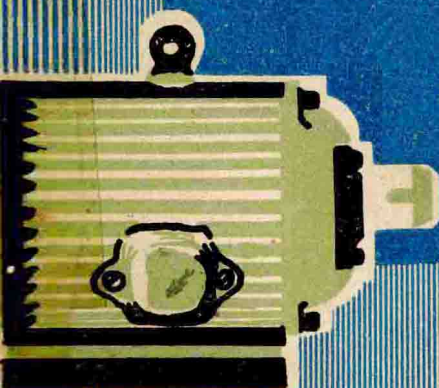


电 工 学

上 册



国营大众机械厂教材编写组

内 容 提 要

本书分上、下两册。

上册为电工基础部分，讲述直流电场、电路、及交流电路。

下册主要为电机学部分，讲述交、直流电机及电气测量。

本书可供工厂业余教育及技工学校做为教学用书或教学参考书。

前 言

随着我国社会主义革命和社会主义建设事业的不断发展,近年来我厂吸收了不少新工人。对这批新生力量,进行一定中等程度的电工知识的教育,以便使他们更好地掌握和完成其本职工作,就成了当前工厂业余教育中的一项重要工作。为此,我厂组织了有关单位的几个同志组成编写组,编写了本教材。

在内容方面,基本上是参照中等专业学校的电工学而编写的,但在数学方面不应用微积分和复数运算,而只限于三角和向量。因此,删掉了暂态、符号法等内容。在几个较重要的地方,一般分析和微积分的分析并用,但后者作为补充内容而不在正文之内。由于晶体管电路的广泛应用,故对分析晶体管电路时常用的定流发电机定则,又专写了一节作为补充。

内容提纲,曾经各车间本课程的业余教师进行讨论和修改。初稿经各有关单位进行审阅,最后又进行了修改。

由于我们参加编写的几位同志未做过此项工作;更受政治思想水平、业务理论水平和实际经验的局限性;特别是时间仓促,又未经仔细审阅和修改,故本教材一定存在着很多的缺点和错误。我们热诚地希望读者及教师同志们,提出批评和指正。

电工学编写组

一九七三年四月十九日

毛 主 席 语 录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

外国有的，我们要有，外国没有的我们也要有。

电工学上册目录

第一章 电 场	(1)
1 ~ 1 物质结构.....	(1)
1 ~ 2 导体和电介质.....	(2)
1 ~ 3 电场.....	(3)
1 ~ 4 点电荷电场.....	(5)
1 ~ 5 电位、电压.....	(13)
1 ~ 6 电压和电场强度的关系.....	(17)
1 ~ 7 静电感应电场中的导体和电介质.....	(18)
1 ~ 8 电介质的击穿电场强度.....	(21)
第二章 电容、电场能量	(25)
2 ~ 1 高斯定理及应用.....	(25)
2 ~ 2 电容及电容器.....	(29)
2 ~ 3 电容器的并联、串联和混联.....	(36)
2 ~ 4 电容器的充电和放电.....	(39)
2 ~ 5 电场能量.....	(43)
第三章 直流电路	(51)
3 ~ 1 电流.....	(51)
3 ~ 2 金属导电的电子理论.....	(53)
3 ~ 3 电势.....	(54)
3 ~ 4 欧姆定律.....	(56)
3 ~ 5 电阻和电导.....	(60)
3 ~ 6 电阻和温度的关系.....	(63)

3 ~ 7 变阻器.....	(65)
3 ~ 8 功率和能量.....	(68)
3 ~ 9 电能转变为热能——楞次 ——焦耳定律.....	(73)
3 ~ 10 克希荷夫定律.....	(76)
3 ~ 11 电阻的串联、并联和混联.....	(80)
3 ~ 12 导线上电压降落.....	(92)
3 ~ 13 电源的串联、并联和混联.....	(95)
3 ~ 14 分支电流法.....	(103)
3 ~ 15 回路电流法.....	(106)
3 ~ 16 节点电压法.....	(110)
3 ~ 17 重叠原理.....	(113)
3 ~ 18 等效发电机定理.....	(116)
3 ~ 19 变换法.....	(123)
3 ~ 20 定流发电机定理.....	(128)
第四章 磁 场	(147)
4 ~ 1 磁铁和磁极.....	(147)
4 ~ 2 磁场和磁力线.....	(148)
4 ~ 3 电流的磁场.....	(151)
4 ~ 4 磁通量及磁感应强度.....	(153)
4 ~ 5 导磁系数.....	(155)
4 ~ 6 磁场强度及磁压.....	(156)
4 ~ 7 全电流定律.....	(157)
4 ~ 8 载流直长导线的磁场.....	(158)
4 ~ 9 铁磁性材料的磁化.....	(160)
4 ~ 10 循环交变磁化.....	(163)
4 ~ 11 磁路定律及磁路的计算.....	(166)

4~12 磁场对载流导线的作用力及 左手定则.....	(170)
4~13 电磁感应.....	(172)
4~14 在直线导体中的感应电势的产生.....	(176)
4~15 自感.....	(178)
4~16 互感.....	(181)
4~17 磁场能量.....	(183)
4~18 电磁铁.....	(186)
4~19 电铃.....	(187)
4~20 电话.....	(188)
4~21 扬声器.....	(189)
第五章 交流电的基本概念和定义	(196)
5~1 什么是交流电.....	(196)
5~2 交流电流的周期和频率.....	(197)
5~3 正弦电势的产生.....	(199)
5~4 相位与相位差.....	(201)
5~5 正弦量的图示法.....	(205)
5~6 正弦量的加减法.....	(209)
5~7 交变量的平均值.....	(213)
5~8 交变量的有效值.....	(215)
第六章 交流电路	(221)
6~1 概述.....	(221)
6~2 具有电阻的电路.....	(222)
6~3 具有电感的电路.....	(225)
6~4 具有电阻和电感的电路.....	(228)
6~5 具有电容的电路.....	(234)
6~6 具有电阻和电容的电路.....	(237)

6~7 具有电阻电感和电容的串连电路·····	(240)
6~8 具有电阻和电抗的并联电路·····	(245)
6~9 串联与并联电路的等值变换·····	(252)
6~10 多个阻抗串联, 并联和 混联交流电路·····	(253)
6~11 功率因数和它的提高·····	(263)
第七章 三相电路 ·····	(274)
7~1 三相制·····	(274)
7~2 三相发电机的接法·····	(276)
7~3 三相负载的星形接法·····	(280)
7~4 负载的三角形接法·····	(285)
7~5 三相交流电路的功率·····	(288)

第一章 电 场

§ 1 — 1 物质结构

自然界中的任何物质，都是由许多很小的质点——分子所组成的。分子又是由更小的质点——原子所组成的。

原子是由带正电的原子核和一些比原子核更小的带负电的质点——电子所组成的。电子围绕着原子核在一定的轨道上不停地运动，同时它也围绕着本身的轴而自转。

原子核的结构也很复杂，它是一些带正电的质子和一些不带电的中子所组成的。原子核内质子的数目等于绕原子核运动的电子的数目，而一个质子的电荷和一个电子的电荷其绝对值相等，但符号相反。因此原子核所带的正电荷，其绝对值等于绕核运动的全部电子所带的负电荷的绝对值，故每个原子对外不显电性。

组成任何元素原子的原子核和电子都各具有一定的质量和电荷量，所以叫做带电质点。原为核内质子和中子及绕核运动的电子的数目，对各种物质来说是各不相同的。

现在已被发现的 100 多种元素中，质量最小而结构最简单的是氢原子，它只有一个电子围绕着原子核运动。它的质量是电子质量的 1848 倍。电子的质量是 9.10660×10^{-28} 克，电荷量是 1.59×10^{-19} 库仑。其它元素的原子，都具有较多的电子，依不同的轨道围绕着原子核运动。例如，铜原子是由 29 个电子组成，这些电子排列成四层（电子层）围绕着原

子核运动。原子核内中子和质子的质量近似地相等。

§ 1 — 2 导体和电介质

所有物质根据其电的性质，可分为三类：导体、电介质（绝缘体）和半导体。

导体的特点是带电质点（电子和离子）在物体内部能自由移动，因此，它具有显著的导电性。导体可分为两种：第一种是金属，第二种是电解液。

在金属内，最外层轨道上的电子与原子核的联系比较弱，在靠近原子核轨道上的电子与原子核的联系比较强，所以在最外层的电子很容易离开它们自己运动轨道，从一个原子核的作用范围转移到另一个原子核的作用范围，也就是从一个原子转移到另一个原子，这种能够自由移动的电子叫做自由电子。

自由电子很活跃，同时处于不规则的运动（热运动）状态。

而带正电荷的原子核是组成导体的骨架，它不很活动，仅在自己所处的位置附近作不大的振动。

酸、碱和盐类物质，在溶剂的作用下，产生电离现象（即分子分离成离子），这些物质的分子能分离成正离子和负离子而成电解液。这些离子如同金属中的自由电子一样能在溶液中自由移动。

具有非常微少数量自由电子或离子的物质叫做电介质。它不可能有明显的电荷在它体积内自由移动。因为这种物质中的原子，使电子牢固地靠近原子核运动，不让它们自由地离开原子。

正常情况下的气体，一部分液体和除了金属与碳以外的大部分固体都属于电介质。但电介质在某种情况下（如在高温或高电压的作用下）它的分子也可以形成为离子，这时电介质就失去它的绝缘性质而变为导体了。

此外，还有介于导体和电介质之间的物质叫做半导体。如硅、硒、碲、锗、磷以及不少的氧化物（如氧化亚铜）等，目前应用最广的是硅和稀有金属锗。

半导体中的电子与原子核的联系，既不象导体那样弱，也不象电介质那样牢固；当受到外界的能量，例如光能和热能的作用时，原子振动剧烈，有些电子就脱离运动轨道而成自由电子。

半导体的应用非常广泛，可用来代替发电机和电池的发电，尤其是在无线电制造工业上，半导体晶体管可用来代替收音机和电视机等中的电子管，它具有整流，检波，放大等作用。

§ 1 — 3 电 场

在正常条件下，物体体积内的正电荷和负电荷的总数恰好相等，因而物体不显电性。

由于某种原因（例如摩擦，感应，接触），使物体中的电子增多，那么这物体就带有多余的负电荷；如果物体失去了一些电子，那么这物体就带有多余的正电荷。带有多余的正或负电荷的物体，都叫做带电体。

在带电体的周围存在着电场。

电场是物质的一种运动形态，具有一定的质量和能量。物质的带电质点和电场是物质存在的两种形式。如果在带电

质点周围的电场中，放入另一带电质点，那么这一带电质点就受到电场力的作用。

不随时间而变化的静止电荷的电场，叫做静电场。静电场是最简单的电场。

物体中的电子增多或减少时，电场的建立，以及正负电荷中和时电场的消失，都不是瞬时的，也就是说电场在空间的传播需要一定的时间。实验证明电场的传播速度和光速（300000公里/秒）相同。

为了帮助想象和用图来表示电场的方向、数值，常引用电力线的概念。电力线是想像的线，它可使电场形象化。

每根电力线都从正电荷出发，终止在负电荷上。任何两根电力线不能相交于一点。电力线的疏密程度可以表示电场的强弱。电力线愈密，电场愈强，反之亦然。

图1—1所示是两块平行放着的平板，使它们带有不同电

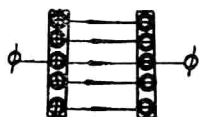


图1-1 两块平行板间电场

荷（正、负电荷）。则两板间的电力线是一组平行直线，在电场的各点上电力线的密度和方向都相同。这种电场叫均匀电场。

图1—2表示带有不同电荷的孤立带电球体的电场。电力

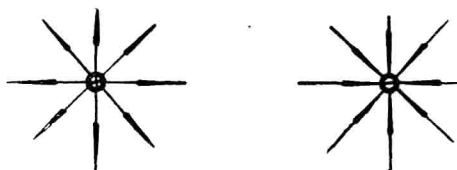


图1-2 带正电与带负电的孤立球体的电场

线沿圆周均匀分布，方向与半径方向一致，电力线的密度随着离开球体的距离而减小，这种电场叫不均匀电场。

图1—3表示两个带电球体带有等量正电荷和带有等量

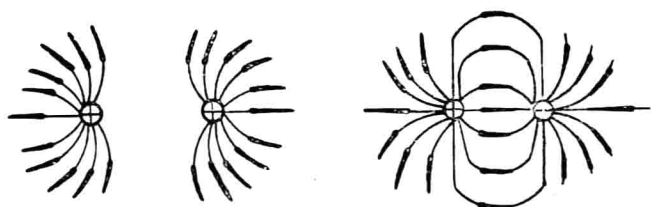


图1—3带有等量正电荷的电场和带有等量的正负电荷的电场

正、负电荷的电场。电力线的分布密度不均匀，所以也是不均匀电场。

§ 1—4 点电荷的电场

图1—4表示靠近带电小球 Q 的任意一点 A 的电场，这带电小球的尺寸和距离 R 比起来是很小的，所以认为分布在这球体上的电荷是集中在一点上，这样的带电小球叫做点电荷。

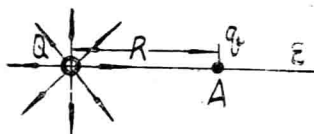


图1—4 点电荷电场

法国物理学家库仑经过一系列实验后得出如下结论：在均匀而各向同性的介质中两个点电荷 Q, q 的电场作用在这两个点电荷上的力 F 与这两个点电荷电量的乘积成正比，与其间的距离 R 的平方成反比。如果两个点电荷带有同号电荷，电场作用在这两个点电荷上的力是依直线方向互相排斥；带有不同电荷的电场作用

在这两个点电荷上的力是以直线方向互相吸引（图1—5），这就是大家所熟知的库仑定律，以下式表示：

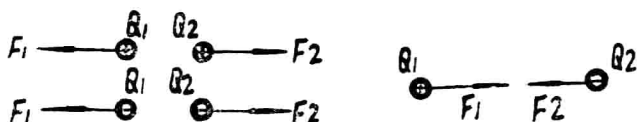


图1-5 两个点电荷的电场相互作用

$$F = K \frac{Q \cdot q}{R^2} \quad (1-1)$$

式中的 K 是一个比例常数，与两个点电荷 Q 、 q 和距离 R 所采用的单位有关，还与这两个点电荷周围介质有关。

如果这两个电荷处在真空中并采用静电单位制（CGS制）时，这时的 $K = 1 \frac{\text{达因} \cdot \text{厘米}^2}{\text{静电单位的电量}^2}$ 。如果采用的是实用单位制（MKSA制），那么常数 K 就不等于1。

$$\begin{aligned} K &= \frac{FR^2}{Qq} = \frac{\text{达因} \cdot \text{厘米}^2}{\text{静电单位的电量}^2} = \frac{10^{-5} \text{牛顿} \times 10^{-4} \text{米}^2}{\frac{10^{-9}}{3} \times \frac{10^{-9}}{3} \text{库仑}^2} \\ &= 9 \times 10^9 \frac{\text{牛顿} \cdot \text{米}^2}{\text{库仑}^2}. \end{aligned}$$

在合理化实用单位制中，为了得到便于计算的公式和方程式，由常数 K 中分出一个乘积 4π ，如果对真空来说，即：

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

ϵ_0 称为真空介电系数。

所以介质为真空时的库仑定律可用下式表示：

$$F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (1-2)$$

上式中的真空介电系数在实用单位制中的数值和单位是：

$$\begin{aligned} \epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi K} = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9 \frac{\text{牛顿} \cdot \text{米}^2}{\text{库仑}^2}} = \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{\text{库仑}^2}{\text{牛顿} \cdot \text{米}^2} \\ &= \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{\text{库仑}^2}{\text{焦耳} \cdot \text{米}} = \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{\text{库仑}}{\text{伏特} \cdot \text{米}} \end{aligned}$$

某物质的介电系数 ϵ 和真空介电系数 ϵ_0 的比值叫做相对介电系数（又叫介电常数），即：

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

相对介电系数是一个无名数。真空介电系数和空气介电系数的量值很相近，所以空气的相对介电系数亦为1。表1—1中列出了几种常用电介质的相对介电系数。

表 1—1 介质的相对介电系数

物 质	ϵ_r	物 质	ϵ_r
腊 纸	4.3	橡 皮	2.7
蒸 馏 水	80	云 母	6~7.5
空 气	1	玻 璃	5.5~8
矿 物 油	2.2	瓷	5.8
大 理 石	8.3	青 石	6.7
人 造 云 母	5.2		

所以一般情况下的库仑定律方程式以下式表示：

$$F = \frac{Qq}{4\pi\epsilon R^2} = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R^2} \quad (1-3)$$

但库仑定律只适用于点电荷，而对于任意的两个带电体，却不能当做点电荷来直接地应用库仑定律，计算它们的相互作用力。实验证明，我们可将带电体看作是许多点电荷的集合体，求出两个带电体上每一对点电荷的相互作用力，再求出这些力的合力，就可以得到两个带电体间的相互作用力。

〔例1—1〕 在点电荷 $Q_1 = 2 \times 10^{-7}$ 库仑所产生的电场中，放入另一点电荷 $Q_2 = 4.5 \times 10^{-7}$ 库仑， Q_2 所受的电场力为 $F = 0.1$ 牛顿，两个点电荷处在空气中。试求两点电荷之间的距离？

〔解〕 变化一下库仑定律方程式，得到

$$R = \sqrt{\frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r F}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^{-7} \times 4.5 \times 10^{-7}}{4\pi \cdot \frac{10^{-9}}{36\pi} \times 1 \times 0.1}}$$

$$= \sqrt{81 \times 10^{-4}} = 9(\text{厘米}).$$

电场作用于带电体的力，和这带电体的电荷量成正比。在电场中某一点处带电体所受的作用力的大小和它的电荷量大小的比，是一个一定数值，这个比值用来表示电场中这一点的电场强度，即：

$$E = \frac{F}{q} \quad (1-4)$$

由上式可知，电场强度的数值等于电场作用于单位电荷上的力；所以电场强度是描述电场的力的属性的物理量，由于这样，电场强度是向量，它的方向与电场作用在正电荷上

的力的方向相同。

在实用单位制中（简称 MKSA 制）：

用力的单位为牛顿（使质量为 1 千克的物体产生 1 米/秒²的加速度所需的力叫 1 牛顿）。

电量的单位为库仑（1 库仑 = 1 安培一秒）。

功的单位为焦耳（1 焦耳 = 1 牛顿一米）。

质量的单位为千克（公斤）。

长度的单位为米（公尺）。

时间的单位为秒。

故电场强度的单位：

$$[E] = \left[\frac{F}{q} \right] = \frac{\text{牛顿}}{\text{库仑}} = \frac{\text{焦耳}}{\text{米} \cdot \text{库仑}}。$$

以后我们还要讲到电压，它的单位是伏特（简称伏），伏特等于焦耳/库仑，因此

$$[E] = \frac{\text{伏特}}{\text{米}}。$$

〔例1—2〕在电场内某一点放一个 5×10^{-14} 库仑的试验电荷，所受到的电场力是 10^{-7} 牛顿，问这一点的电场强度是多少？

〔解〕代入公式：

$$E = \frac{F}{q} = \frac{10^{-7}}{5 \times 10^{-14}} = 2 \times 10^6 (\text{伏/米})。$$

电场强度的方向可用电力线来表示，电力线上任何一点的切线方向，就是这点的电场强度的方向。

电力线除能表示电场强度的方向外，还可表示电场强度的大小。使通过与电力线垂直的单位面积上电力线数等于（或正比于）电场强度的大小，则电力线的密度便可表示电