自激的抑制与消除	105
§3-5 功率放大器	107
一、单管功率放大器	108
二、双管推挽功率放大器	110
§3-6 直流放大器	113
一、耦合问题	113
二、零点漂移问题	116
第四章 相敏整流器和指示装置	123
§4-1 相敏整流器	123
§4-2 指示装置	126
一、指示表	126
二、记录器	128
第五章 振荡器	130
§5-1 LC 振荡器的工作原理	130
一、 LC 回路的振荡特性	130
二、 LC 回路的强迫振荡及选频特性	131
三、 LC 正弦波振荡器的工作原理	134
§5-2 电动量仪中常用的几种振荡线路	136
一、电容反馈的 LC 振荡线路——电容三点式	136
二、电感反馈的 LC 振荡线路——电感三点式	140
三、推挽式振荡器	142
§5-3 LC 振荡器线路结构的基本分析方法和调整措施	143
一、 LC 振荡线路的基本分析方法	143
二、解决振荡器不起振的措施	144
三、稳定振荡幅值和振荡频率的方法	144
四、影响品质因数 Q 的因素及提高 Q 值的方法	145
五、振荡管的选用	146

第 六 章 直流稳压电路	147
§6-1 整流电路	147
一、整流元件	147
二、整流电路	147
§6-2 滤波电路	151
一、电容滤波器	151
二、电感滤波器	151
三、复式滤波器	151
§6-3 稳压电路	153
一、硅稳压管和稳压电路	153
二、串联式晶体三极管稳压电路	155
§6-4 直流稳压电路举例	156
第 七 章 电子管电路基本知识	161
§7-1 真空二极管	161
§7-2 真空三极管	162
一、栅极的作用	162
二、三极管的特性曲线	162
三、三极管的参数	163
§7-3 四极管、五极管、束射管	164
一、四极管	164
二、五极管	165
三、束射管	166
§7-4 三极管的交流放大电路	166
一、放大电路中各元件的作用	166
二、放大电路的分析	167
§7-5 三极管的等效电路	168
一、恒压源等效电路	168
二、恒流源等效电路	169
§7-6 三极管等效电路的应用	170
§7-7 阴极输出器	172
§7-8 电子管电路举例	172
第 八 章 晶体管脉冲电路基础	174
§8-1 概述	174
§8-2 RC 电路的暂态过程	174
§8-3 基本脉冲变换电路	176
一、 RC 微分电路	176
二、 RC 积分电路	177

三、限幅器	178
四、箝位器	179
§8-4 晶体管开关	180
一、二极管开关	180
二、三极管开关	180
§8-5 双稳态触发电路	183
一、“集-基”耦合双稳态触发器	184
二、射极耦合双稳态触发器	188
§8-6 单稳态触发电路	191
一、“集-基”耦合单稳态触发器	191
二、射极耦合单稳态触发器	192
§8-7 自激多谐振荡器	193
一、工作原理	193
二、振荡周期	194
§8-8 间歇振荡器	195
§8-9 锯齿波电压发生器	196
一、锯齿波电压参数	196
二、锯齿波电压的产生	196
三、锯齿波电压发生器线路	197
§8-10 同步和分频	198
一、同步的基本原理和电路	198
二、分频原理和电路	199
§8-11 门电路	199
一、概述	199
二、二极管门电路	200
三、三极管门电路	202
§8-12 计数电路	204
一、二进制计数器	204
二、“2—10”进制计数器	207
三、译码器	211
四、数字显示管	212

绪 言

电动长度计量仪器（简称电动量仪）是指应用电学原理的长度计量仪器。目前，在生产中广泛使用的电动测微仪、电动轮廓仪、电动圆度仪、光电显微镜等都是电动量仪。在长度计量中应用的磁分度技术、光栅技术、光电技术、数字化技术等等也可看成是电动量仪的内容，包括在电动量仪的范围之内。在工业生产中用来测量几何量的大部分自动检验仪器也是电动原理的，因此，也可称为电动自动量仪。

电动量仪出现在二十世纪三十年代初，它出现以后，发展得很快。我国建国以来，特别是1958年以来，在党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线光辉照耀下，在毛主席关于“自力更生”、“奋发图强”赶超世界先进科学技术水平的伟大号召下，我国的仪器制造工业得到了很大的发展。我国工人阶级和技术人员先后研究、设计和制造了各种类型的电动量仪。尤其是无产阶级文化大革命以来，在毛主席革命路线的指引下，批判了刘少奇、林彪的反革命修正主义路线，我国工人、干部、技术人员发挥集体的智慧，在毛主席“抓革命、促生产、促工作、促战备”的号召下，自行设计和制成了一批新型的高精度、高质量的电动量仪。例如：晶体管化的电动测微仪、电动轮廓仪、光电显微镜、电子水平仪、电动自动分选机等等，并研究试制成应用激光和光栅技术的计数式量仪，使我国的电动量仪生产获得了飞跃发展。我国一些工厂已能成批生产电动量仪，来满足我国社会主义建设的需要，并支援世界革命。

电动量仪的工作原理是将被测参数（例如微小位移）的变化，转换成电信号，再经过放大或运算等处理后，用指示表指示，用显示器显示或用记录器记录，或去控制一定的执行机构。

电动量仪的特点：

1. 精度高、灵敏度高。例如目前生产的电动测微仪的精度最高能达到0.05微米，因而能应用于实验室作为高精度仪器，以检定标准量具和量仪。

2. 能实现远距离测量，并可在一般机械量仪、光学量仪不能进行测量的地方进行测量。它的测量头体积很小，并能和读数部份分开，可把测头装到被测参数处，而指示表或记录器可放在较合适的地方，以实现远距离测量。

3. 能进行和差测量。因为可同时使用两个测头，能较方便的精密测量如平行度，同心度、椭圆度、直径平均值等复杂参数。

4. 能进行多点切换测量。复杂工件的若干个尺寸，可以使用若干个测头，用多点切换装置快速逐点测量。

5. 换挡方便。可以按被测工件的测量需要，改换分度值和示值范围。

6. 测量结果可自动记录或自动打印，以便分析研究和长久保存。

7. 易于实现检验自动化。或者对标准件或工件进行自动检查或自动分选，或者在加工过程中对工件进行测量。

电动量仪主要由三部分组成。①测头；②电路；③指示表、记录器、显示器或其他执行

机构。

测量头又称传感器，它直接与被测对象发生联系，将被测参数变化转换成电信号。

电动量仪由于电路原理不同，可分为指示式和计数式两大类。今以电感式测微仪为例来说明指示式电动量仪的组成情况，而计数式量仪将在以后讨论。

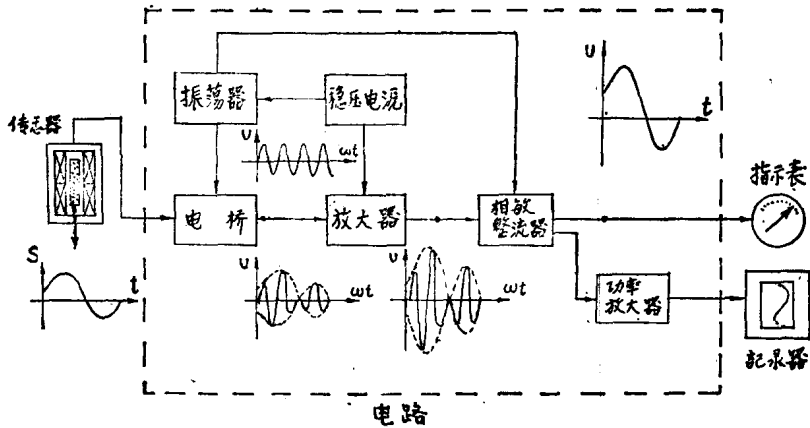


图 1

如图 1 所示，电感式测量头按差动方式接入测量电桥，测头的微小位移使电感线圈内的衔铁上下移动。当衔铁处于两线圈中间位置时，两线圈电感相等，电桥平衡，无输出信号；衔铁向上(或向下)移动时，上线圈电感量增加(或减少)，下线圈电感量减少(或增加)，则交流阻抗相应变化，电桥不平衡。当电桥用高频供电时，电桥就输出一个正弦交流电信号（即载波信号），其幅值与衔铁位移成比例，频率与供电频率相同。此信号经放大器放大，送到相敏整流器，就可将位移信号从载波信号中解调出来，得到一个与衔铁位移成比例的电信号，最后由指示表指示出来，或经功率放大器放大后送到记录器，记录纸上就可连续画出与测头位移相对应的曲线。电路由一个稳定的音频振荡器（频率为几万周/秒或几千周/秒）供电。此外，为保证电路各环节工作，还必须有直流稳压电源。

其它各种指示式电动量仪，因测量对象不同、测量要求不同、自动化程度不同，将具有某些特定环节及某些控制电路，但基本组成环节大同小异。

本讲义分上、下两册。上册叙述电路与磁路的基本知识，电动量仪的各个基本组成环节（如传感器、放大器、相敏整流器、振荡器及稳压电源等）。由于目前在电动量仪中还应用电子管电路，故增加了“电子管电路基本知识”一章。由于讲解“计数式量仪”的需要，最后又增加了“晶体管脉冲电路基础”一章。下册叙述目前生产中广泛应用的电动测微仪、电动轮廓仪、电动圆度仪、光电显微镜、滚刀检查仪、齿轮检查仪、电子水平仪以及计数式量仪等。

第一章 电路与磁路的基本知识

§1-1 电路的基本物理量

一、电 流

什么叫电流？电荷的流动即成电流。金属导体中有自由电子，半导体中有带正电或带负电的载流子，导体和半导体都可能电荷的流动，即可以有电流通过，而绝缘体则不能。电流通常用符号 I 表示，变化的电流用小写字母 i 表示。电流的单位是安培(A)或毫安(mA)， $1A = 10^3mA$ 。

电流有没有方向？电流的路径就是导体组成的电路(包括电源和负载)，因此它在空间没有一定的方向，但是它可以由导体的一端流到另一端或者相反，因此在电路图上用箭头标明电流的方向。通常把正电荷运动的方向即电子运动的反方向称为电流的方向。在进行电路计算时，有时并不知道电流的实际方向，这时可以先假定一个方向，称为电流的“正方向”，根据计算结果，若电流为正值，表示电流实际方向与假定的正方向一致；若电流为负值，则表示电流的实际方向与正方向相反。例如对图 1—1 的 AB 支路，任意规定电流正方向为从 A 到 B ，若计算结果得 $I = -5A$ ，表示电流 I 大小为 $5A$ ，方向与正方向相反，即实际方向为从 B 到 A 。

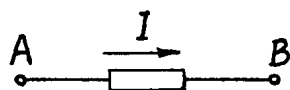


图 1—1

怎样根据电流的运动量来计算电流的大小呢？设在时间 t 内，有电荷 Q 通过某一截面，则定义 $I = \frac{Q}{t}$ 。若电荷是变化的，则电流也是变化的，用 i 表示，若在极短时间 Δt 内，有微量电荷 ΔQ 通过某一截面，则 $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ 。

电路中各部份的电流有一定的关系，表示这个关系的公式称为克希荷夫第一定律。以晶体管为例，如图 1—2(a) 所示，它有三个电极，这三个电极的电流存在下面关系：

$$i_e = i_c + i_b \quad (1-1)$$

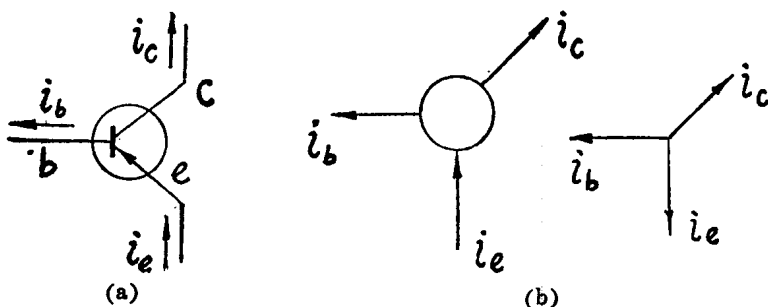


图 1—2

也可把 i_c 、 i_b 和 i_e 看成为三条支路的电流，此三条支路结成电路的交叉点，如图 1—2(b) 所示，则可把上式推广到一般情况，即：对任何结点(电路的交叉点)，流进该结点的电流之和

等于从该结点流出的电流之和。例如对图 1—3 中的 a 点，电流存在下面关系：

$$\dot{i}_1 + \dot{i}_e = \dot{i}_2 \quad (1-2)$$

克希荷夫第一定律为什么成立呢？我们可以拿水流来比喻。如图 1—4 所示为分支的水管或是河流，用 Q 代表水量，箭头代表水流的方向，流进交叉点的水量必然等于从交叉点流出的水量，即：

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

若 $Q_1 < Q_2 + Q_3$ ，水流中断；若 $Q_1 > Q_2 + Q_3$ ，交叉点水不断聚集而泛滥。正常情况下必然是流进与流出相等。电流和水流性质相似，流进结点的电流应从结点流出的电流相等。

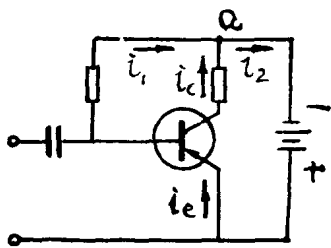


图 1—3

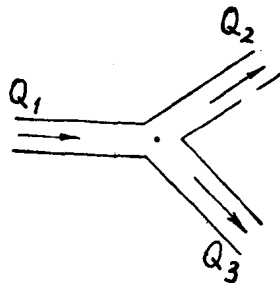


图 1—4

在什么情况下导体中就会产生电流呢？这必须弄清楚电路的第二基本物理量电压和电位的基本观念。

二、电压和电位

俗话说：“水往低处流”，说得全面一点，就是水从水位高的地方向水位低的地方流。例如用两个容器装水，容器位置高低不同，它们的水位就不同，用一根管子把两个容器连起来（如图 1—5），若把阀门打开，水就会从水位高处向水位低的地方流。电荷也有这样的性质，它从电位高的地方向电位低的地方流，即电流的方向是从高电位流向低电位。所不同者，水位的高低是由地势的高低造成的，而电位的高低则是由电荷的聚集造成的。设有两个金属球，一个聚集正电荷，一个聚集负电荷，因而两个球的电位就不相同，聚集正电荷的金

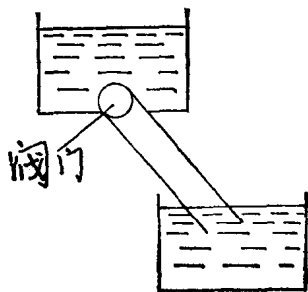


图 1—5

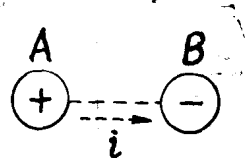


图 1—6

属球电位高，聚集负电荷的电位低。当用一根导线把两个金属球联上时，导线中就有电荷流动，即有电流，电流的方向是从高电位流向低电位。可见，图 1—6 中的两个聚集电荷的金属球相似于图 1—5 中的两个装水的容器。金属球的电位差相似于容器的水位差，水位差又可称之为水压，电位差又称电压。分析图 1—6，可知产生电流必须有两个条件，一是有电

压，这是产生电流的内因，一是有通路，这是产生电流的外部条件。电压的符号用 U 表示，某两点之间的电压，注以两个下标，例如 AB 两点之间的电压称 U_{AB} 。变化的电压用小写字母 u 表示。电压的方向为电位降的方向，即从高电位指向低电位。 U_{AB} 即表示电压方向从 A 点到 B 点。在计算电路时，对某一电压也可以先规定它的正方向，再根据计算结果中的正负来判断它的实际方向。电路中某点电位的高低怎样衡量？要回答这个问题，先研究一下水位的高低有没有标准。例如桌面上的一滴水 and 地面上的一滴水，其水位的高低都是相对的，就看以什么作参考点。参考点水位为零，高于它的是正的，低于它的是负的，若以地面为参考点，地面的水其水位为零，桌面上的水其水位为正值。若以桌面为参考点，桌面上的水水位为零，地面上的水水位为负值。但桌面水和地面水其水位之差是不变的，与参考点无关。电位也是这样。要说电路中每点电位多大，必须首先说明以什么为参考点。电位亦用符号 U 表示，在图 1—6 中，若以 A 点为参考点，则 $U_A = 0$ ， U_B 为负，若以 B 为参考点，则 $U_B = 0$ ， U_A 为正。但是 $U_{AB} = U_A - U_B$ 与参考点无关，通常以地为参考点，地面电位为零，高于它为正电位，低于它为负电位。半导体电路中共发射极就以发射极为参考点，共基极就以基极为参考点，通常就把参考点称为接地点。

三、电

在图 1—6 中，导线里不能维持一定的电流，因为随着电荷的流动，两球上聚集的电荷逐渐减少，最后完全消失。这好像图 1—5 中水管里不能维持一定的水流，当上面容器中的水完全流光水流就停止一样。大家知道，要在图 1—5 中的水管中保持一定的水流必须有一个水泵，其作用是不断的把水从低处打到高处，如图 1—7，所以水泵是保持水管中水流不断的源泉。电路也是这样，要在导体中维持一定的电流，就必须在 AB 端维持一定的电压，也就是必须有一个类似水泵的元件不断地把电荷从低电位送到高电位，如图 1—8 所示，这个元件就是电源。电源中有一种力量能够把电荷从低电位送到高电位，从而在电源两端保持一个电位差。电源两端的电位差称电势，用 E 表示，变化的电势用 e 表示。电势的方向为电位升高的方向，即从低电位(负极)指向高电位(正极)。

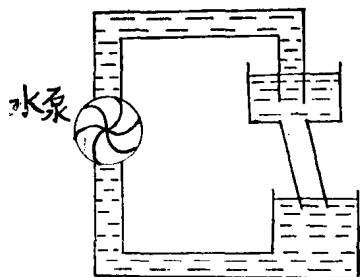


图 1—7

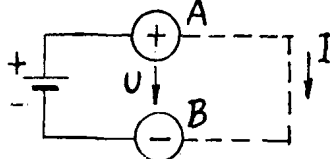


图 1—8

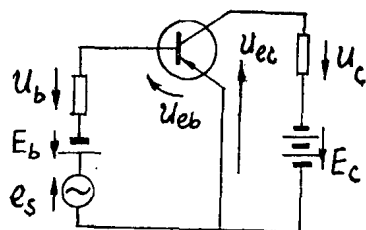


图 1—9

电路中电势和电压有一定的关系，这个关系称为克希荷夫第二定律。即：若在电路中任意取一个闭合回路，沿一定的循行方向绕一周，电位的升高(即电势)与电位的降落(即电压)相等。例如对图 1—9，若取包括电源 E_c ，发射极 e 、集电极 c 的闭合回路，沿顺时针方向绕一圈，则可得，

$$u_{ec} + u_c = E_c \quad (1-3)$$

对发射极、基极和电源 E_b 的闭合回路。则有

$$u_{e_b} + u_b = E_b - e_s$$

(因为 e_s 的正方向与循行方向相反所以取负号。) 在应用克希荷夫第二定律求闭合回路电压电势的关系时, 可以先把等号写好, 回路中所有的电压都写在等号一边, 所有电势都写在等号另一边, 凡是电压的正方向与循行方向一致的都取正号, 相反的都取负号; 凡是电势的正方向与循行方向一致的都取正号, 相反的都取负号。

四、电 功 率

一个电源有多大的发电能力, 一个负载消耗多少电能都用电功率来衡量, 电功率用符号 P 表示, 单位是瓦特或千瓦。

在实践中我们知道, 移动一个物体需要费劲, 这在工程上就叫作功。物体越重, 路程越长, 费的劲越大, 即作功越大。水也可以作功, 水从高山上流下来可以推动机器转动, 即是水作功了。水位越高, 水流越大, 水作功的本领越大。电流也是会作功的, 电流通过马达可以使马达转动。电流作功的本领跟哪些因素有关? 与水做功相似, 电压愈大, 电荷愈多, 作功愈大。电功用符号 A 代表, 电荷量用 Q 代表, 则电功

$$A = UQ \text{ (焦耳)} \quad (1-4)$$

每秒钟作的功称为功率, 用 P 表示

$$P = \frac{A}{t} = U \frac{Q}{t} = UI \text{ (瓦特)} \quad (1-5)$$

§1-2 直流电和交流电

在电动量仪中所用的电源有三种, 即直流电源、交流电源和讯号源, 分别讨论如下:

一、直 流 电 源

凡是电势正负极性不变、电势大小为恒定值的电源叫直流电源, 如图 1—10 所示。直流发电机、蓄电池等都是直流电源。“直流”在一般电表或设备上的符号是“DC”、“—”或“—”。

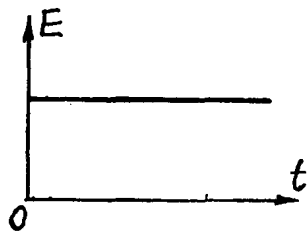


图 1—10

二、交 流 电 源

(一) 交流电势的变化规律

交流电源如交流发电机、振荡器等, 其电势一般都按正弦规律变化, 如图 1—11, 用函数表示为

$$e = E_m \sin(\omega t + \varphi)$$

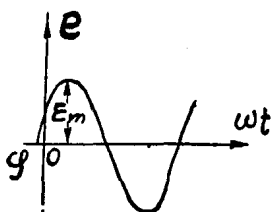


图 1—11

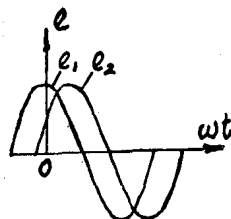


图 1—12

其中 E_m —极大值

ω —角频率，即正弦函数每秒变化的角度。

$$\omega = 2\pi f$$

f —每秒变化的次数称频率。

T —周期，变化一次所需的时间。

$$T = \frac{1}{f} (\text{秒})$$

一般工业用电频率都是 50 周/秒，电动量仪中为了提高仪器的精度，所用交流电源(振荡器)频率为几千——几万周/秒。 φ 称初相角。

设有两个同频率的正弦函数，如图 1—12 所示

$$e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + 60^\circ)$$

$$e_2 = E_{2m} \sin(\omega t + 30^\circ)$$

从坐标原点看， e_1 先到达最大值，先下降，先到零等等，总之 e_1 的变化比 e_2 早一步，称 e_1 超前于 e_2 ，或 e_2 滞后于 e_1 。

交流在一般设备上的符号是“AC”或“~”。

(二) 交流电的有效值

交流电是变的，例如设电压 $u = 310 \sin(\omega t + 60^\circ)$ 伏，我们说这个电压就等于 220 伏，这是什么意思呢？

假如把这个交流电压接在一个电炉上，电炉发热。我们发现，在一定的时间里，这个电炉发出的热量与接于 220 伏的直流电压所发出的热量相等，如图 1—13 所示，也就是说，最大值为 310 伏的交流电压，其发热效果相当于 220 伏的直流电压。我们就说交流电压 u 的有效值为 220 伏。有效值用大写字母表示。有效值和最大值的关系为 $\frac{310}{220} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ，即

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (1-6)$$

(三) 正弦量的向量表示法

在交流电路的计算中，经常要进行正弦函数的加减乘除，计算非常复杂。这里介绍一种简便的计算方法，即把正弦量用向量来表示，因而使正弦函数的计算变成向量的计算，这时计算正弦函数的加减比较方便。

设平面上有一个向量，其长度为 E_m ，该向量与 X 轴的夹角为 θ ，该向量以角速度 ω 逆时针旋转，如图 1—14 所示，则旋转时它在纵轴上的投影为

$$\vec{Ob} = e = E_m \sin(\omega t + \theta)$$

由上述可见，正弦量可用旋转向量来表示，但两者并不是相等的，在这里向量只是一种

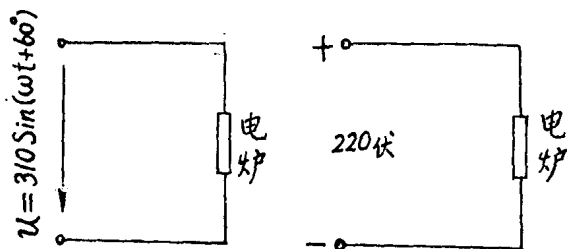


图 1-13

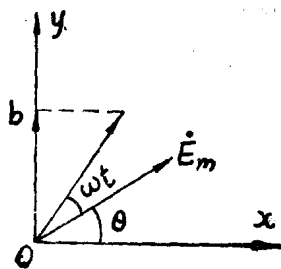


图 1-14

计算工具而已。向量表示法的优点在于可以把同频率正弦函数的加减变成向量的加减而使计算大为简化。在实际的计算中，对所求的正弦量， ω 是已知的，要确定一个正弦量，只须知道极大值（或有效值）和初相角即可。为此只须知道向量的初始位置，而不必考虑它是旋转的。也可把所有的向量都减小 $\sqrt{2}$ 倍，则向量的长度都代表有效值。

例如如图 1-15(a)，

$$\text{设 } \dot{\psi}_1 = I_{1m} \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$\dot{\psi}_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \varphi_2)$$

$$\dot{\psi} = \dot{\psi}_1 + \dot{\psi}_2 = ?$$

我们知道，两个同频率正弦量相加仍得正弦量，且频率不变，可写成：

$$\dot{\psi} = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

可见只须求出 I_m 和 φ 即可。为了确定 I_m 和 φ ，须确定代表 $\dot{\psi}$ 的旋转向量的初始位置。设在图 1-15(b) 中以 $\dot{I}_m$ 向量代表 $\dot{\psi}$ 的初始位置，则三个向量之间存在下面关系：

$$\dot{I}_m = \dot{I}_{1m} + \dot{I}_{2m} \quad (1-7)$$

因为根据向量之和的投影等于向量投影之和的道理，当此三个向量都以 ω 的角速度逆时针旋转时，它们在纵轴上的投影分别代表 $\dot{\psi}_1$ ， $\dot{\psi}_2$ 和 $\dot{\psi}$ 的瞬时值。 $\dot{I}_m$ 的求法如下，先画出代表 $\dot{\psi}_1$ ， $\dot{\psi}_2$ 的向量 $\dot{I}_{1m}$ 和 $\dot{I}_{2m}$ 的初始位置， $\dot{I}_{1m}$ 和 $\dot{I}_{2m}$ 以平行四边形的方法相加得到向量 $\dot{I}_m$ ，它的长度就

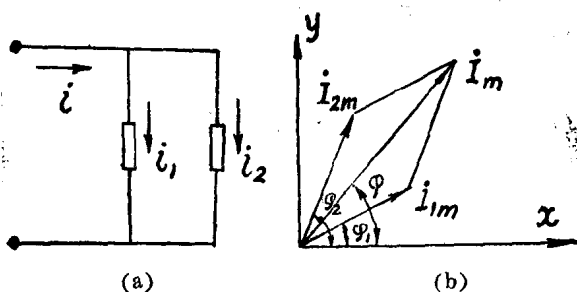


图 1-15

是 $\dot{\psi}$ 的极大值，它与 ω 轴的夹角就是 $\dot{\psi}$ 的初相角 φ 。这里我们就把正弦函数的相加变成了向量相加。若把向量都缩小 $\sqrt{2}$ 倍，即都以有效值表示，则可写成

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$$

但必须注意，一般情况下有效值不能直接相加，

即

$$I \neq I_1 + I_2$$