

丁毓山 金开宇 主编

变电检修

职业技能鉴定培训教材

丁毓山 李伟 刘宁 编

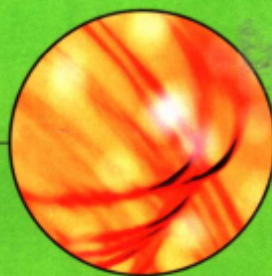


中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

策划编辑：王春学
责任编辑：陈琦英 史志洁

◆ 电力行业职业技能鉴定培训教材 （第一辑）

电力负荷控制
送电线路
配电线路
变电检修
变电站值班员
营业用电管理员
抄表核算收费员
发电厂电气值班员



ISBN 7-5084-1628-7



9 787508 416281 >

ISBN 7-5084-1628-7 / TM · 169

定价：44.00 元

丁毓山 金开宇 主编

变电检修

职业技能鉴定培训教材

丁毓山 李伟 刘宁 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·变电检修》编写，是变电检修技术工人职业技能鉴定的培训教材。全书共分七篇：电工基础知识、工程力学和机械制图基础知识、电气设备及检修、电工计量仪表、倒闸操作与带电作业、继电保护装置、技能操作。在附录中还给出了变电检修技术工人初级工、高级工职业技能鉴定的试题。

本书可供变电检修技术工人阅读和职业技能培训之用，也可供相关专业技术人员及管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电检修职业技能鉴定培训教材/丁毓山等编. - 北京: 中国水利水电出版社, 2003

ISBN 7-5084-1628-7

I. 变… II. 丁… III. 变电所-检修-职业技能鉴定-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 066547 号

书 名	变电检修职业技能鉴定培训教材
作 者	丁毓山 金开宇 主编· 丁毓山 李伟 刘宁 编
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 27.75 印张 658 千字
版 次	2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	44.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

根据《中华人民共和国职业技能鉴定规范·变电检修》的要求，考虑到变电检修技术工人的工作特点，本书共分七篇：第一篇为电工基础知识，包括直流电路、电场与磁场、交流电路、三相电路基础知识等；第二篇为工程力学和机械制图基础知识；第三篇为电气设备及检修，包括变压器、变压器的检修、电动机的工作原理与检修、仪用互感器、高压开关电器、隔离开关等；第四篇为电工计量仪表，主要包括磁电式、电磁式、电动式测量机构，以及万能表、兆欧表、电桥的工作原理和使用方法等；第五篇为倒闸操作与带电作业，包括断路器、隔离开关的操作知识及带电作业与带电检修等；第六篇为继电保护装置，主要阐明变压器保护，送、配电线路保护装置，断路器的控制等；第七篇为技能操作部分，本部分取材于电力行业职业技能鉴定指导中心编写的《变电检修》。在附录中给出了变电检修技术工人初级工、高级工职业技能鉴定的试题。

参加本书编写的人员有：沈阳于洪区农电局李伟、金开宇、程云峰、侯庭阳、裴陆国、王天策、周丽、冯勃、李奎生、刘宁，辽阳市农电局吴军，灯塔市农电局高宏，丹东市电业局吕志恒、张福华、唐燕，东港市农电局林敏、邹晓彤，锦州市两锦电业局鞠英俊、王强、徐立，葫芦岛市连山农电局刘继芹、曲晓宇，建昌农电局徐忠新，盖州市农电局孙晓光、孙守波、吴晓本、董月波、张德松，沈阳农业大学丁毓山。全书由丁毓山、金开宇同志统稿。

尽管在编写过程中，经过集体讨论，调查研究，但限于时间短促，书中定有不足之处，编者恳切希望使用本书的广大教师和读者多提宝贵意见。

作 者

2003年10月于沈阳

目 录

前 言

第一篇 电工基础知识

第一章 直流电路	1
第一节 直流电路的基本概念和简单直流电路	1
第二节 复杂电路计算	7
复习思考题	16
第二章 磁场的基本知识	28
第一节 磁的性质和电流的磁场	28
第二节 感应电势和载流导体受力	31
复习思考题	35
第三章 单相交流电路	38
第一节 交流电路的基本概念	38
第二节 单参数单相交流电路	43
第三节 多参数单相交流电路	45
第四章 三相交流电路	53
第一节 三相电势的产生和三相电路的连接	53
第二节 不对称三相电路的概念和三相电路的功率	56
第三节 三相电路的计算	58

第二篇 工程力学和机械制图基础知识

第一章 力学的基础知识	63
第一节 力的基本概念	63
第二节 平面汇交力系的合成与分解	67
第三节 力矩	70
第四节 弯曲的概念	73
第五节 力学在检修施工中的应用	74
第二章 识绘图知识	80
第一节 制图的基本原理	80
第二节 机件的表达方法	86

第三篇 电气设备及检修

第一章 变压器	91
第一节 变压器的分类及工作原理	91
第二节 变压器的额定技术数据	94
第三节 变压器的构造	97
第四节 分接开关与调压变压器	106
第五节 温度计	109
复习思考题	111
第二章 变压器的检修	114
第一节 检修的有关规定和要求	114
第二节 变压器芯体的检修	117
第三节 冷却装置的检修	125
第四节 各种辅助装置的检修	127
第五节 分接开关的检修	129
第六节 变压器油的净化处理和注油	130
第七节 变压器的干燥	134
复习思考题	138
第三章 电动机的工作原理与检修	146
第一节 电动机的构造与工作原理	146
第二节 异步电动机的起动	150
第三节 电动机运行、维护与检修	153
复习思考题	162
第四章 仪用互感器	165
第一节 电压互感器的用途、分类、工作原理和参数	165
第二节 电压互感器的熔丝保护与绝缘监察	172
第三节 电流互感器	177
第四节 电压、电流互感器的运行及事故处理	181
复习思考题	183
第五章 真空断路器	187
第一节 真空断路器的基本结构	187
第二节 户内、户外真空断路器	191
第三节 真空断路器的维护与检修	193
第四节 真空断路器拒动处理及巡视要求	198
第六章 SF ₆ 断路器	202
第一节 SF ₆ 气体的特性安全防护	202

第二节	SF ₆ 断路器结构和灭弧原理	204
第三节	SF ₆ 断路器和组合电器的运行与维护	206
	复习思考题	208
第七章	少油断路器	211
第一节	SN10—10 型少油断路器	211
第二节	油断路器的灭弧原理	213
第三节	操动机构	216
第四节	断路器的技术参数	218
第五节	断路器检修中参数的测量	221
第六节	SW ₂ — $\frac{110}{220}$ 型少油断路器	228
	复习思考题	232
第八章	隔离开关和负荷开关	237
第一节	隔离开关的类型及结构	237
第二节	隔离开关检修的基本要求	239
第三节	SF ₆ 负荷开关在城乡电网中的应用	241
	复习思考题	242
第九章	防雷与接地	244
第一节	雷电对人身及设备安全的危害	244
第二节	金属氧化物避雷器	245
第三节	阀型、管型避雷器与放电间隙	250
第四节	接地	252
	复习思考题	255

第四篇 电工计量仪表

第一章	磁电式计量仪表	259
第一节	电工仪表的基本知识	259
第二节	磁电式系测量机构	260
第三节	兆欧表	264
第四节	万用表	265
	复习思考题	269
第二章	电磁、电动式仪表	272
第一节	电磁式测量机构	272
第二节	交流电流、电压和功率的测量	275
	复习思考题	280
第三章	计量仪表及配电装置的安装要求	282

第一节	电能表的安装和接线	282
第二节	计量仪表及配电装置安装实例	286
	复习思考题	290
第四章	电桥和接地电阻测量仪	294
第一节	直流单臂电桥	294
第二节	直流双臂电桥	296
第三节	接地电阻测量仪	297
	复习思考题	300

第五篇 倒闸操作与带电作业

第一章	倒闸操作	302
第一节	电气设备倒闸操作的内容、程序和制度	302
第二节	倒闸操作中的安全技术	305
第三节	线路和设备中高压开关和刀闸的操作	309
第四节	母线、线路的操作	312
第五节	变压器操作	315
第六节	电源并列解列操作	316
	复习思考题	318
第二章	电气设备检修和维护中的安全技术	323
第一节	开关和电力线路检修、维护的安全技术	323
第二节	发电机、调相机和高压电动机的检修安全技术	327
	复习思考题	328
第三章	带电作业与带电检修	330
第一节	邻近带电导线工作的安全技术	330
第二节	带电作业的规定和要求	332
第三节	带电作业的原理和工具	334
第四节	带电作业的安全措施	338
第五节	绝缘子的带电清扫、水洗与测试	339
	复习思考题	343

第六篇 继电保护装置

第一章	变压器保护	346
第一节	变压器保护的一般概念	346
第二节	变压器过流保护	349
第三节	变压器差动保护	350
第四节	变压器保护接线举例	356

第二章 送、配电线路保护装置·····	359
第一节 三段过流保护装置·····	359
第二节 电流电压联锁速断保护·····	363
第三节 电流方向保护·····	363
第三章 断路器的控制·····	372
第一节 断路器控制的要求和原则·····	372
第二节 具有防跳装置的灯光监视控制回路·····	373
第三节 SF ₆ 断路器控制回路分析·····	375
第四节 音响监视和液压操动机构的断路器控制回路·····	377
复习思考题·····	378

第七篇 技能操作

第一章 单项操作·····	384
第一节 隔离开关操作·····	384
第二节 断路器·····	393
第三节 互感器·····	397
第四节 其他操作·····	401
第二章 多项操作·····	404

附 录

附录 1 变电检修职业技能鉴定初级工试题·····	428
附录 2 变电检修职业技能鉴定高级工试题·····	430

第一篇 电工基础知识

第一章 直流电路

第一节 直流电路的基本概念和简单直流电路

一、电流

导体中的自由电子在电场力的作用下，作有规则的定向运动，称为电流。习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。因此，在金属导体中，电流的方向是与自由电子的实际移动方向相反。

电流的大小用电流强度来表示，其数值等于单位时间内通过导体截面的电量，通常用符号 I 表示，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1-1)$$

式中 I ——电流强度，A（安培）；

Q ——通过导体截面的电荷量，C（库仑）；

t ——通过电荷量 Q 所用的时间，s（秒）。

电流强度的单位用 kA（千安）、A（安）、mA（毫安）、 μ A（微安）表示，这几个单位之间的换算关系是

$$1\text{kA} = 1000\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

二、电阻和电阻率

1. 电阻和电阻的单位

在电场力的作用下，电流在导体中流动时，所受到的阻力，称为电阻，用“ R ”或“ r ”表示。电阻常用的单位为： $\text{M}\Omega$ （兆欧）、 $\text{k}\Omega$ （千欧）、 Ω （欧），这几个单位之间的换算关系是

$$1\text{M}\Omega = 1000000\Omega$$

$$1\text{k}\Omega = 1000\Omega$$

$$1\Omega = 1000\text{m}\Omega = 1000000\mu\Omega$$

当导体两端的电压是 1V，导体中的电流是 1A 时，这段导体的电阻为 1 Ω 。即

$$1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}$$

同一种材料对电流的阻力，主要取决于导体的长度和横截面积。当截面积相同时，则导体越长，电阻越大；当长度相同时，则截面积越大，电阻越小。所以电阻与导线长度 L 成正比；而与导线截面积 S 成反比。即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1-2)$$

式中 ρ ——电阻率。

2. 电阻率

电阻率 ρ 的物理意义是：在 $+20^\circ\text{C}$ 时，长度为 1m ，横截面积为 1mm^2 的导线的电阻值。电阻率与材料性质有关， ρ 值越小，导电性能越好。 ρ 的单位是 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

电流通过导体时，其温度增高；导体的环境温度增高时，其温度也增高。温度升高，导体中分子运动加快，电子与分子碰撞机会增多，致使导体的电阻增大。表 1-1-1 中所列的 R 值为 20°C 时的数值，温度增高， R 值增大。

表 1-1-1 温度为 20°C 时的 ρ 和 α 值

材 料	ρ ($\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$)	α ($\frac{1}{^\circ\text{C}}$)	材 料	ρ ($\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$)	α ($\frac{1}{^\circ\text{C}}$)
铜	0.0175	0.004	锡	0.114	0.00438
铝	0.0283	0.004	铅	0.222	0.00387
铁	0.1	0.0057	康铜	0.44	0.00004

3. 电阻温度系数以及电阻与温度的关系

为了考虑温度对导体电阻的影响，引入了温度系数 α ，其物理意义是：温度每升高 1°C 时， 1Ω 电阻的变化量。

设温度为 $t^\circ\text{C}$ 时电阻的数值为 R_t ，若温度由 $t^\circ\text{C}$ 增加到 $T^\circ\text{C}$ ，则电阻的变化量为

$$\Delta R = R_t \alpha (T - t)$$

由此，在 $T^\circ\text{C}$ 时电阻的总值应为电阻的原值 R_t 加上变化值 ΔR ，即

$$R_T = R_t + \Delta R = R_t + R_t \alpha (T - t) = R_t [1 + \alpha (T - t)] \quad (1-1-3)$$

式中 R_T ——温度为 $T^\circ\text{C}$ 时的电阻， Ω ；

R_t ——温度为 20°C 时的电阻， Ω 。

4. 算例

已知电阻为 R ，在温度 20°C 时，其阻值为 7Ω ，当温度升高到 75°C 时，其阻值为多少欧？导线为铜制。

解：铜导线的电阻温度系数 $\alpha = 0.004$ ，当温度升高到 75°C 时，电阻值为

$$\begin{aligned} R_T &= R_t + \Delta R = R_t + R_t \alpha (T - t) = R_t [1 + \alpha (T - t)] \\ &= 7[1 + 0.004(75 - 20)] = 8.54 (\Omega) \end{aligned}$$

三、电位和电压

1. 电位

所谓电场中某点的电位，在数值上等于单位正电荷沿任意路径从该点移至无限远处电场力所做的功，其单位为 V （伏特，简称伏）。

在电场中电位等于零的点叫做参考点，凡电位高于零电位的点，电位为正，凡电位低于零电位的点，其电位为负。通常以大地作为参考点。

2. 电压

为了使电流通过电阻，在导体两端必须加一定的电压。电场中任意两点间的电压，等于这两点电位差，因此，电压也称电位差。电压的单位可用 kV（千伏）、V（伏）、毫伏（mV）、 μV （微伏）表示，它们之间的换算关系是

$$1\text{kV} = 1000\text{V}$$

$$1\text{V} = 1000\text{mV}$$

$$1\text{mV} = 1000\mu\text{V}$$

电场中各点的电位，随着参考点的改变而不同，但是无论参考点如何改变，任意两点间的电位差是不变的。电压的正方向是从高电位点指向低电位点。

四、电源的电势

电势是电源内部的电源力，常称局外力，是将单位正电荷从电源负极移到正极时所做的功。因此电源电势是衡量电源力做功能力的物理量，可用下式表示为

$$E = \frac{A}{Q} \quad (1-1-4)$$

式中 E ——电势，V；

A ——电源力所做的功，J（焦耳）；

Q ——正电荷的电荷量，C（库仑）。

电势的方向规定为电源力推动正电荷运动的方向，即从负极指向正极的方向，也就是电位升高的方向。

五、欧姆定律

1. 简单直流电路的意义

简单直流电路是指能用欧姆定律和电阻串、并、混联求解的电路。

2. 电路欧姆定律

外电路欧姆定律指出：在一段电路中，流过电阻 R 的电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比，而与这段电路的电阻成反比。用公式表示为

$$I = \frac{U}{R}$$

或写成 $U = IR \quad R = \frac{U}{I} \quad (1-1-5)$

式中 U ——电压，V；

I ——电流，A；

R ——电阻， Ω 。

3. 全电路欧姆定律

全电路欧姆定律是用来说明在一个闭合电路中，电势、电压、电流、电阻之间基本关系的定律。即，在一个闭合电路中，电流与电源的电势 E 成正比，与电路中电源的内电阻 r 和外电阻 R 之和成反比。用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-1-6)$$

式中 E ——电路中电源电势, V;
 I ——电流, A;
 R ——外电阻, 即负载电阻, Ω ;
 r ——电源内电阻, Ω 。

4. 算例

已知 $E = 110\text{V}$, $R = 109\Omega$, $r = 1\Omega$, 求: (1) 电路中电流为多少安? (2) 外电路端电压为多少伏? (3) 内电阻压降为多少伏? (4) 外电阻、内电阻、全电路消耗的功率为多少瓦?

解:

- | | |
|-------------------|---|
| (1) 电路中电流: | $I = \frac{E}{R + r} = \frac{110}{109 + 1} = 1 \text{ (A)}$ |
| (2) 外电路端电压: | $U = IR = 1 \times 109 = 109 \text{ (V)}$ |
| (3) 内电阻压降 | $U_r = Ir = 1 \times 1 = 1 \text{ (V)}$ |
| (4) 外电阻消耗的功率 | $P_2 = UI = 109 \times 1 = 109 \text{ (W)}$ |
| (5) 内电阻 r 消耗的功率 | $P_3 = U_r I = 1 \times 1 = 1 \text{ (W)}$ |
| (6) 全电路消耗的功率为 | |

$$P_1 = EI = 110 \times 1 = 110 \text{ (W)}$$

$$P_1 = P_2 + P_3 = 109 + 1 = 110 \text{ (W)}$$

六、功和功率

在一段时间内, 电源力(电场力)所做的功称为电功或电能, 电能用符号 A 表示。其总值是焦耳(J)。通常电能也以电量的形式表现, 以 $\text{kW}\cdot\text{h}$ (千瓦时) 为单位。二者之间的换算关系为

$$1\text{kW}\cdot\text{h} = 3.6 \times 10^6\text{J}$$

单位时间内电源力所做的功称为电功率。电功率用符号 P 表示, 常用的单位为 kW (千瓦)、 W (瓦) 等, 即

$$1\text{kW} = 1000\text{W}$$

$$1\text{W} = 1000\text{mW}$$

电功率的计算公式为

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt \times 10^{-3}}{t} = UI \times 10^{-3} = I^2 R \times 10^{-3} = \frac{U^2}{R} \times 10^{-3} \quad (1-1-7)$$

式中 P ——电功率, kW ;

t ——时间, h;

A ——电能, $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

$$1\text{kW} = 1.36 \text{ 马力}$$

七、电流的热效应

当电流流过导体时, 由于导体具有一定的电阻, 因此, 就要消耗一定的电能。这些电能不断地转变为热能, 使导体温度升高, 这种现象就叫做电流的热效应。根据能量守恒原

理，电路中消耗的电功率将全部转换为热功率，由式 (1-1-7) 知

$$Q = 0.24I^2R \text{ (cal/s)} \quad (1-1-8)$$

式中 0.24——热功当量，它说明 1 焦耳的电能与 0.24 卡的热量相当。

电流的热效应在电气设备的正常运行中，以及在电气设备的事故状态下，皆有重要意义。

八、短路和断路

如果电源通向负载的两根导线不经过负载而相互直接接通，就发生了电源被短路的情况。短路是电路、电气设备和电力系统的事故状态，在短路状态下，电路中的电流可能增大到远远超过导线所允许的电流限度，致使电路、电气设备烧毁。

断路，一般是指电路中某一部分断开，例如导线、电气设备的线圈等断线，使电流不能导通的现象。在电气设备正常运行时发生断路，也是电路、电气设备的事故状态。因为在这种状态下，将要中断对电力用户的供电。

短路会造成电气设备的过热，甚至烧毁电气设备、引起火灾。同时，短路电流还会产生很大的电动力，造成电气设备损坏，严重的短路事故甚至还会破坏系统稳定，所以对运行中的电气设备应采取一定的保护措施，例如安装自动开关、熔断器等，当发生短路故障时，这些装置可将短路点及时切除，以防止短路造成电气设备的破坏。

九、电阻的串并联

1. 电阻串联

图 1-1-1 所示为两个电阻 R_1 、 R_2 的串联电路，其特点是：

- (1) 两个电阻 R_1 、 R_2 首尾相接，没有分支。
- (2) 电路总电压等于 R_1 、 R_2 上的分电压 U_1 、 U_2 之和。
- (3) 所有电阻流过相同的电流。

串联电路的总电阻等于参与串联的所有电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2$$

对于 n 个电阻的串联电路的总电阻等于

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (1-1-9)$$

2. 电阻的并联

并联电路的特点是：

(1) 所有参加并联电阻的首端并接在一起，末端并接在一起，所有电阻受相同电压的作用，如图 1-1-2 所示。

(2) 并联电路总电流 I 等于各个并联电阻的电流 I_1 、 I_2 、 \cdots 、 I_n 之和。如果用图 1-1-2 (b) 来等效图 1-1-2 (a)，就是用 R 来代替 R_1 、 R_2 的作用。对图 1-1-2 (a) 的总电流，应等于所有电阻的各个分电流之和，即

$$I = \frac{U}{R} = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

故

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-1-10)$$

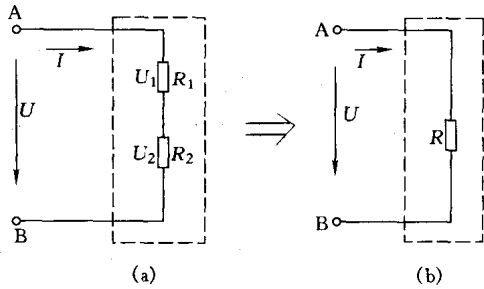


图 1-1-1 串联电路
(a) 实际电路; (b) 等效电路

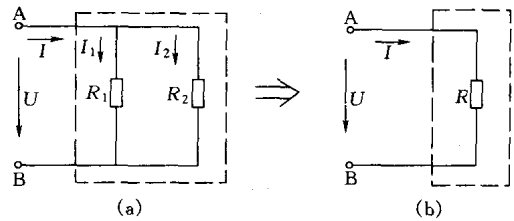


图 1-1-2 并联电路
(a) 实际电路; (b) 等效电路

对于 n 个电阻并联则有

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (1-1-11)$$

十、电容

1. 电容中的物理现象

能够贮存电荷的容器称为电容器，例如，两块金属板便可构成一个电容器，如图 1-1-3 所示。在极板面积一定的条件下，电容器的正、负极板上积累的电荷量 Q 越多，其极板间的电位差越高。

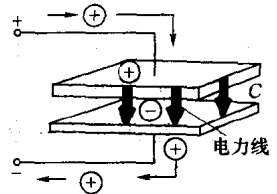


图 1-1-3 电容器

电容器电容的大小是按着下述方法定义的：两极板间的电压升高 1V 所需要的电荷量，称为电容器的电容，单位为 F (法拉，简称法)。若将两极板间电压提高 100V，所需的电荷量为 50C，则该电容器的电容 C 为

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{50C}{100V} = 0.5 F \quad (1-1-12)$$

$$1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$$

在这里有一个很重要的概念是：电容器两端电压与电荷量成正比例，即 $Q = CU$ 。由于极板上电荷量 Q 必须逐步积累，不能突变，所以电容器两端电压不能突变。

此外，若电容器两端电压上升得快，表明极板上电荷积累得快，通过电容器的电流就越大；若两端电压下降的快，表明电荷泄放的快，其放电电流就越大。可见电容器中的电流由端电压随时间的变化率确定。因此，通过电容器的电流只能是暂态电流和交流。

2. 电容的串并联计算公式

(1) 电容的并联计算公式。电容的并联公式如同电阻的串联计算公式一样，如若有 n 个电容并联，则总电容为

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (1-1-13)$$

因为电容并联相当于电容器的极板扩大一样。

(2) 电容的串联计算公式。电容的串联公式如同电阻的并联计算公式一样，如若有 n 个电容串联，则总电容得倒数为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (1-1-14)$$

对于两个电容则有

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (1-1-15)$$

因为电容串联是把电荷量按电容器的容量分布在各个极板上，相当于电容器的极板缩小一样。

第二节 复杂电路计算

一、基尔霍夫定律

1. 电路的节点

复杂电路是指不能用串、并、混联简化的电路。在电路中三条及以上电路汇聚的一点，叫做节点。

2. 支路

在电路中两个节点之间的电路元件叫做支路，即支路可以是有源元件，也可以是无源元件。

3. 回路

由数条支路所构成的闭合电路，叫做回路。

4. 基尔霍夫第一定律

基尔霍夫第一定律的内容是：在网络中，汇聚于电路节点所有电流的代数和等于零。

例如，对于图 1-1-4 的节点 A 有

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1-1-16)$$

或者写成

$$\sum_A I = 0$$

式中 \sum_A 号下的字母 A 表示节点 A。

基尔霍夫第一定律又称为节点电流定律。节点电流的方向如果假定流入为正，则流出为负，或者相反。第一定律说明流入节点的电流等于流出节点的电流，它实质上是电荷不灭定律，即在节点处电荷既不能消失，也不能再生，更不能贮存，流出的电荷等于流入的电荷。

5. 基尔霍夫第二定律

基尔霍夫第二定律的内容是：在闭合回路中，所有电势的代数和等于回路中所有电阻压降的代数和。现利用图 1-1-5 来证明这个结论。

今假定点 a (图 1-1-5) 为参考点，即 $\varphi_a = 0$ ，则

$$\text{b 点的电位} \quad \varphi_b = \varphi_a - I_1 R_1$$

$$\text{c 点的电位} \quad \varphi_c = \varphi_b + E_1$$

$$\text{d 点的电位} \quad \varphi_d = \varphi_c + I_2 R_2$$

$$\text{e 点的电位} \quad \varphi_e = \varphi_d - E_2$$

$$\text{f 点的电位} \quad \varphi_f = \varphi_e - I_3 R_3$$

$$\text{g 点的电位} \quad \varphi_g = \varphi_f + E_3$$