

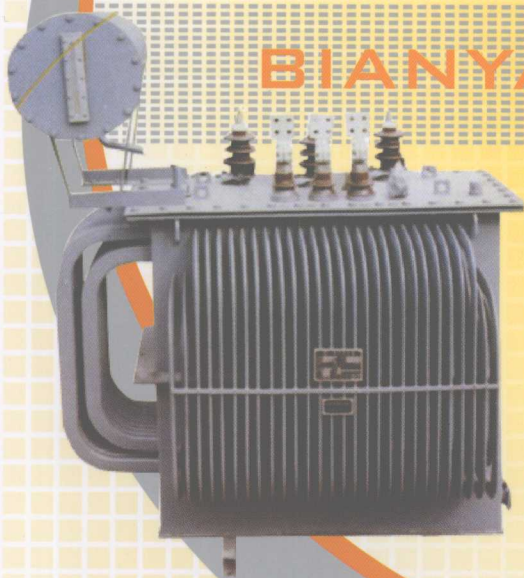


电工技能训练丛书

变压器检修

BIANYA QI JIAN XIU

谭延良 周新云 主编
盛占石 主审



化学工业出版社

电工技能训练丛书

变 压 器 检 修

谭延良 周新云 主 编
盛占石 主 审

分类号 (CIP) 日 录 详 见 封 底

本书是《变、配电设备检修》系列丛书之一，主要介绍变压器的检修、试验、运行维护及事故处理等。全书共分10章，约15万字，可作为电力行业职业技能鉴定培训教材，也可供从事变电运行、检修工作的工程技术人员参考。

（每1册配书1册）

ISBN 7-5024-2917-4

本书由北京电力高等专科学校、北京电力学校、北京电力技工学校等单位共同编写，由北京电力高等专科学校周新云、谭延良主编，盛占石主审。

本书由北京电力高等专科学校、北京电力学校、北京电力技工学校等单位共同编写，由北京电力高等专科学校周新云、谭延良主编，盛占石主审。

（此处为模糊文字，疑似为编者或审者信息）

（此处为模糊文字，疑似为出版或发行信息）

（此处为模糊文字，疑似为出版或发行信息）

（此处为模糊文字，疑似为出版或发行信息）

（此处为模糊文字，疑似为出版或发行信息）



化学工业出版社

（此处为模糊文字，疑似为出版或发行信息）

· 北京 ·

（此处为模糊文字，疑似为出版或发行信息）

（此处为模糊文字，疑似为出版或发行信息）

本书根据《国家职业技能鉴定规范·变压器检修》的要求编写，从变压器修理基础知识入手，对变压器修理所用的测试仪器仪表与维修工具、常用材料进行了介绍，全面讲解了变压器类设备的原理、结构、检修、试验、运行及维护等方面的知识。内容主要包括：变压器基础知识；变压器的基本结构；变压器的运行原理与维护；变压器的检修；分接开关的检修；变压器油的处理与分析；变压器的干燥处理；仪用互感器的运行与检修；变压器的试验等内容。

本书可供广大从事变压器运行维护、检修调试、试验安装和修理改装的人员使用，也可供相关专业大专院校师生参考。

变 压 器 检 修

编 主 周新云 谭延良
第 一 作 者 谭延良

图书在版编目 (CIP) 数据

变压器检修/谭延良，周新云主编. —北京：化学工业出版社，2008.5

(电工技能训练丛书)

ISBN 978-7-122-02673-6

I. 变… II. ①谭…②周… III. 变压器-检修-技术培训-教材 IV. TM407

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 058079 号

责任编辑：李玉晖 宋 薇

装帧设计：王晓宇

责任校对：凌亚男

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：三河市延风印装厂

720mm×1000mm 1/16 印张 15¼ 字数 295 千字 2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：29.00 元

版权所有 违者必究

《电工技能训练丛书》编委会名单

编委会主任：刘会霞

编委会副主任：赵德安 周建中 李金伴 陆一心

编委会委员：张建生 王善斌 周新云 丁继斌 谭延良
尤德同 宋昌才 盛占石 张应龙 袁晓明
黄丽 朱丽 王富良



随着科学技术的迅猛发展，不同学科之间相互渗透、交叉融合，不断衍生新的研究领域。作为一种重要的技术手段，电工电子技术的发展日新月异。尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展，使电工电子技术的内涵和外延发生了革命性的变化，正在迅速改变着设计制造业的面貌。传统的设计制造技术也不断吸收信息、材料、能源及管理等领域现代成果，综合应用于电工电子产品的设计、制造、检测、生产管理和售后服务。21世纪电气设备发展的总趋势是：强弱电技术的融合更为密切；多学科、多专业的交叉更为深入；我国电气产品与国际接轨的步伐将迈得更大，国内外的技术交流也将更为广泛。

当今世界，科学技术发展迅速，知识经济发展显现端倪，综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争，归根结底是科技与人才的竞争。为了适应社会对技术技能人才的需求，配合江苏大学的国家级综合性工程训练示范中心、江苏省实验教学示范中心、农业电气化与自动化国家重点学科，以及机械设计制造及其自动化国家级特色专业建设点建设的需要，江苏大学工业中心、电气信息工程学院和化学工业出版社组织编写了《一图一例学电路》、《电工技能训练丛书》两套系列图书，以期满足广大电气工作者和爱好者的迫切需要。

这两套系列图书从系统的观点出发，分别定位于电工电子的知识基础和技能操作。《一图一例学电路》包括《电工基础》《电工测量》《传感器》《变压器》《电动机》《电子技术基础》《电力电子》《电力拖动自动控制》8个分册。《电工技能训练丛书》包括《电工基本操作》《电工测量》《电工工具和仪器仪表》《变压器检修》《电动机检修》《电子线路安装与调试》《常用机床电气线路检修》7个分册。

这两套系列图书编写时从实用出发，力求理论与实际相结合，突出新颖性，介绍电气设备的结构、工作原理、技术参数、适用场合、技术操作要点、运行与维护经验等。注重理论联系实际，融入应用实例，突出技能和技巧。本着求精避繁的原则，对电气设备的基础理论、材料、器件、应用电路、安装、调试、运行与维修等适用面广、使用频率高和实用性强的技术内容作了详细的阐述。同时，还从实际出发，反映了电工电子、电力电子、计算机、自动控制、传感器、机电一体化相互交叉、纵横结合的发展趋势。

这两套系列图书的编写反映了编者参与高等教育改革的一些研究成果。高等教育是科技发展的基础，是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中华、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。为了适应我国发展和建设的需要，1993年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后，原国家教委全面

启动和实施《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》，有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是：改革教育体制、教育思想和教育观念；拓宽专业口径，调整专业目录，强调创新精神、实践能力和工程师素质的培养，制定新的人才培养方案；改革课程体系、教学内容、教学方法、教学手段和工程训练；实现课程结构和教学内容的整合与优化。编写、出版这两套系列图书是在以上教育理论与教育思想的指导下，将教学改革思想和教学改革成果融入其中，根据人才培养计划中对学生知识、工程训练和实践能力的要求编写，及时反映了新设备、新技术、新工艺的推广应用。系列图书的编写符合教学改革的精神，遵循了教学规律和人才培养规律，具有明显的特色。希望能够得到读者的关注和指正。

《电工技能训练丛书》编委会

2008 年 3 月



前言

本书是根据劳动和社会保障部制定的《国家职业技能鉴定规范·变压器检修》编写的，可作为变压器检修工的培训教材，也可以作为变压器修理人员的自学教材。


本书第1章从电工基础和电磁定律出发，简要介绍了变压器的基础知识。第2章介绍了变压器的基本结构，包括变压器的类型与结构、器身、油箱、冷却装置、保护装置、套管和调压装置，以及变压器的铭牌数据和主要性能参数。第3章介绍了变压器的基本工作原理、变压器的运行方式、运行维护以及干式变压器的运行维护，介绍了变压器的日常检查和定期检查内容。第4章重点介绍了变压器组件（包括铁芯、绕组、油箱及冷却装置、保护装置、绝缘支架、引线和套管）的检修技术要求、检修工艺和质量标准。第5章介绍了变压器无励磁分接开关和有载分接开关的检修技术要求、工艺要求和质量标准。第6章叙述了变压器油的性能指标和质量要求、油的劣化和预防措施、净化和再生、油的色谱分析和油的试验。第7章介绍了变压器的干燥处理。第8章介绍了仪用互感器的运行与检修。第9章介绍了修理后变压器的试验内容。

全书由谭延良、周新云担任主编，负责全书内容与章节的确定以及全书的统稿。本书第1~3章由谭延良、盛碧琦、王海韬编写；第4章、第5章由周新云、谭斐编写；第6章、第7章由尤德同编写；第8章、第9章由黄丽、杜天艳编写。本书在编写过程中参阅了同行们撰写的著作，在此对他们致以衷心的感谢。全书由盛占石老师担任主审，盛老师在审阅过程中，对书稿提出了许多宝贵意见，在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，若有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2008年2月于江苏大学



目 录

第 1 章 变压器基础知识	1
1.1 电磁基础知识	1
1.1.1 电工基础	1
1.1.2 电磁基础	7
1.2 导电材料	9
1.2.1 绕组材料	9
1.2.2 引线	10
1.3 磁性材料	14
1.3.1 电工硅钢片的类别及性能	14
1.3.2 硅钢片的质量要求	17
1.3.3 非晶合金带材	18
1.4 绝缘材料	18
1.4.1 绝缘材料的耐热等级	18
1.4.2 对绝缘材料的要求	19
1.4.3 变压器常用绝缘材料	19
复习思考题	23
第 2 章 变压器的基本结构	25
2.1 变压器的类型与结构	25
2.1.1 变压器的类型	25
2.1.2 变压器的结构	25
2.2 变压器的器身	26
2.2.1 铁芯	26
2.2.2 绕组	29
2.2.3 绝缘结构	34
2.2.4 引线与引线绝缘	34
2.3 变压器油箱	35
2.3.1 油箱的用途	35
2.3.2 油箱的结构类型	36
2.3.3 油箱的机械强度和真空度要求	36
2.4 变压器的冷却装置	37

2.4.1	散热器	37
2.4.2	冷却器	39
2.5	变压器保护装置	41
2.5.1	储油柜	41
2.5.2	压力释放阀与安全气道	43
2.5.3	吸湿器和净油器	45
2.5.4	测温装置	46
2.5.5	气体继电器	48
2.6	变压器的套管结构	48
2.6.1	套管的类型	49
2.6.2	套管的结构与应用	49
2.7	变压器的调压装置	52
2.7.1	无励磁分接开关	52
2.7.2	有载调压分接开关	57
2.8	变压器的铭牌数据和主要性能参数	60
2.8.1	变压器的铭牌和主要性能参数	60
2.8.2	变压器的主要性能参数	62
	复习思考题	64
第3章 变压器的工作原理、运行与维护		66
3.1	变压器的工作原理	66
3.1.1	变压器的工作原理	66
3.1.2	绕组的绕向与极性	68
3.1.3	变压器的连接组别	69
3.2	变压器的运行方式和中性点接地方式	73
3.2.1	变压器的正常运行方式	73
3.2.2	变压器中性点接地方式	78
3.3	变压器的运行与维护	79
3.3.1	变压器的正常使用条件	79
3.3.2	电力变压器投运前的检查	79
3.3.3	变压器的试投运	80
3.3.4	变压器投入运行时的操作	81
3.3.5	变压器日常检查内容	82
3.4	干式变压器的运行与维护	83
3.4.1	干式变压器运行前的检查	83
3.4.2	干式变压器运行方式	84
3.4.3	日常检查	85

3.4.4	特殊情况检查	86
3.4.5	定期检查项目	86
3.4.6	干式变压器的不正常运行和处理	87
3.4.7	维修和检查时的注意事项	88
	复习思考题	89
第4章	变压器检修	90
4.1	变压器检修周期与项目	90
4.1.1	变压器检修周期	90
4.1.2	变压器检修项目	91
4.1.3	器身暴露在空气中的规定	92
4.2	变压器铁芯检修	93
4.2.1	变压器铁芯的技术要求	93
4.2.2	铁芯的检修工艺与质量标准	93
4.2.3	铁芯的常见故障、原因及处理方法	94
4.3	变压器绕组检修	101
4.3.1	变压器绕组的技术要求	101
4.3.2	绕组检修工艺与质量标准	101
4.3.3	绕组的常见故障、原因及处理方法	101
4.4	油箱及冷却装置检修	109
4.4.1	变压器油箱检修	109
4.4.2	散热器检修	110
4.4.3	冷却器检修	111
4.4.4	油泵与风扇的检修	112
4.5	引线、绝缘支架及套管检修	113
4.5.1	变压器引线及绝缘支架检修	113
4.5.2	套管检修	114
4.6	变压器保护装置检修	117
4.6.1	储油柜检修	117
4.6.2	净油器和呼吸器检修	122
4.6.3	压力释放阀(安全气道)检修	124
4.6.4	测温装置检修	126
4.6.5	气体继电器检修	126
4.7	变压器的常见故障及处理	128
	复习参考题	130
第5章	变压器分接开关检修	132

5.1 无励磁分接开关的修理	132
5.1.1 无励磁分接开关的技术要求	132
5.1.2 无励磁分接开关的检修工艺及质量标准	134
5.1.3 无励磁分接开关的常见故障及处理方法	134
5.2 有载分接开关的检修	135
5.2.1 有载分接开关的检修周期	136
5.2.2 检修项目	136
5.2.3 有载分接开关检修质量要求	136
5.2.4 有载分接开关的运行维护	137
5.2.5 有载分接开关的检查试验	138
5.2.6 有载分接开关安装后和投运前的检查	141
5.2.7 有载分接开关的主要检修内容	141
5.2.8 防止有载分接开关故障扩大的措施	143
5.2.9 有载分接开关常见故障及处理方法	144
复习参考题	147
第6章 变压器油的处理与分析	148
6.1 变压器油的性能指标与质量要求	148
6.1.1 变压器油的性能	148
6.1.2 变压器油的技术指标和要求	151
6.1.3 变压器油混合使用原则	153
6.2 变压器油的劣化和预防措施	154
6.2.1 变压器油的劣化	154
6.2.2 防止变压器油劣化的预防措施	155
6.3 变压器油的净化和再生	157
6.3.1 变压器油的净化处理方法	157
6.3.2 变压器油的再生方法	160
6.4 油中溶解气体的色谱分析及故障诊断	161
6.4.1 充油设备根据气相色谱试验结果对其故障类型的判断	161
6.4.2 防止气相色谱分析的误判	164
6.5 变压器油的试验	165
6.5.1 试验目的和项目	165
6.5.2 取油样的要求	165
6.5.3 变压器油电气强度试验	166
6.5.4 简化试验	167
6.5.5 全分析试验	167
6.5.6 油介质损耗角的测定	168

6.5.7 混油试验	169
复习思考题	169
第7章 变压器的干燥处理	170
7.1 变压器干燥基础知识	170
7.1.1 变压器需要干燥处理的判断标准	170
7.1.2 变压器受潮的原因	171
7.1.3 变压器干燥处理时的基本要求	171
7.1.4 干燥结束判断干燥过程中的检查与记录	172
7.1.5 干燥合格判断	172
7.2 变压器干燥处理方法	172
7.2.1 烘房干燥法	172
7.2.2 油箱涡流真空干燥法	174
7.2.3 绕组短路干燥法	174
7.2.4 零序电流法	175
7.2.5 热油喷淋真空干燥	176
7.2.6 热风干燥法	177
复习思考题	177
第8章 仪用互感器的运行与检修	178
8.1 电压互感器	178
8.1.1 电压互感器的分类、型号及基本参数	178
8.1.2 电磁式电压互感器的结构与特点	180
8.1.3 电压互感器的接线方式及运行	184
8.2 电流互感器	187
8.2.1 电流互感器的分类、型号及基本参数	188
8.2.2 电流互感器的结构与特点	190
8.2.3 电流互感器的接线方式及运行	193
8.3 互感器检修	195
8.3.1 互感器小修及质量要求	195
8.3.2 互感器大修	199
8.4 互感器检修后试验	202
复习思考题	205
第9章 变压器修理试验	206
9.1 绕组直流电阻测量	206
9.2 电压比测定和连接组别检定	211

9.2.1	电压比测定	211
9.2.2	连接组别测定	212
9.3	绝缘电阻和吸收比测试	213
9.4	介质损耗因数 $\tan\delta$ 的测定	215
9.5	外施耐压试验	217
9.6	空载试验	219
9.7	负载试验和短路阻抗测量	221
9.8	有载分接开关试验	224
9.9	泄漏电流测量	225
9.10	绝缘油试验	227
	复习思考题	227

参考文献		228
-------------	--	-----

第1章

变压器基础知识

变压器是利用电磁感应原理,以相同的频率,在两个或两个以上的绕组之间,交换交流电压和电流,从而传输交流电能的一种静止电器。变压器中,由绕组、引线等构成电路,铁芯构成磁路,油、空气、水等构成冷却介质。

1.1 电磁基础知识

1.1.1 电工基础

1.1.1.1 基本名词

(1) 电阻 R 导体阻碍电荷移动的能力就是电阻,电阻的单位为欧姆 (Ω)。由式 1.1 求得

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.1)$$

式中 ρ ——导体的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$;

l ——导体的长度, m ;

S ——导体的横截面积, m^2 。

(2) 电流 I 电荷有规律的移动为电流,电流的单位为安培 (A)。

(3) 电压 U 电路中两点之间的电位差称为电压,电压的单位为伏特 (V)。

(4) 电动势 E 电路中因其它形式的能量转换为电能所引起的电位差称为电动势,电动势的单位为伏特 (V)。

(5) 电容 C 被介质分隔的两个任何形状的导体,在单位电压作用下,储存电场能量能力的参数称为电容,电容的单位为法拉 (F)。由于法拉单位太大,因此电容的单位常用微法 (μF) 或皮法 (pF)。它们的换算关系为

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF} \quad (1.2)$$

(6) 容抗 X_C 电容阻碍交流电流通过的能力为容抗,容抗的单位为欧姆 (Ω)。

(7) 电感 L 通过闭合回路(或线圈)自身的电流变化,引起穿过它本身的磁通量变化而产生感应电动势的现象称为自感现象;当两个线圈产生耦合时,由于一个线圈中电流的变化,使得另一个线圈中产生感应电动势的现象称为互感现象。自感与互感统称为电感。电感的单位为亨利 (H)。

(8) 感抗 X_L 电感阻碍交流电流通过的能力为感抗,感抗的单位为欧姆 (Ω)。

(9) 阻抗 Z 交流电流通过具有电阻、电感（或电阻、电容，或电阻、电感、电容）电路时，所受到的阻碍作用为阻抗，阻抗的单位为欧姆（ Ω ）。

(10) 节点 三条或三条以上支路的连接点称为节点。

(11) 支路 电路中的每一个分支称为支路。在同一条支路中，通过的是同一个电流。

(12) 回路 电路中的任一闭合路径称为回路。

(13) 正弦交流电 大小和方向随时间按正弦规律变化的电量称为正弦交流电。

(14) 有效值 交流电通过电阻性负载时，如果产生的热量与直流电在相同的时间内通过同一负载时产生的热量相等，那么该直流电的大小即为交流电的有效值，有效值用大写字母 E 、 U 、 I 表示。

(15) 周期 T 交流电变化一周所需要的时间称为周期，周期的单位为秒（s）。

(16) 频率 f 在 1s 的时间内交流电完整变化的周波称为频率，频率的单位为赫兹（Hz）。频率与周期互为倒数，即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.3)$$

(17) 相电压 U_P 在三相电路中，对三相电源而言：相线（火线）与中性线（地线）之间的电压，称为相电压；对负载而言：负载两端的电压称为相电压。

(18) 线电压 U_L 在三相电路中，相线与相线之间的电压称为线电压。在三相对称负载组成的 Y 连接的三相电路中，线电压与相电压之间的大小关系为

$$U_L = \sqrt{3}U_P \quad (1.4)$$

(19) 相电流 I_P 在三相电路中，流过每相负载的电流称为相电流。

(20) 线电流 I_L 在三相电路中，流过每根端线的电流称为线电流。在三相对称负载组成的 Δ 连接的三相电路中，线电流与相电流之间的大小关系为

$$I_L = \sqrt{3}I_P \quad (1.5)$$

(21) 有功功率 P 有功功率又称为平均功率，指瞬时功率在一个周期内的平均值，单位为瓦（W）。

(22) 无功功率 Q 负载与电源进行能量交换的功率值，无功功率的单位为乏尔（Var）。它所反映的是电容或电感与电源进行能量交换的规模。

(23) 视在功率 S 在具有电阻和电抗的电路中，电压与电流的乘积称为视在功率，单位为伏安（V·A）。它所反映的是电源的容量。

(24) 功率因数 $\cos\varphi$ 有功功率与视在功率的比值称为功率因数。

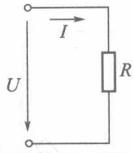
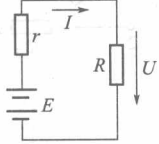
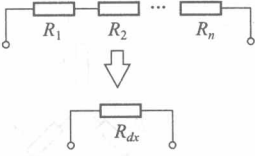
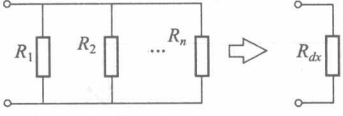
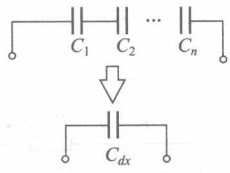
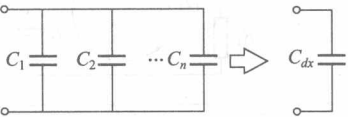
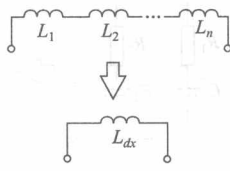
(25) 中性点 在星形连接的三相电路中，三相电源或三相负载的末端连接在一起的节点称为中性点。

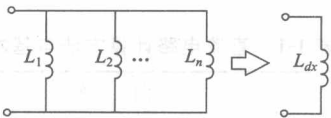
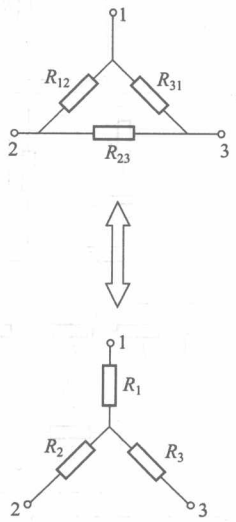
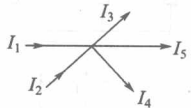
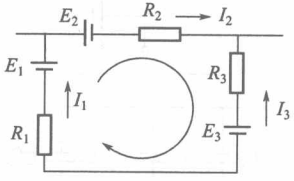
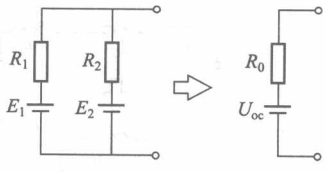
(26) 相量 在电工学中，正弦量的大小和相位可以用相量来表示。在大写字母的上方加“·”来表示。

1.1.1.2 电路的计算方法与基本定律

直流电路、单相正弦交流电路和三相交流电路的计算公式与基本定律分别见表 1-1、表 1-2 和表 1-3。

表 1-1 直流电路计算方法与基本定律

名称	定义	图例	计算方法
部分电路欧姆定律	在线性电路中, 通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比		$I = \frac{U}{R}$
全电路欧姆定律			$I = \frac{E}{R+r}$
功率			$P = UI = U^2/R = I^2 R$
电阻串联	电阻串联的等效电阻等于各电阻之和		$R_{dx} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
电阻并联	电阻并联的等效电阻的倒数等于各电阻的倒数之和		$\frac{1}{R_{dx}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
电容串联	电容串联的等效电容的倒数等于各电容的倒数之和		$\frac{1}{C_{dx}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$
电容并联	电容并联的等效电容等于各电容之和		$C_{dx} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$
电感串联	电感串联的等效电感等于各电感之和		$L_{dx} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$

名称	定义	图例	计算方法
电感并联	电感并联的等效电感的倒数等于各电感的倒数之和		$\frac{1}{L_{dx}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$
电阻 Y-Δ 连接的互换			$R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_2 = \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_3 = \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1R_2}{R_3}$ $R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2R_3}{R_1}$ $R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3R_1}{R_2}$
基尔霍夫电流定律	在任一瞬间,流入或流出节点的电流代数等于零		$\sum I = 0$ 或 $I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$; 也可写成: $\sum I_i = \sum I_o$ 或 $I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$
基尔霍夫电压定律	在任一瞬间,回路中电动势的代数和等于电压降的代数和		$\sum U = 0$ 或 $E_2 + E_3 - E_1 + I_1R_1 + I_2R_2 - I_3R_3 = 0$ 也可写成: $\sum IR = \sum E$ 或 $E_1 - E_2 - E_3 = I_1R_1 + I_2R_2 - I_3R_3$
戴维南定理	任一线性有源二端网络对外电路的作用都可以等效为一个实际电压源		图中: U_{oc} —将待求支路断开的有源二端网络的开路电压; R_0 —是电路中所有电源不作用时的无源二端网络的等效电阻