

电工与电路基础

中国广播电视出版社

T01

DIAN GONG YU
DIAN LU JI CHU



电工与电路基础

● 王明庄 等编著 ●

● 中国广播电视出版社 ●

电工与电路基础

王明庄 等编著

中国广播电视出版社

(京)新登字 097 号

DM38/3323

图书在版编目(CIP)数据

电工与电路基础/王明庄等编著. —北京:中国广播电视出版社, 1991. 11(1997. 4 重印)

ISBN 7-5043-1258-4

I. 电… I. 王… III. ①电工学②电路理论 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 06252 号

TM1
WMZ

中国广播电视出版社出版发行

(北京复外真武庙二条 9 号 邮政编码:100866)

河北省地质局地质六队美术胶印厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 16 开 384(千)字 16.5 印张

1996 年 11 月第 1 版 1998 年 8 月第 5 次印刷

印数:21601—24626 册 定价:19.00 元

前 言

本教材是受广播电影电视部教育司的委托,根据值机员培训计划中《电工与电路基础》课程培训大纲编写的。本教材是值机员岗位培训的基础教材,也可作为乡镇广播站机务员岗位培训的基础教材。

《电工与电路基础》是无线电专业的一门主要基础课。电台、电视台和微波站的值机员通过这门课程的学习可以掌握电路的基本原理和基本分析方法,并能进行简单的电路计算,为进一步学习较深的电路理论,解决各种复杂的实际问题打下基础。

全书共分十四章。其中第一章至第八章是电工学的主要内容,介绍了基本的直流、交流电路和三相电路,以及常用的电工仪表的原理与使用方法。第九章介绍了谐振电路;第十章是互感耦合电路;第十一章介绍二端口网络,这几种电路都是无线电技术中广泛使用的基本电路,其中二端口网络涉及的理论分析稍多一些。第十二章介绍了非正弦周期信号及其分析方法。第十三章分析了电路中的过渡过程。第十四章是分布参数电路。

各单位在组织培训的过程中,可以根据学员的实际水平和所从事的专业,对教材中的部分内容,特别是第十章以后的内容进行适当删节和取舍。

本书在编写过程中力求做到内容简明、语言通俗,着重阐明物理概念,避免繁琐的数学推导,适合具有高中文化水平的值机员和无线电技术人员阅读,既可作为岗位培训的基础教材,也可以作为广播电视技术业务培训班、中专专业证书班的基础教材。

参加本书编写工作的有王明庄、林昌等同志。全书经王明庄同志修改定稿。本书在编写过程中,参考了国内有关培训教材和中专教材的部分章节,并得到许多同志的帮助和指教,在此一并表示感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中有错误和不妥之处,请读者指正。

编 者

1991年4月

出版者的话

根据广播电影电视部关于开展值机员岗位培训的要求,我们编辑出版了六种岗位培训教材:《无线电数学》、《电工与电路基础》、《模拟与数字电路》、《广播发送技术》、《电视调频发送技术》、《微波技术》。教材力求文字简明、概念正确、结合岗位工作实际,适合于具有高中文化程度的技术人员阅读。

广播电影电视部教育司

目 录

第一章 电荷与电场	(1)
1.1 电荷与物质的电结构.....	(1)
1.2 导体、半导体和绝缘体.....	(2)
1.3 电场力和电场强度.....	(3)
1.4 电位与电位差.....	(4)
1.5 电容与电容器.....	(6)
1.6 电容器中的电场能量.....	(9)
1.7 静电场的屏蔽.....	(10)
1.8 尖端放电.....	(10)
第二章 简单直流电路	(13)
2.1 电路的基本构成.....	(13)
2.2 电阻与电导.....	(14)
2.3 欧姆定律.....	(16)
2.4 电功率与电流热效应.....	(18)
2.5 电阻的串联与并联.....	(21)
2.6 电源的串联与并联.....	(27)
第三章 复杂直流电路的分析与计算	(30)
3.1 基尔霍夫定律.....	(30)
3.2 基尔霍夫定律的应用.....	(32)
3.3 叠加原理.....	(35)
3.4 戴维南定理.....	(37)
3.5 负载获得最大功率的条件.....	(38)
3.6 电流源与电压源的等效互换.....	(39)
3.7 电桥电路.....	(41)
3.8 星形和三角形网络的等效互换.....	(44)
第四章 磁场、磁路及电磁感应	(49)
4.1 磁铁和磁极.....	(49)
4.2 磁场和磁力线.....	(50)
4.3 电流产生的磁场.....	(51)
4.4 磁路的基本组成.....	(52)
4.5 磁场强度和磁化曲线.....	(54)
4.6 电磁力.....	(58)

4.7	电磁感应现象和电磁感应定律	(60)
4.8	自感与互感	(63)
4.9	涡流	(66)
4.10	电感线圈中的磁场能量	(67)
第五章	正弦交流电路的基本概念	(71)
5.1	正弦交流电的三要素	(71)
5.2	正弦交流电的周期、频率和角频率	(72)
5.3	初相角及相位差	(73)
5.4	正弦交流电的有效值与平均值	(74)
5.5	复数及其四则运算	(75)
5.6	正弦量的相量表示法	(78)
5.7	正弦交流电路中的电阻元件	(80)
5.8	正弦交流电路中的电感元件	(83)
5.9	正弦交流电路中的电容元件	(87)
第六章	正弦交流电路的计算	(93)
6.1	复数形式的基尔霍夫定律	(93)
6.2	电阻与电感的串联电路	(94)
6.3	电阻与电容的串联电路	(96)
6.4	电阻、电感和电容串联电路	(99)
6.5	复数阻抗的串联与并联	(101)
6.6	交流电路的功率和功率因数	(104)
第七章	三相交流电路	(107)
7.1	三相交流电源	(107)
7.2	三相电源的接法	(109)
7.3	三相负载的接法	(111)
7.4	三相功率的计算	(118)
7.5	保护接地和保护接零	(119)
第八章	电工测量的基本知识	(123)
8.1	电工测量仪表的基本知识	(123)
8.2	常用电工仪表的构造原理及用途	(129)
8.3	电流表及电流的测量	(133)
8.4	电压表及电压的测量	(136)
8.5	电阻表及电阻的测量	(138)
8.6	电度表及电能的测量	(141)
8.7	万用表及其使用	(143)
第九章	谐振电路	(148)
9.1	串联谐振电路	(148)
9.2	并联谐振电路	(155)

9.3	谐振电路的应用举例	(161)
9.4	压电谐振体	(162)
第十章	互感耦合电路及变压器	(164)
10.1	互感线圈的串联和并联	(164)
10.2	互感耦合电路的反射阻抗	(168)
10.3	理想变压器	(169)
10.4	几种常见变压器的分析方法	(171)
第十一章	二端口网络	(177)
11.1	什么叫二端口网络	(177)
11.2	二端口网络的基本方程和参数	(179)
11.3	二端口网络的输入阻抗、输出阻抗和传输函数	(187)
11.4	线性二端口网络的等效电路	(191)
11.5	二端口网络的特性阻抗与传输常数	(194)
11.6	相移器、衰减器和滤波器简介	(199)
第十二章	非正弦周期信号	(204)
12.1	非正弦周期信号的产生	(204)
12.2	非正弦周期信号的谐波分析和频谱	(205)
12.3	波形和谐波成份的某些关系	(208)
12.4	非正弦周期信号作用下的线性电路	(211)
12.5	非正弦周期信号的有效值和功率	(214)
第十三章	电路中的过渡过程	(217)
13.1	电容、电感在换路时的情况	(217)
13.2	RC 电路的过渡过程	(220)
13.3	RL 电路的过渡过程	(225)
13.4	要素法求解 RC 、 RL 电路的过渡过程	(227)
13.5	RLC 串联电路的过渡过程	(229)
第十四章	均匀传输线	(233)
14.1	分布参数电路的概念	(233)
14.2	均匀传输线的正弦稳态响应方程式	(234)
14.3	均匀传输线上的波和传播特性	(237)
14.4	终端接有负载的传输线	(241)
14.5	无损传输线	(243)

第一章 电荷与电场

1.1 电荷与物质的电结构

摩擦生电是人们很早就发现了一种客观现象。最简单的摩擦生电实验是用丝绸摩擦玻璃棒，丝绸和玻璃棒都会带电，它们都能吸引纸屑等轻微物体。我们把塑料钢笔杆在头发上摩擦，钢笔杆也能吸起小纸片。这种现象叫做物体带有电，或者说带有电荷。

为了研究电荷的特性，我们将用丝绸摩擦过的玻璃棒用一根细线悬吊起来，然后用另一根丝绸摩擦过的玻璃棒靠近吊起来玻璃棒的一端，这两根玻璃棒会互相排斥，如图1-1所示。同样，两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒也会互相排斥，但是，如果用毛皮摩擦过的硬橡胶棒去靠近被丝绸摩擦过的玻璃棒，那么，玻璃棒就会被橡胶棒所吸引。

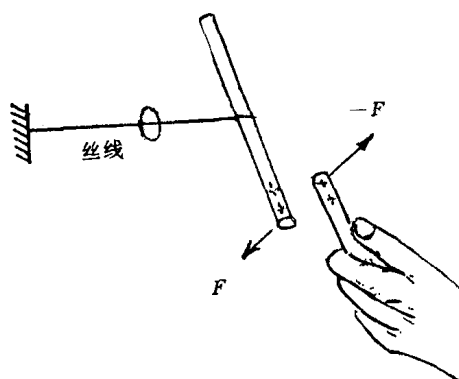


图1-1 电荷之间的相互作用力

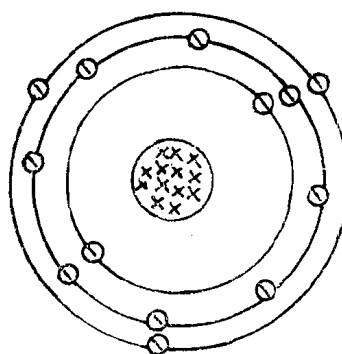


图1-2 铝原子的结构示意图

上述现象可以说明，在摩擦过程中，棒上产生了电荷，电荷之间存在着力的作用，或是相吸，或是相斥。显然，玻璃棒和橡胶棒上所带的电荷是性质不同的，玻璃棒上的电荷叫做正电荷，橡胶棒上的电荷叫做负电荷。因此，我们从摩擦生电的现象中得出以下三点结论：

- 第一，摩擦可以使物体带电；
- 第二，电荷有正、负之分；
- 第三，电荷与电荷之间有相互作用力。同性电荷相排斥，异性电荷相吸引。

为什么不同物体摩擦后会带有电荷，这些电荷是从哪里来的？回答这些问题需要从物质的电结构谈起。大家知道，自然界的一切物质都是由分子组成，分子则是由更小的微粒——原子组成。一般地讲，原子的性质和原来物质的性质已经没有相同之处了。例如水分子是

由两个氢原子和一个氧原子构成，但是氧原子和氢原子都不具有水的任何性质。

原子还可以继续分裂为一个原子核和一些围绕原子核旋转的电子。原子核又分为质子和中子，中子不带电荷，质子带正电荷，所以原子核带正电荷。电子带负电荷，并按一定的轨道围绕原子核旋转。图 1-2 为铝原子的结构示意图。每个质子所带的电荷量和每个电子所带的电荷量相等，均为 1.6×10^{-19} 库仑。

实验证明，各种元素的原子核所含的质子数和中子数都是不相同的，因而原子核所带的电荷也不相同。但是无论哪种元素的原子，在正常状态下，原子核内质子的数目总是等于绕核旋转的电子数目，所以原子呈中性状态。图 1-2 所示的铝原子，原子核带有 13 个正电荷，外层电子共有 13 个，分三层围绕原子核旋转，对外不显带电，所以在一般情况下物质不带电。

当丝绸摩擦玻璃棒时，棒的温度将要升高，棒内分子、原子的热运动增强，使得原子外层电子比较容易摆脱原子核的束缚而跑出来，闯进丝绸中，结果失去电子的玻璃棒带正电，获得电子的丝绸就带负电。玻璃棒失去多少电子，丝绸就增加多少电子，玻璃棒所带正电荷的多少正好等于丝绸所增加的负电荷的多少。由此可见，电荷是一种客观存在的物质，既不能创造，也不能消失，只能从一个物体转移到另一个物体，这叫电荷守恒。

1.2 导体、半导体和绝缘体

根据物质导电性能可分为导体、半导体和绝缘体三类。

导体的特点是带电的质点（电子和离子）能在物体内部自由移动，因此具有显著的导电性。导体有两类，一类是金属和碳。在这类导体中，其原子结构的特点是最外层轨道上的电子很容易在外力的作用下挣脱原子核的束缚而成为自由电子，这些自由电子在外电场的作用下按相同方向流动就形成电流。铜、铝等金属材料常用来做导线，就是因为它们具有良好的导电性能。第二类导体是电解液，如酸类、盐类和碱类的溶液，在溶剂的作用下将产生电离现象，把分子分解成正离子和负离子。所以离子和电子是不同的，正离子是缺少电子的原子，负离子是电子过多的原子，这些离子如同金属中的自由电子一样，能在溶液内自由移动，参加导电而形成电流。

在绝缘体中，原子核对电子的束缚力很强，在一般条件下不能产生大量的自由电子，因此不易导电，如橡胶、塑料、玻璃、云母、陶瓷、电木和干燥空气等都是良好的绝缘体。导线的外皮，电木开关和电工工具的绝缘手柄都是用这类材料做成。但是当电压过高而将绝缘体击穿时，绝缘体也会导电，因此任何绝缘材料都有一定的耐压限度，超过限度就不能保证安全。

还有一类介于导体和绝缘体之间的物质叫半导体。这类物质的电子既不像导体那样容易挣脱原子核的束缚，又不像绝缘体那样被原子核紧紧束缚，所以它们的导电性能介于导体和绝缘体之间，如硅、锗、锑以及不少氧化物（如氧化亚铜）和硫化物（如硫化铋）等。

由于半导体有许多特殊的性质，因此其用途非常广泛，尤其是在现代电子技术中，半导体器件和材料有着广泛的应用，各种晶体管、集成电路都是用半导体材料制成的。

1.3 电场力和电场强度

两个带电体之间存在着力的作用，这个力叫电场力。电场力的大小不仅和带电体所带的电量有关，而且还和它们的形状、大小及周围的介质有关，情况比较复杂。当两个带电体之间的距离比带电体的大小大得多的情况下，我们可以把带电体当成点电荷，点电荷之间的作用力可以用库仑定律求得：

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2} \quad \text{牛顿(N)} \quad (1-1)$$

式中： F 表示两个点电荷之间的作用力，单位为牛顿。 q_1 、 q_2 分别代表两个点电荷的电量，单位为库仑。 r 为两点电荷之间的距离，单位为米。 ϵ 为介电系数，它与电介质的性质有关。

库仑定律说明，在均匀介质中，两个点电荷的相互作用力，和它们电荷量的乘积成正比，和距离平方成反比。

在真空中介电系数用 ϵ_0 表示，它是一个常数，可表示为：

$$\epsilon_0 \approx 8.854 \times 10^{-12} \text{法/米 (F/m)}$$

在实用中常引入相对介电系数的概念，它是某一介电质的介电系数与真空中介电系数 ϵ_0 的比值，用 ϵ_r 表示，即：

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1-2)$$

由于真空中的介电系数最小，所以 ϵ_r 总是大于1。引入相对介电系数后，库仑定律便可写成下列形式：

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r r^2} \quad (1-3)$$

相对介电系数没有单位。空气中的介电系数和真空中的介电系数数量值接近，所以空气的相对介电系数等于1，其它介电质的相对介电系数都大于1。常见物质的相对介电系数如

表1-1 常用介质的相对介电系数

介 质	ϵ_r	介 质	ϵ_r
空 气	1	瓷	5.8
矿物油	2.2	青 石	6.7
橡 皮	2.7	云 母	6~7.5
蜡 纸	4.3	大理石	8.3
人造云母	5.2	赛璐珞	4~16
玻 璃	5.5~5.8	水	80~81

表1-1所示。

[例1-1] 两点电荷的电量分别为50微库与-50微库(1微库=10⁻⁶库)，在空气中相距50厘米，试求该两电荷之间的作用力。

[解] 根据库仑定律，

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} = \frac{50 \times 10^{-6} \times (-50 \times 10^{-6})}{4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 1 \times 0.5^2} \approx -89.93 \text{ 牛顿}$$

负号表示两电荷是相互吸引。

带电体的周围具有电场力作用的空间叫做电场。有电荷存在的地方，电荷周围就有电场。静止电荷产生的电场不随时间变化，我们称为静电场。

电场的大小和方向可以用电力线来表示。电力线都是从正电荷出发，到负电荷终止，电力线必须垂直于带电体表面，并且任何两条电力线都不会相交。电力线箭头所示的方向，代表该点正电荷受力的方向；电力线的疏密程度，表示电场的强弱。图1-3为两平

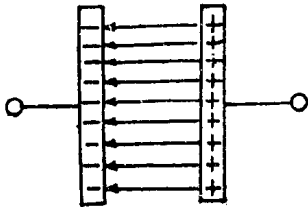


图1-3 平行极板之间的电场

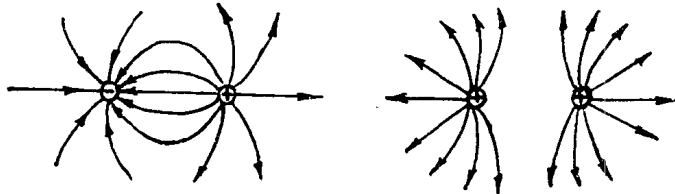


图1-4 非均匀电场

行极板间的电场，电力线从带正电荷的极板出发，终止在带负电荷的极板上。在这种情况下，电力线是一组疏密均匀的平行直线，说明电场内的电场力大小和方向均相同，这种电场叫均匀电场。图1-4是带有等量正电荷和带有等量异性电荷的电场，这些电场都是非均匀电场。必须指出，实际上电力线并不存在，只是人们用来形象描述电场的一种方法。

为了定量地描述电场，引入了电场强度的概念。在静电场中的某一确定点，实验正电荷所受的力与它所带电量之比是一个常数，这个比值称为电场强度，用符号 E 表示，即

$$E = \frac{F}{q_0} \text{ 牛顿/库仑} \quad (1-4)$$

上式说明，电场中任一点的电场强度，在数值上等于单位正电荷所受的电场力的大小；电场强度的方向就是正电荷受力的方向。在实用制单位中，电场强度的单位用伏特/米表示， $1 \text{ 伏特/米} = \frac{1 \text{ 焦耳/米}}{1 \text{ 库仑}} = \frac{1 \text{ 牛顿}}{1 \text{ 库仑}}$ 。

1.4 电位与电位差

有带电体存在就有电场存在，电荷在电场中受到电场力的作用，因此电荷在电场中移动就需要做功。如果将一个单位正电荷从电场强度为零的无限远处移到正电场内某一点，

外力必须克服电场力做功，我们把外力将单位正电荷从无限远处移到电场内某一点，克服电场力所做的功叫做该点的电位。电场中每一点都有一个确定的电位值，所谓电位，就是单位正电荷在这一点所具有的电位能，用 V 表示。

在图1-5中，外力把单位正电荷从电场外移到电场内 a 点，外力克服电场力所做的功为 W ，如果电荷的电量为 q ，则点 a 的电位为：

$$V = \frac{W}{q} \quad (1-5)$$

电位是表示电场内能量的一种物理量，实验证明，电位与电荷所带电量的大小无关，因为电量增大多少倍，外力所做的功也增加同样的倍数，故电位只与位置有关，电场中每一点都有一个确定的电位。

一般规定，电荷在电场力作用下移动时，电场力所做的功为正值，电荷在外力作用下，反抗电场力移动时，电场力所做的功为负值，实际上是外力做功。电场力做正功，电荷位能减少，电场力做负功，电荷位能增加。在上述例子中，外力将正电荷从无限远处移到 a 点，电场力做负功，单位正电荷位能增加为 V_a 。

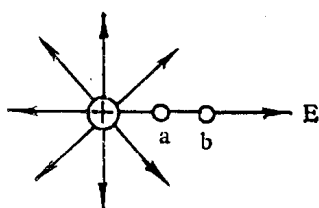


图1-5 电场中某点的电位

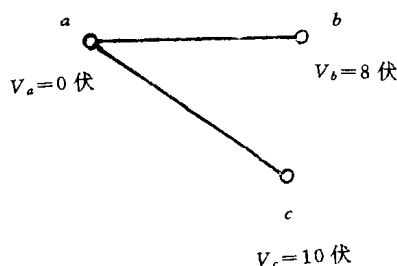


图1-6 电场中零电位点的选择

在实际应用中，常常用到的不是电场中某点的电位，而是某一点与另一点之间的电位差，就是我们平时说的电压。例如在图1-5中，要使正电荷 q 从 b 点移到 a 点，就得用外力做功，外力克服电场力所做的功就是正电荷 q 增加的位能，即：

$$W = q(V_a - V_b)$$

式中， $V_a - V_b$ 叫做 a 、 b 两点间的电位差，也称做 a 、 b 两点间的电压，用 U 表示。故上式可写成：

$$U = \frac{W}{q} \quad (1-6)$$

在实用单位制中，功与能量的单位用焦耳，电压与电位的单位用焦耳/库仑，也叫伏特，因此

$$1 \text{ 伏特} = 1 \frac{\text{焦耳}}{\text{库仑}}$$

电压常用的大单位是千伏(kV)，1千伏 = 10^3 伏特，常用的小单位是毫伏(mV)和微伏(μV)，1毫伏 = 10^{-3} 伏特，1微伏 = 10^{-6} 伏特。

在实际应用中，我们常引入零电位的概念。零电位实际上是一个基准，确定零电位之

后，才能计算其它各点的电位。

前面曾提到，点电荷电场在无限远处的电位为零。实际上，电场内任一点的电位都可以当作零电位。选择不同的零电位点，电场各点的电位也不相同，所以电场内任一点的电位其大小与零电位点的选择有关，但是电场内任意两点之间的电位差，即电压都与零电位点的选择无关。例如图1-6表示某一电场中的a、b、c三点的电位，如果选a点为零电位点， $V_a = 0$ 伏，则 $V_b = 8$ 伏， $V_c = 10$ 伏。

那么可求得它们之间的电压分别为：

$$U_{ab} = V_a - V_b = 0 \text{伏} - 8 \text{伏} = -8 \text{伏}$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = 0 \text{伏} - 10 \text{伏} = -10 \text{伏}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 8 \text{伏} - 10 \text{伏} = -2 \text{伏}$$

若选b点为零电位点，则a、b、c三点的电位分别为 $V_a = -8$ 伏； $V_b = 0$ 伏； $V_c = 2$ 伏

可求得它们之间的电压分别为：

$$U_{ab} = V_a - V_b = -8 \text{伏} - 0 \text{伏} = -8 \text{伏}$$

$$U_{ac} = V_a - V_c = -8 \text{伏} - 2 \text{伏} = -10 \text{伏}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = 0 \text{伏} - 2 \text{伏} = -2 \text{伏}$$

由此可见，无论选电场中哪点为零电位，电场中任意两点之间的电压是不变的。通常为了方便起见，把大地的电位当作零电位。

1.5 电容与电容器

用电介质把两个任何形状的金属体分开，就能储存电量，构成一个电容器，这两个金属体叫做电容器的极板。

如果把电容器的两个极板分别接到电源的正负电极上，如图1-7所示。在电场力的作用下，电源负极的自由电子将移向与它连接的极板上；另一极板的自由电子将移向电源的正极，使极板上出现等量的正电荷。这一过程直至该极板和另一极板上的电压与电源电压相等为止。

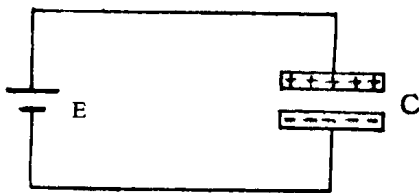


图1-7 电容器极板上的电荷

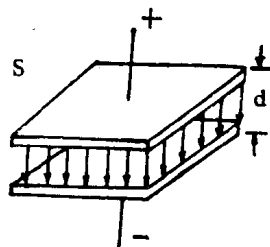


图1-8 平板电容器

电容器所能存储的电量 Q 与电容器两极板的电压成正比，这个比例常数叫做电容，用 C 表示，则：

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-7)$$

式中， C 的单位是法拉(F)； Q 的单位是库仑； U 的单位是伏特。

在实用时，法拉的单位太大，所以采用较小的单位，即微法(μF)或皮法(pF)。1微法 = 10^{-6} 法拉，1皮法 = 10^{-12} 法拉。

一个孤立的导体，本身就是一个极板，而大地是另一个极板，这样就构成了一个电容器，导体的电位就是它与大地之间的电压。

两块相互平行的极板，中间有介质隔开，就组成了平板电容器，如图1-8所示。如平板电容极板间的距离远小于极板的长度和宽度，那么极板间的电场可以认为是均匀的。平板电容器的电容可以由下式求得：

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (\text{法拉}) \quad (1-8)$$

式中， $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$ 为电介质的介电系数，单位为法拉/米； S 为每块极板的面积，单位为米²； d 为两极板间的距离，单位为米。

上式说明，平板电容器的电容量与极板面积 S 及电介质介电系数成正比，与极板间的距离成反比。为了增大平板电容器的容量可以增大其极板的尺寸，缩小极板间的距离，采用介电系数较大的电介质。电容器还必须考虑耐压，当电压过高可能击穿电介质而使电容器受到损坏，所以电容器都标有额定工作电压，不允许电容器在高于额定电压的条件下工作。

实际上，有时会碰到电容器容量不够，或者额定电压不符合要求的情况，因此需要采用若干个电容器并联或串联来解决。

图1-9为电容器的并联使用，如果a、b两端加的直流电压为 U ，那么每个电容器上的电压均为 U ，它们极板上的电荷之和就是并联等效电容器上的总电荷，如各电容器的电容为：

$$C_1 = \frac{Q_1}{U} \quad Q_1 = C_1 U$$

$$C_2 = \frac{Q_2}{U} \quad Q_2 = C_2 U$$

$$C_3 = \frac{Q_3}{U} \quad Q_3 = C_3 U$$

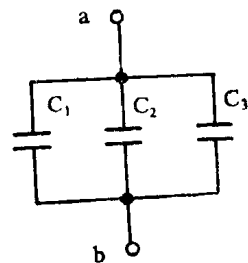


图1-9 电容器的并联

则总电荷量 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

所以总电容 $C = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{U} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (1-9)$

从上可知，电容器并联时，总电容等于各电容器电容之和，因此并联电容器可以加大电容量。通常用于并联的电容器应具有相同的额定电压，否则额定电压较低的电容器容易被击穿。

图1-10为电容器的串联，如果a、b两端加的直流电压为 U ，那么和电压正端相接的电容器极板上出现某一数量的正电荷，它的另一个极板感应出等量的负电荷。与它相接的第二个电容器的极板上出现等量的正电荷，而另一个极板上则出现等量的负电荷，依此类推，串联电容的每一个电容器上的电荷是相等的，如设电源给电容器提供的电荷量为 Q ，

那么

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

接成串联的电容器，它的总电压等于各个电容器的电压之和，即：

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

各电容器上的电压与电容器容量之间的关系为：

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}$$

所以求得

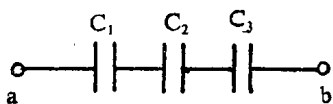


图1-10 电容器的串联

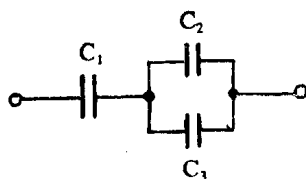


图1-11 电容器的串并联

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\text{总电容 } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1-10)$$

由此可知，电容器串联时，总电容的倒数等于各电容器倒数之和。电容器串联后总的容量变小，而且比串联电路中任何一个电容器的容量都要小。

〔例1-2〕在图1-11中三只电容器分别为 $C_1 = 0.5$ 微法， $C_2 = 0.1$ 微法， $C_3 = 0.25$ 微法，试求总电容量。

〔解〕先求出 C_2 、 C_3 并联总电容 C' ：

$$C' = C_2 + C_3 = 0.1 + 0.25 = 0.35 \text{ 微法}$$

$$\text{总电容 } C = \frac{C' \times C_1}{C' + C_1} = \frac{0.35 \times 0.5}{0.35 + 0.5} = \frac{0.175}{0.85} \approx 0.21 \text{ 微法}$$

〔例1-3〕设有三个相串联电容器的容量分别为1微法、5微法、10微法，两端极板接至220伏的电源上，试求分配于各电容器上的电压。

〔解〕串联电容器的总电容 C 为：

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{1} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{13}{10}$$

故总电容

$$C = \frac{10}{13} \text{ 微法}$$

串联电容每个电容器上的电荷量均相等

由公式 $Q = CU$ 可求得

$$Q = 220 \times \frac{10}{13} \times 10^{-6} = \frac{22}{13} \times 10^{-4} \text{ 库仑}$$

$$\text{所以 } U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{22 \times 10^{-4}}{13 \times 1 \times 10^{-6}} = 169 \text{ 伏}$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{22 \times 10^{-4}}{13 \times 5 \times 10^{-6}} = 34 \text{ 伏}$$

$$U_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{22 \times 10^{-4}}{13 \times 10 \times 10^{-6}} = 17 \text{ 伏}$$

1.6 电容器中的电场能量

电容器充电后，在极板上储积了电荷，极板之间建立了电场，电场中储存有电场能。如果在充满电荷的电容器两端，连接上一个小灯泡，灯泡会发光，电场逐渐将能量释放，通过灯泡转换成光能和热能，最终电容极板上的电压降至零，电场能全部释放。有经验的电器技术人员都知道，当停电后对设备进行检修时，必须将电容器上的电荷全部放电。当采用放电棒（它的一端接地）对高压大电容放电时，放电电流可以产生很强的火光和发出巨大的响声。人体接触到充有电荷的高压电容器时，则足以将人电死。

电容器所存储的电场能量可以用下式表示：

$$W_c = \frac{1}{2} CU^2 \quad (1-11)$$

W_c ——电容器中存储的电场能，单位焦耳。

U ——电容器的电压，单位伏。

C ——电容器的容量，单位法。

电容器两端建立电压的过程就是电源向电容器充电，电容器储存能量的过程，电容器放电则是把电场能释放出来。理想的电容器在存储能量和释放能量的过程中并不损耗能量，因此电容器是一种储存电能的元件，这一点和电阻有着本质的不同。

电容器充电和放电都需要一定的时间，反映出电能的建立和消耗都是一个逐渐的过程，而不能发生突变，这是在分析包含有电容器这类储能元件的电路时常要用到的一个重要概念。