

中等专业学校教学用书

电 工 原 理

上海铁道学院编

人民铁道出版社

中等专业学校教学用书

电 工 原 理

上海铁道学院编

人民铁道出版社

一九六〇年·北京

本書系铁路中等专业学校有线通信、无线通信和自动控制与远程控制专业的教学用書。

本書主要阐述电磁場的基本概念，直流电路、交流电路和磁路的計算問題等。

本書除作教学用書外，还可供具有高中水平的讀者系統地学习电工基础知識之用。

中等专业学校教学用书
电 工 原 理

上海铁道学院編

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第010号

新华書店发行

人民铁道出版社印刷厂印

書号 1732 开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张 $10 \frac{1}{2}$ 字数 245千

1960年10月第1版

1960年10月第1版第1次印刷

印数 0,001—35,030册 定价 (9) 1.00 元

目 录

第一編 电磁場及直流电路

第一章 静电場	1
1-1. 静电場的概念.....	1
1-2. 电場强度.....	2
1-3. 电力綫.....	3
1-4. 点电荷的电場.....	5
1-5. 电位电压.....	10
1-6. 电压与电場强度的关系.....	13
1-7. 等位面.....	14
1-8. 导体和电介质.....	15
1-9. 电介质的极化.....	18
1-10. 电介质的击穿电場强度.....	19
第二章 直流电路	21
2-1. 电路的概念.....	21
2-2. 电势.....	22
2-3. 电流.....	23
2-4. 欧姆定律.....	25
2-5. 电阻和电导.....	28
2-6. 电阻和温度的关系.....	31
2-7. 电功和电功率.....	32
2-8. 电能轉变为热能.....	35
2-9. 具有几个电势的电路.....	37

2-10. 电位图.....	41
第三章 直流电路的计算	44
3-1. 克希荷夫定律.....	44
3-2. 电阻的串联.....	48
3-3. 电阻的并联.....	51
3-4. 电阻的混联.....	54
3-5. 直流输电綫.....	59
3-6. 利用克希荷夫定律解复杂电路(支路电流法).....	65
3-7. 網孔法(迴路电流法).....	68
3-8. 节点电压法.....	72
3-9. 重迭原理(迭加原理).....	76
3-10. 戴維南定理(等效发电机原理).....	78
3-11. 星形和三角形无源網絡的等效变换.....	84
3-12. 非綫性电路.....	90
第四章 电磁	97
4-1. 电流的磁場.....	97
4-2. 磁感应强度.....	99
4-3. 磁通.....	101
4-4. 两根平行載流直长导綫間的作用力.....	103
4-5. 磁場强度磁压.....	106
4-6. 全电流定律.....	107
4-7. 单根載流直长导綫的磁場.....	108
4-8. 两根平行載流直长导綫的磁場.....	111
4-9. 同軸电纜.....	113
4-10. 环形綫圈的磁場.....	114
第五章 磁路	117
5-1. 鉄磁材料的磁化.....	117
5-2. 循环交变磁化.....	120

5-3.	磁路的概念	122
5-4.	磁路的基本定律	123
5-5.	磁路的計算	124
第六章	电磁感应	129
6-1.	电磁感应现象	129
6-2.	电磁感应的基本定律	132
6-3.	自感应	138
6-4.	电感的近似計算	140
6-5.	互感应	143
6-6.	线圈的串联	147
6-7.	磁场力对载流导体所作的功	149
6-8.	磁场能量	151
6-9.	电磁铁	154
6-10.	涡流	155
第七章	电客电场能量	157
7-1.	高斯定理	157
7-2.	高斯定理的应用	159
7-3.	电容	162
7-4.	电容器的联接	163
7-5.	平板电容器	165
7-6.	圆柱形电容器	168
7-7.	两线线路間和单线对地之間的电容	170
7-8.	电场的能量	172
第八章	直流电路中的瞬态	175
8-1.	关于瞬态的一般概念	175
8-2.	具有电阻及电感电路接通直流电源时的瞬 态过程	176
8-3.	从直流电源开断电阻、电感电路的瞬态过程	

- 8-4. 电容器的充电过程184
- 8-5. 电容器的放电过程187
- 8-6. 电容器对线圈放电时的振荡迴路190

第二編 交流电路

第九章 交流电的基本概念198

- 9-1. 什么是交流电198
- 9-2. 正弦电势的产生199
- 9-3. 交流电的周期、频率及角速度200
- 9-4. 相角及相位差201
- 9-5. 正弦波的量值205
- 9-6. 正弦波的表示方式208
- 9-7. 同频正弦量的加减211

第十章 交流电路的计算214

- 10-1. 交流电路与直流电路的比较214
- 10-2. 纯电阻电路215
- 10-3. 纯电感电路218
- 10-4. 具有电阻和电感的支路231
- 10-5. 纯电容支路239
- 10-6. 具有电阻、电感和电容的串联支路232

第十一章 复数在交流电路中的应用237

- 11-1. 复数237
- 11-2. 以复数表示的正弦电流和电压241
- 11-3. 复数阻抗242
- 11-4. 复数功率246
- 11-5. 以复数表示的克希荷夫定律247
- 11-6. 阻抗的串联电路249
- 11-7. 阻抗的并联电路253

11-8. 有損失的电容器的等效电路	261
11-9. 功率因数的意义和提高功率因数的方法	263
11-10. 阻抗的混联电路	265
第十二章 諧振現象	269
12-1. 串联諧振	269
12-2. 并联諧振	275
12-3. 串并联諧振	276
第十三章 具有互感的电路	278
13-1. 具有互感的綫圈串联	278
13-2. 具有互感的两并联綫圈	281
13-3. 空心变压器	283
13-4. 理想变压器	287
第十四章 三相电路	290
14-1. 三相电路的基本知識	290
14-2. 三相发电机綫圈的連接	292
14-3. 負載为星形連接的对称三相电路	294
14-4. 負載为三角形連接的对称三相电路	300
14-5. 对称三相电路的功率	303
14-6. 星形和三角形的互換	305
14-7. 三相电流产生的旋轉磁場	309
第十五章 非正弦电路	313
15-1. 周期性函数分解为傅立叶級数	314
15-2. 非正弦电势或电流作用下电路的性質与 計算	320
15-3. 非正弦电流与电压的有效值	324
15-4. 非正弦电势或电流作用下的电路的功率	326

第一編 電磁場及直流電路

第一章 靜電場

1-1. 靜電場的概念

從物理學中知道，所有的物質都是由許多很小的質點——分子所組成的。分子又是由很多更小的質點——原子所組成的。

原子是由帶正電的原子核和一些比原子核更小的電子所組成。電子在圍繞着原子核外面的軌道上不斷地旋轉，同時它也圍繞着本身的軸而自轉。

原子核的結構也很複雜，它是由一些帶正電的質子和一些不帶電的中子所組成的。原子核內質子的數目，等於繞原子核運行的電子數目，而且質子的電荷等於電子的電荷。因此，原子核所帶的正電荷等於繞核運行的全部電子所帶的負電荷。

原子核內的質子和中子以及繞核運行的電子的數目，對各種物質來說是各不相同的。

有些電子與原子核的聯繫很鬆弛，它能夠離開原子核而成為自由電子。自由電子在原子之間能作不規則的運動，它也能落到該物體其他任何一個原子的軌道上去。

當物體內的原子中的電子過多或電子不足，該物體就稱為帶電的物體。

如果把另一個帶電體放在這個帶電體的周圍，前者就會

受到电力的作用。因此，我們就把对带电体具有电力作用的空間叫做电場。

1-2. 电場强度

如果在电場中的任一点 A ，放入試驗电荷^① q ，这时試驗电荷受到电場的作用力为 F_A 。現在我們把試驗电荷 q 移到电場中的另一点 B ，那末試驗电荷受到电場的作用力为 F_B (图 1-1)。我們知道，由于試驗电荷在电場中的位置不同，从而使电場对試驗电荷的作用力的大小和方向随着改变。也就是說，电場中的 A 点和 B 点的电場强弱程度和电場方向都不相同。

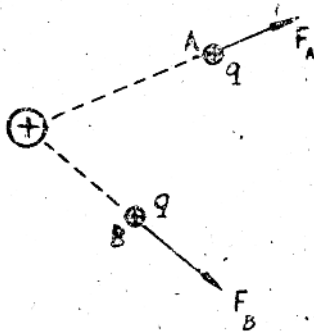


图 1-1

电場强度是表示电場中某点的电場强弱和方向的一个物理量。因此，电場强度是一个向量。电場中某一点的电場强度的方向与电場作用于該点上正电荷的力的方向相同。

电場中某一点的电場强度的数值等于放在該点的单位正电荷所受的电場力。如用 E 表示电場强度，則

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

式中 q —— 放入电場中的試驗电荷所带的电量；

F —— q 所受的电場力。

从 (1-1) 式可知，試驗电荷 q 在电場中任一点所受的电場力

① 試驗电荷是指放入电場后不影响原有电場分布情况的电荷。

$$F = Eq. \quad (1-2)$$

对于电场中任一点来说，电场强度 E 的数值是一定的，与试验电荷所带的电量 q 的大小无关。例如， q 增加到 n 倍，则 F 也相应地增加到 n 倍，但该点单位电荷所受的电场力仍为 $\frac{F}{q}$ 。这也就是我们用电场强度来表示电场特性的一个原因。

在绝对实用单位制中，力的单位为牛顿，电量的单位为库仑，故电场强度的单位为 $\frac{\text{牛顿}}{\text{库仑}}$ 。

根据 1 牛顿的力在 1 米路径上所作的功为 1 焦耳，即 1 牛顿 = $\frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 米}}$ ，故电场强度的单位为 $\frac{\text{焦耳}}{\text{库仑} \cdot \text{米}}$ 。

在 1-5 节中，我们将看到， $\frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 库仑}} = 1 \text{ 伏特}$ ，因此，电场强度的单位可简化成常用的单位 $\frac{\text{伏特}}{\text{米}}$ （以后伏特简单地用伏表示）。

1-3. 电力线

电场的分布情况可用电力线的图形来表示。

电力线是由很多点连接起来的曲线。电力线上每一点的切线方向，与这点的电场强度向量的方向相同。因此，电场内的电力线，能表示出电场内各点的电场强度的方向。

电力线是不封闭的，它是从带正电荷的物体上出发，而止于带负电荷的物体上。

电力线不但能表示电场内各点电场强度的方向，而且我们还可以用电力线的密度来表示电场强度的大小。与电场中某点的电场强度向量相垂直的单位面积上所穿过的电力线数，与该点的电场强度数值成正比。

图 1-2 表示孤立的带电体周围的电场。图 1-3 表示两个带电体之间的电场。从这个图中可看出，电场中不同的各点，其电力线的方向与电力线的密度是不同的，我们称这种电场为不均匀电场。

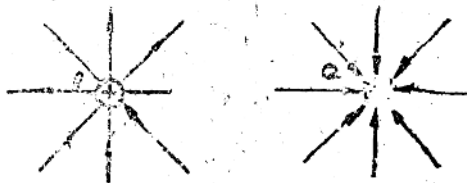


图 1-2

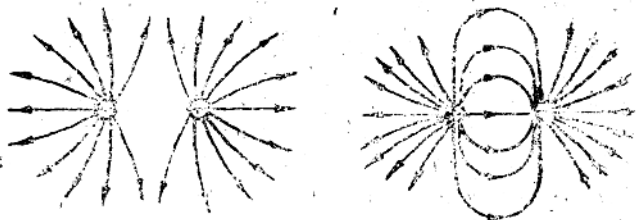


图 1-3

图 1-4 为两带电平行板的电场。图 1-5 为两带电平行板之间的电场。除两端外，平行板中间的电力线是相互平行的，而且电力线的密度也都相等。也就是说，在平行板中间的电场内，所有各点的电场强度的大小相等、方向相同。我们称这种电场为均匀电场。



图 1-4

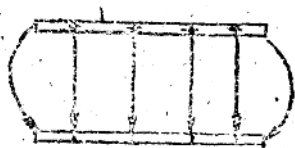


图 1-5

1-4. 点电荷的电場

为了验证电场的存在，如图 1-6 所示，我们把一个挂在丝线上的带正电荷 Q_1 的重量很轻的小球，移近到带正电荷 Q_2 的金属小球附近。这时，我们发现，无论把试验电荷 Q_2 从哪一方面移向电荷 Q_1 ， Q_2 总是被 Q_1 的电场力 F 所排斥。这就说明了金属球所在的空間内有电场存在着。

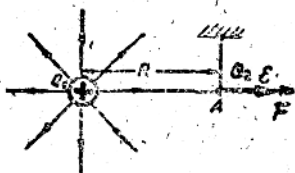


图 1-6

当带电小球的大小和它們之间的距离 R 比较起来是很小时，我們可以近似地认为分布在小球上的电荷集中在一点（球心）上，这样的带电小球叫做点电荷。实际上，理想的点电荷是不存在的。但在上述情况下，我们把带电小球作为点电荷来处理，可以简化计算过程，而结果也是足够精确的。

庫侖通过一系列的实验后，得出下列结论：在任一均匀媒质中，点电荷 Q_1 的电场作用于点电荷 Q_2 的电场力 F ，和两个点电荷所带的电量成正比，和它們之间的距离平方成反比，并且还与两点电荷所在处周圍的媒质有关，这就是大家所熟知的庫侖定律。庫侖定律可用下列关系式来表示：

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi R^2 \epsilon}, \quad (1-3)$$

式中 ϵ ——由考虑媒质影响的数值，叫做介电系数。

两个点电荷相互作用力的方向是由点电荷的带电的性质决定的。当它們所带的电同时为正或同时为负时，相互間的作用力是斥力；如果两个点电荷所带的电的性质不同时，它們之間的相互作用力是吸力。但是，不論它們之間的相互作

用力是吸力还是斥力，作用力总是在联接两个点电荷的直线上。

图 1-6 中，A 点的电场强度

$$E_A = \frac{F}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi R^2 \epsilon_0} \quad (1-4)$$

(1-4) 式的分母中， $4\pi R^2$ 是以点电荷 Q_1 为中心、以 R 为半径（经过 A 点）的球面积，因而在点电荷 Q_1 的电场中，以 R 为半径的球面上的各点，其电场强度的大小是相等的（但方向是不同的）。

从 (1-4) 式中可得出介电系数的计量单位为：

$$\frac{\text{库仑} \cdot \text{米}}{\text{米}^2 \cdot \text{伏}} = \frac{\text{库仑}}{\text{伏} \cdot \text{米}}$$

不同的物质有不同的介电系数。根据实验，真空与空气的介电系数（很相近）。

$$\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{库仑} / \text{伏} \cdot \text{米}。$$

我们可以把真空的介电系数与物质的介电系数相比较。

表 1-1

物 质	ϵ_r
腊 纸	4.3
蒸 馏 水	8.0
空 气	1.00
矿 物 油	2.2
大 理 石	8.3
人 造 云 母	5.2
橡 皮	2.7
云 母	6~7.5
玻 璃	5.5~8
瓷	5.8
青 石	6.7

某一物质的介电系数 ϵ 与真空的介电系数 ϵ_0 的比较叫做这物质的相对介电系数，用 ϵ_r 来表示：

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1-5)$$

因而

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad (1-6)$$

相对介电系数是一个无名数（没有单位）。

表 1-1 中列出了几种常用电介质的相对介电系数。

【例】在点电荷 Q_1 ($=2 \times 10^{-7}$ 库

命) 所产生的电场中, 放入另一点电荷, 它所带的电量 $Q_2 = 4.5 \times 10^{-7}$ 库仑, 设两点电荷间的介质为空气, 而点电荷 Q_2 所受的电场力为 0.1 牛顿, 试求这两个点电荷之间的距离。

$$\begin{aligned}
 \text{【解】} \quad R &= \sqrt{\frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r F}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \times 10^{-7} \times 4.5 \times 10^{-7}}{4\pi \cdot \frac{10^{-7}}{36\pi} \times 1 \times 0.1}} \\
 &= \sqrt{81 \times 10^{-4}} \\
 &= 9 \text{ 厘米。}
 \end{aligned}$$

如果电场不是由一个, 而是由两个点电荷所产生的, 在这样的电场中, 假如引入第三个点电荷, 这时前两个点电荷的电场作用于第三个点电荷上的力, 可用迭加原理来求得。

首先我们假设第二个点电荷不存在时, 第一个点电荷 Q_1 的电场对第三个点电荷 Q_3 的作用力为 F_1 , 则

$$F_1 = \frac{Q_1 Q_3}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r R_1^2},$$

式中 R_1 ——第一个和第三个点电荷之间的距离。然后, 我们再假设第一点电荷不存在, 那末第二个点电荷 Q_2 的电场对第三个点电荷的作用力

$$F_2 = \frac{Q_2 Q_3}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r R_2^2},$$

式中 R_2 ——第二个和第三个点电荷之间的距离。

但是, 事实上点电荷 Q_1 和点电荷 Q_2 的电场同时对点电荷 Q_3 具有电场力的作用。根据迭加原理, 两个点电荷 Q_1 和 Q_2 的电场对第三个点电荷的作用

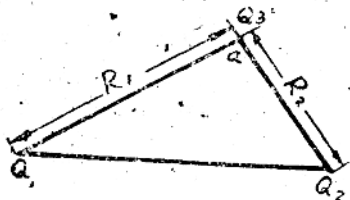


图 1-7

力 F 等于两个点电荷的电场分别作用于第三个点电荷时两个作用力的几何和，即

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2。$$

点电荷 Q_1 和 Q_2 在 Q_3 处的电场强度各为：

$$E_1 = \frac{F_1}{Q_3} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1^2}，$$

与

$$E_2 = \frac{F_2}{Q_3} = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_2^2}。$$

而点电荷 Q_1 和 Q_2 在 Q_3 处的合成电场强度 E 为：

故
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_3}，$$

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2。$$

【例】已知在同一直线上有三个带正电的点电荷： $Q_1 = 3 \times 10^{-8}$ 库仑； $Q_2 = 6 \times 10^{-8}$ 库仑和 $Q_3 = 4.5 \times 10^{-7}$ 库仑。 Q_1 与 Q_3 之间的距离 $R_1 = 0.3$ 米， Q_2 与 Q_3 之间的距离 $R_2 = 0.2$ 米。如果周围的电介质是空气，试求 Q_1 、 Q_2 作用于 Q_3 的电场力和 Q_3 所在处的电场强度。

【解】先求 Q_1 的电场作用于 Q_3 的力 F_1 和 Q_2 的电场作用于 Q_3 的力 F_2 ：

$$F_1 = \frac{Q_1 Q_3}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1^2} = \frac{3 \times 10^{-8} \times 4.5 \times 10^{-7}}{4\pi \times \frac{10^{-9}}{36\pi} \times 0.3^2}$$

$$= 1.35 \times 10^{-3} \text{ 牛頓，}$$

$$F_2 = \frac{Q_2 Q_3}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_2^2} = \frac{6 \times 10^{-8} \times 4.5 \times 10^{-7}}{4\pi \times \frac{10^{-9}}{36\pi} \times 0.2^2}$$

$$= 6.08 \times 10^{-3} \text{ 牛頓。}$$

由于 F_1 、 F_2 都是斥力，它们的作用线都在同一直线上，故 Q_1 和 Q_2 共同作用于 Q_3 的电场力 F 为

$$F = F_1 + F_2 = (1.35 + 6.08) \times 10^{-3} = 7.43 \\ \times 10^{-3} \text{ 牛頓。}$$

所以， Q_3 所在处的電場強度

$$E_1 = \frac{F_1}{Q_3} = \frac{1.35 \times 10^{-3}}{4.5 \times 10^{-7}} = 3 \times 10^3 \text{ 伏/米，}$$

$$E_2 = \frac{F_2}{Q_3} = \frac{6.08 \times 10^{-3}}{4.5 \times 10^{-7}} = 1.35 \times 10^4 \text{ 伏/米。}$$

因為電場強度的方向是與電場作用於正電荷的力的方向相同，因而現在 E_1 的方向和 F_1 相同， E_2 的方向是與 F_2 相同，故 Q_3 處的電場強度 E 為：

$$E = E_1 + E_2 = 3 \times 10^3 + 1.35 \times 10^4 = 1.65 \times 10^4 \text{ 伏/米。}$$

顯然， Q_3 處的電場強度也可從 Q_3 所受的電場力來求得，即

$$E = \frac{F}{Q_3} = \frac{7.43 \times 10^{-3}}{4.5 \times 10^{-7}} = 1.65 \times 10^4 \text{ 伏/米。}$$

【例】如圖1-7， $Q_1 = 5 \times 10^{-9}$ 庫侖， $Q_2 = 2 \times 10^{-9}$ 庫侖， $Q_3 = 3 \times 10^{-9}$ 庫侖，如電場中的電介質為空氣， Q_1 與 Q_3 間的距離 $R_1 = 0.08$ 米， Q_2 與 Q_3 間的距離 $R_2 = 0.06$ 米。試求：

(1) Q_1 、 Q_2 的電場對 Q_3 的作用力；(2) Q_3 所在點的電場強度。

$$\text{【解】(1) } F_1 = \frac{Q_1 Q_3}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1^2} = \frac{3 \times 10^{-9} \times 4.5 \times 10^{-7}}{4\pi \times \frac{10^{-9}}{36\pi} \times 0.3^2} = \\ = 1.35 \times 10^{-3} \text{ 牛頓，}$$

$$F_2 = \frac{Q_2 Q_3}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_2^2} = \frac{6 \times 10^{-9} \times 4.5 \times 10^{-7}}{4\pi \times \frac{10^{-9}}{36\pi} \times 0.2^2} = \\ = 6.08 \times 10^{-3} \text{ 牛頓。}$$

因 F_1 與 F_2 成 90° ，故 Q_1 、 Q_2 的電場對 Q_3 所作用的合力 F 為：

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{0.0206^2 + 0.015^2} = 0.0259 \text{ 牛頓。}$$