

最新实用电工手册

邵海忠 主编

化学工业出版社
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

最新实用电工手册/邵海忠主编. —北京:化学工业出版社, 2000.1(2001.5 重印)
ISBN 7-5025-2598-X

I. 最… II. 邵… III. 电工-手册 IV. TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 34086 号

最新实用电工手册

邵海忠 主编

责任编辑:刘 哲 陈逢阳

责任校对:陶燕华

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010)64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 92½ 字数 3142 千字

2000 年 1 月第 1 版 2001 年 5 月北京第 2 次印刷

印 数:3501—5500

ISBN 7-5025-2598-X/TM·14

定 价:148.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

京朝工商广字第 0309 号

前 言

随着国民经济和现代科学技术的迅猛发展,我国电工设备的设计、制造、运行和控制技术发生了深刻的变革,一大批新原理、新材料、新结构、新工艺、高技术、高性能的产品得到了开发和应用,保证了我国电工行业发展的技术水平与现代科技和社会发展相适应。为了使广大从事电工设备研究和开发的科技工作者与行业管理者,以及广大电工设备的使用和维护者,能及时全面地了解 and 掌握电工领域的发展动态,更好地为本职工作服务,我们特组织有关专家和工程技术人员编写了这本《最新实用电工手册》。

目前,新的国家标准不断颁布,新的电工产品不断涌现,电器设备大量进入社会各个部门。在编写过程中,作者本着简明实用、内容新颖的原则,比较全面地介绍了国内电工行业各方面的情况,着重介绍电压等级在 35kV 及以下的常见电气设备。在表达方式上,尽可能利用表格、插图等形式,以便读者理解和查找。手册在编入较多技术资料及数据的同时,还加进了有关电工基础知识、电气设备工作原理、计算方法、产品试验、选用、使用和维护方面的知识。

参加手册编写的人员来自东南大学、南京动力高等专科学校、苏州电器科学研究所、无锡供电局、南京建筑工程学院、江苏省建筑设计研究院和 50 多个专业工厂在电工行业方面有着丰富经验的教授、专家、工程技术人员,本手册是集体智慧的结晶。

本手册在编写过程中,参考大量文献资料,在此恕不一一列出,对所有引用文献资料的作者表示衷心的感谢!

限于编者水平,手册中难免会有错误或不妥之处,在此统请读者斧正。

作者

1998 年 4 月

手 册 编 写 人 员

主 编：邵海忠

编 委：汤广怀 胡敏强 王永止 孙建民 杨爱蝶 邵海忠

编写人员：(以姓氏笔画为序)

万 选	万乔生	马新一	马康明	王小仿	王永止
王静华	王恩荣	王肇宽	王宏官	王 骅	王雅茹
王甫清	王成锦	尤士勤	尤嘉兰	尤雪男	韦恩润
韦红旗	尹锦泉	卞尚云	帅仁俊	冯忆文	冯尚坚
申绕林	白尔彬	林明耀	许国才	许炳炎	许秀芳
许公毅	闫中华	朱耀平	朱育民	孙建民	刘晓慧
杜炎森	杜 伟	张 洪	张 明	张芝熊	张初阳
张彦文	张尧鹏	张九根	张生林	张雪英	张 云
李治广	余九英	何秀明	何树年	何春荣	陆琴琴
陆海栓	邵海忠	陈 强	陈 勇	陈卫兴	陈炳南
吴进新	吴振尧	沈建新	沈煜坤	郑 健	杨学明
杨一民	杨爱蝶	金 侃	孟庆玲	周家华	周建平
周洪根	周功一	赵笑生	赵林明	赵维新	施敬民
洪文治	胡敏强	胡晓武	项培旭	俞 源	荣念孙
费 海	宣白云	姜 凌	侯鹏云	徐 兴	徐锦祥
徐 翔	徐黎虹	徐梓华	顾纪章	聂永铭	高佩铿
钱恩生	秦申蓓	秦剑慧	黄学良	黄兴度	黄启华
蒋小波	蒋伟洪	蒋家凯	董伯明	韩 钊	游夏扬
虞国良	鲍煜昭	蔡达盛	蔡敬义	蔡金洪	臧 涛
潘若洪					

内 容 提 要

本手册凝聚了高等院校、科研院所、供电局及专业生产厂的近百名教授、专家和工程技术人员的心血。他们本着简明、实用、内容新颖的原则，突出新原理、新材料、新结构、新工艺以及产品的高技术和高性能。在表达方式上，尽可能采用表格的形式，便于读者查找。

本手册涵盖面很广，内容涉及电动机、变压器、高低压电器、可编程序控制器、传感器、电工仪表及设备、电气控制、安全用电与节能等，适合于化工、石油化工、炼油、建筑、冶金、轻工等工业部门的工程技术人员查阅和参考。

目 录

第一篇 电路及磁路基础知识

第一章 电路基础知识	1	第五节 其他电路计算	17
第一节 电路元件及相关计算	1	第二章 磁场与磁路的基础知识	22
第二节 电路定律、定理	8	第一节 磁场基础知识	22
第三节 单相正弦交流电路	10	第二节 磁路基础知识	23
第四节 三相正弦电流电路	15	第三节 交流铁芯线圈	24

第二篇 电子基础知识

第一章 电子元器件	27	第五节 集成电压比较器	88
第一节 半导体器件型号的命名方法	27	第六节 集成稳压器	90
第二节 晶体二极管	30	第七节 其他集成放大器	99
第三节 晶体三极管	33	第八节 集成锁相环、压控振荡器和函数发生器	102
第四节 场效应晶体管	38	第九节 V/F、F/V 变换器	105
第五节 单结晶体管	43	第十节 A/D、D/A 转换器及采样/保持电路	110
第六节 晶体发光二极管	46	第三章 电力电子技术基础	118
第七节 光电晶体管	49	第一节 晶闸管元件	118
第八节 光电耦合器	52	第二节 晶闸管派生元件	123
第九节 达林顿管	55	第三节 晶闸管的保护和串并联	130
第十节 电阻器和电位器	57	第四节 晶闸管触发电路	134
第十一节 电容器	59	第五节 电力晶体管 (GTR)	140
第十二节 电子技术常用继电器	62	第六节 电力场效应管 (MOSFET)	147
第二章 集成电路及其应用	67	第七节 绝缘门极晶体管 (IGBT)	151
第一节 半导体集成电路的种类	67	第八节 静电感应晶体管 (SIT)	160
第二节 通用数字集成电路索引	70	第九节 MOS 栅控晶闸管 (MCT)	162
第三节 常用数字集成电路简介	82		
第四节 集成运算放大器	85		

第三篇 可编程序控制器 (PLC) 技术

第一章 PLC 的基本组成及选用	167	第一节 三菱可编程序控制器	171
第一节 概述	167	第二节 和泉可编程序控制器	181
第二节 PLC 的基本组成	168	第三节 西门子可编程序控制器	186
第三节 PLC 的选用	169	第四节 欧姆龙可编程序控制器	192
第二章 常用 PLC 系列介绍	171		

第四篇 传感器简介

第一章 传感器的基本概念	199	第一节 电位器式传感器	201
第一节 传感器的组成及分类	199	第二节 电阻应变式传感器	201
第二节 传感器的名词术语	199	第三节 热电阻传感器	203
第二章 电阻式传感器	201	第三章 电容式传感器	206

第一节 工作原理及类型	206	第八章 热电式传感器	221
第二节 电容式传感器的特点及应用	206	第一节 热电偶	221
第四章 电感式传感器	208	第二节 热电偶实用测温线路	224
第一节 电感式传感器工作原理	208	第三节 热电偶的校验	225
第二节 差动变压器式传感器	209	第九章 压电式传感器	227
第五章 电涡流式传感器	210	第一节 压电效应及压电材料	227
第一节 工作原理	210	第二节 压电式传感器的应用	227
第二节 电涡流式传感器的应用	210	第十章 霍尔式传感器	229
第六章 磁电式传感器	211	第一节 霍尔效应与霍尔元件	229
第一节 工作原理	211	第二节 霍尔式传感器的应用	231
第二节 磁电式传感器的应用	211	第十一章 谐振式传感器	232
第七章 光电式传感器	212	第一节 振弦式传感器	232
第一节 光电元件	212	第二节 石英晶体谐振式传感器	233
第二节 光电式传感器的应用	218		

第五篇 电动机及控制

第一章 电动机的基础知识	235	第一节 直流电动机的用途和分类	308
第一节 电动机的基本工作原理	235	第二节 直流电动机的基本结构	308
第二节 电动机的用途和分类	235	第三节 直流电动机的工作特性	310
第三节 电动机的主要技术数据	237	第四节 直流电动机的起动、调速和制动	312
第四节 电动机性能分析中的常用计算 公式	237	第五节 直流电动机的型号和分类	313
第五节 电动机常用的调速公式	241	第六节 直流电机的维护与常见故障	314
第二章 三相异步电动机	242	第七节 直流电机技术数据	317
第一节 三相异步电动机的运行原理及基本 结构	242	第五章 交流调速电动机及调速器	322
第二节 三相异步电动机的分类及型号	243	第一节 变极调速三相异步电动机	322
第三节 三相异步电动机的起动及制动 方法	245	第二节 电磁调速电动机	331
第四节 三相异步电动机的调速方式	247	第三节 电磁调速电动机控制器	340
第五节 三相异步电动机的技术数据	259	第四节 调速器	353
第六节 三相异步电动机的选用方法	278	第五节 YTP 系列变频调速异步电动机	358
第七节 三相异步电动机的常见故障和处理 方法	280	第六节 JZS ₂ 系列三相交流换向器电动机	360
第八节 三相异步电动机常见控制电路	282	第六章 微电机和小功率电机	367
第三章 同步电动机	293	第一节 微电机和小功率电机的型号和 分类	367
第一节 同步电动机的用途和类型	293	第二节 常用微电机电气原理图	368
第二节 同步电动机的基本结构	296	第三节 微型异步电动机（小功率电动机）	371
第三节 常用同步电动机的技术数据	297	第四节 微型同步电动机	379
第四节 同步电动机的起动方法	305	第五节 微型直流电动机	384
第五节 同步电动机的故障和处理方法	305	第六节 控制微电机	394
第四章 直流电动机	308	第七节 交直流两用电动机	418
		第八节 家用电器电动机	422

第六篇 变 压 器

第一章 变压器基础知识	431	第三节 变压器的主要技术参数	432
第一节 变压器基本工作原理	431	第四节 变压器参数的测试方法	436
第二节 变压器的种类和用途	431	第二章 电力变压器	438

第一节	电力变压器的分类和型号	438	第三节	控制变压器的绕制	470
第二节	电力变压器的结构	439	第四节	控制变压器的技术数据	473
第三节	电力变压器的运行	443	第五节	控制变压器的技术要求	488
第四节	电力变压器的试验标准	445	第五章	互感器	490
第五节	变压器的维护与故障检修	447	第一节	概述	490
第六节	电力变压器常用产品的技术数据	450	第二节	电压互感器	492
第三章	小功率电源变压器	456	第三节	电流互感器	496
第一节	概述	456	第六章	特种变压器	504
第二节	高频电源变压器的设计	458	第一节	自耦变压器	504
第三节	小功率电源变压器的绕制方法	461	第二节	电炉变压器	511
第四节	小功率电源变压器的常见故障及排除方法	464	第三节	整流变压器	526
第四章	控制变压器	466	第四节	脉冲变压器	534
第一节	型号含义和铭牌数据	466	第五节	磁性调压器	536
第二节	控制变压器的设计	466	第六节	交流稳压器	541

第七篇 高压电器

第一章	概述	564	第一节	型号含义与分类	605
第一节	高压电器的定义、分类和用途	564	第二节	结构及技术参数	605
第二节	高压电器的主要技术参数	564	第三节	安装与维护	610
第三节	操动机构	566	第九章	熔断器	611
第二章	油断路器	571	第一节	3~35kV 户内高压限流熔断器	611
第一节	结构及工作原理	571	第二节	10~35kV 户外交流高压跌落式熔断器	613
第二节	安装、运行及检修	573	第十章	避雷器	616
第三节	常用产品的主要技术参数	574	第一节	碳化硅普通阀式避雷器	616
第三章	真空断路器	576	第二节	交流无间隙 MOA	619
第一节	VS1 户内高压真空断路器	576	第三节	交流有串联间隙金属氧化物避雷器	623
第二节	ZN28-10 系列真空断路器	579	第四节	有机复合绝缘外套的 MOA	627
第三节	ZN48A-10 系列真空断路器	580	第五节	三相组合式 MOA	627
第四章	六氟化硫 (SF ₆) 断路器	583	第六节	脱离装置	629
第一节	结构及工作原理	583	第七节	交流电力系统线路阻波器用 MOA	629
第二节	灭弧室结构	585	第八节	罐式无间隙 MOA	630
第三节	安装、运行及检修	586	第九节	直流有串联间隙 MOA	631
第四节	常用产品的主要技术参数	588	第十节	避雷器用放电计数器和避雷器监测器	631
第五章	隔离开关及接地开关	589	第十一章	电力电容器及其装置	633
第一节	隔离开关	589	第一节	概述	633
第二节	接地开关	592	第二节	并联电容器及其装置	636
第六章	有载分接开关	594	第三节	静止补偿器	640
第一节	有载分接开关的型号及种类	594	第四节	静止无功发生器	641
第二节	有载分接开关的附属装置	596	第五节	交流滤波电容器及交流滤波装置	642
第三节	常用产品技术参数	597	第六节	串联电容器及其装置	644
第四节	安装、运行和维修	598			
第七章	柱上断路器	601			
第一节	结构特点	601			
第二节	产品主要技术参数	603			
第三节	使用与维护	603			
第八章	负荷开关及负荷开关-熔断器组合电器				

第七节	其他电容器	645
第十二章	电抗器	649
第一节	电抗器的分类及型号	649
第二节	电抗器的结构及安装方法	649
第三节	常用电抗器	651
第十三章	3~35kV 交流金属封闭开关设备	658
第一节	概述	658
第二节	JYN1-35 (Q) 手车式高压开关柜	662
第三节	JYN2-10 型交流金属封闭型移开式开关设备	664
第四节	XGN2-10 型固定式高压开关箱	665
第五节	GZS1 型户内金属铠装移开式高压开关柜	666

第六节	KYN1-10 型户内金属铠装移开式高压开关柜	669
第七节	KYN1B-10 (VD4) 型户内金属铠装移开式高压开关柜	671
第八节	KYN800-10 型铠装移开式金属封闭高压开关柜	674
第九节	KYN□-10 型双层铠装式金属封闭真空开关柜	675
第十节	GG1A-10 (F) 型高压开关柜	676
第十一节	KYN19-10 (FC) 型铠装双层移开式金属封闭开关设备	676
第十二节	空气绝缘和 SF ₆ 气体绝缘环网供电开关箱	677
第十三节	3~35kV 交流箱式变电站	682

第八篇 低压电器

第一章	概述	688
第二章	配电开关电器	694
第一节	断路器	694
第二节	隔离器开关、隔离开关、熔断器组合电器	704
第三节	熔断器	707
第三章	控制电器	711
第一节	接触器	711
第二节	起动器	715
第四章	控制电路电器	720
第一节	控制继电器	720
第二节	主令电器	723
第三节	信号灯	726
第五章	终端电器	727
第一节	模数化终端电器	727
第二节	终端组合电器	729
第六章	辅助电器和其他低压器件	731
第一节	变阻器	731
第二节	电磁铁	732
第三节	接线端子	734
第七章	保护继电器	736
第一节	电流电压继电器	736
第二节	DZ-200 系列中间继电器	737

第三节	时间继电器	739
第四节	信号继电器	741
第五节	LL-10 系列过流继电器	742
第八章	防爆电器	745
第一节	概述	745
第二节	防爆开关	747
第三节	防爆主令电器、信号灯及插销	749
第九章	低压成套开关设备和电控设备	751
第一节	概述	751
第二节	GCL1、GCK1 型低压抽出式开关设备	753
第三节	GBD1 型交流低压固定分隔式开关柜	755
第四节	GCS 型交流低压抽出式开关柜	756
第五节	ID/IDS 全绝缘全封闭配电柜	758
第六节	MNS 型低压成套设备	759
第七节	多米诺 (DOMINO) 组合式开关柜	760
第八节	S 型 MCC (GCD24) 电动机控制中心	761
第九节	JK 型交流低压电控设备	761
第十节	CUBIC-0.66kV 低压开关柜	763

第九篇 家用电器

第一章	概述	765
第一节	分类	765
第二节	家用电器的安全	765
第三节	家用电器的标志	767
第二章	清洁器具	768

第一节	电风扇	768
第二节	空调器	772
第三章	清洁器具	776
第一节	洗衣机	776
第二节	吸尘器	779

第四章 制冷器具——电冰箱	782
第五章 音像器具	786
第一节 电视机	786
第二节 录像机	787
第三节 VCD	790
第四节 收录机	794
第六章 厨房器具	796

第一节 微波炉	796
第二节 电饭锅	797
第七章 其他	800
第一节 电熨斗	800
第二节 电吹风	802
第三节 电烙铁	803

第十篇 电工材料

第一章 导电材料	805
第一节 概述	805
第二节 裸电线	806
第三节 绕组线	818
第四节 电气装备用电线电缆	825
第五节 电力电缆	847
第六节 通信电缆	879
第二章 绝缘材料	886
第一节 概述	886
第二节 气体绝缘材料	888
第三节 电工用油漆、绝缘油和浇注胶	889
第四节 电工用薄膜、胶粘带和柔软复合材料	903
第五节 绝缘纸板及绝缘成型件	911
第六节 电工层压制品	912
第七节 电工用橡胶	915
第八节 电工用塑料	918
第九节 云母及云母制品	925
第十节 绝缘子	930
第三章 电阻合金及电热材料	944
第一节 电阻合金	944

第二节 电热材料	951
第四章 磁性材料	956
第一节 软磁材料	956
第二节 硬磁材料	961
第五章 焊接材料	963
第一节 电焊条	968
第二节 焊丝	970
第三节 焊剂与熔剂	973
第四节 钎料	975
第五节 焊粉	976
第六节 焊接用气体	976
第六章 其他电工材料	977
第一节 热电偶	977
第二节 热双金属片	980
第三节 熔丝	983
第四节 常用电刷	984
第五节 电线槽管	987
第六节 金属封闭母线槽	991
第七节 电缆桥架	995
第八节 电触头材料	997

第十一篇 供电与配电

第一章 35kV 变配电所	1000
第一节 电力系统简介	1000
第二节 负荷计算、分类及供电方案	1002
第三节 无限大电源系统短路电流计算	1006
第四节 变配电所一般要求	1007
第五节 电气主接线	1011
第六节 主设备选择原则	1014
第七节 继电保护及自动装置	1023
第八节 过电压保护	1035
第九节 二次回路	1042
第十节 无功补偿	1044
第十一节 电能计量装置	1045
第二章 配电系统	1047
第一节 配电方式	1047
第二节 低压配电线路敷设	1049

第三节 进户、计量装置	1054
第四节 电缆线路	1057
第三章 照明	1061
第一节 电光源与照明器	1061
第二节 照明质量	1085
第三节 照度计算	1093
第四节 照明的控制和支路的分路	1096
第四章 民用建筑供配电与建筑弱电设备	1098
第一节 多层住宅的供配电	1098
第二节 高层公共建筑供配电	1101
第三节 共用天线电视系统	1109
第四节 火灾报警设备	1117
第五节 住宅对讲防盗门系统	1129
第六节 闭路电视监控系统	1130

第十二篇 电工仪表及设备

第一章 常用电工仪表和测量常识	1136	第二节 弧焊变压器	1187
第一节 常用电工仪表常识	1136	第三节 直流弧焊发电机	1190
第二节 电量测试的方法	1140	第四节 弧焊整流器	1192
第三节 电量测量误差和消除方法	1141	第五节 逆变弧焊整流器	1198
第四节 测量数据的处理	1142	第六节 气体、焊剂保护弧焊机	1199
第二章 常用电工仪表	1143	第七节 电阻焊机	1207
第一节 电压表	1143	第八章 滑导电器	1213
第二节 电流表	1144	第一节 特点及分类	1213
第三节 功率表	1145	第二节 工作原理及产品结构	1214
第四节 兆欧表	1147	第三节 常用滑导电器产品的技术参数	1215
第五节 万用表	1148	第四节 滑导电器的选用和维护	1222
第六节 电桥	1149	第九章 电炉	1225
第七节 电位差计	1150	第一节 实验室电炉	1225
第八节 示波器	1151	第二节 RM_3 系列密封箱式电阻炉	1229
第九节 数字式仪表	1152	第三节 RX_3 箱式电阻炉	1230
第十节 电能表	1155	第四节 D 系列箱式回火炉	1231
第十一节 智能仪器	1155	第五节 RT_2 台车式电阻炉	1232
第十二节 UPS 电源	1156	第六节 DM 系列盐浴电阻炉	1232
第三章 常用电子元件参数测试仪器	1158	第七节 井式炉	1233
第一节 晶体管特性图示仪	1158	第八节 输送带式电阻炉	1235
第二节 品质因数测试仪	1159	第九节 感应电热设备	1236
第四章 其他仪表仪器	1160	第十节 电弧炼钢炉	1249
第一节 测速表	1160	第十一节 等离子热处理设备	1253
第二节 测功机	1161	第十二节 可控气氛装置	1254
第三节 转矩转速测试仪	1162	第十三节 粉末冶金烧结电炉	1256
第四节 接地电阻测试仪	1163	第十四节 电气测量与控制	1258
第五节 谐波测试仪	1164	第十章 电瓶叉车和搬运车	1261
第五章 常用电气测试设备	1165	第一节 电瓶叉车	1261
第一节 冲击电压发生器	1165	第二节 电瓶搬运车	1265
第二节 冲击电流发生器	1167	第十一章 蓄电池	1267
第三节 BPD 晶体管变频电源	1168	第一节 蓄电池的结构和工作原理	1267
第四节 高压试验变压器	1169	第二节 产品型号的含义	1268
第五节 直流高压发生器	1172	第三节 蓄电池的基本性能及技术参数	1271
第六节 YDX 谐振变压器	1172	第四节 蓄电池的使用和维护	1284
第六章 电动工具	1174	第五节 蓄电池充电设备	1289
第一节 概述	1174	第十二章 柴油发电机组	1293
第二节 电动工具的基本结构	1176	第一节 特点和结构	1293
第三节 常用电动工具简介	1177	第二节 柴油发电机组的型号规定和技术要求	1293
第四节 电动工具的安全使用及维修知识	1183	第三节 柴油发电机组的选择	1294
第七章 电焊机	1185	第四节 柴油发电机组的使用和维护	1295
第一节 概述	1185	第五节 柴油发电机组的故障和排除	1296

第十三篇 常用机械设备电气控制

第一章 车床电气控制	1298	第一节 控制电路	1298
-------------------------	------	-----------------------	------

第二节 电气修理	1298	第一节 概述	1350
第二章 磨床电气控制	1300	第二节 电梯电气系统	1352
第一节 M2110C 内圆磨床	1300	第三节 安全设施	1364
第二节 M11100A 宽砂轮无心磨床	1304	第四节 维修与保养	1365
第三节 3MZ203/CNC 自动轴承内圆磨床	1311	第五节 自动扶梯和自动人行道	1367
第四节 M7130 卧轴矩台平面磨床	1321	第十一章 锅炉电控装置	1373
第三章 卧式镗床电气控制	1323	第一节 型号	1373
第四章 铣床电气控制	1327	第二节 工业锅炉成套控制装置	1373
第五章 刨床	1330	第三节 中小型电站锅炉成套控制装置	1376
第六章 Z535 型钻床	1335	第十二章 泵、风机和压缩机的电气拖动	1379
第一节 机床电路工作原理	1335	第一节 泵、风机和压缩机的分类和性能	1379
第二节 使用与维护	1335	第二节 泵、风机和压缩机与电动机的匹配	1386
第七章 数控机床电气设备的修理	1337	第三节 泵、风机和压缩机的选择、安装、使用	1389
第一节 CK6163D 数控车床	1337	第十三章 联合收割机电控装置	1393
第二节 安装与调试	1338	第一节 太湖-1450 型联合收割机电气原理	1393
第三节 一般故障检测与排除方法	1339	第二节 常见故障及其处理方法	1395
第八章 15/3t 重级桥式起重机	1343	第十四章 农村排灌用水泵	1396
第九章 起重电磁铁	1347	第一节 常用水泵	1396
第一节 起重电磁铁电源	1347	第二节 容量确定方法	1397
第二节 起重电磁铁的控制电路	1347	第三节 常见故障原因及修理	1398
第三节 起重电磁铁的使用	1349		
第四节 起重电磁铁的自保磁系统	1349		
第十章 电梯电气控制	1350		

第十四篇 安全用电及节约用电

第一章 安全用电	1400	第二章 节约用电	1414
第一节 人体触电的危害	1400	第一节 减少线路损失	1414
第二节 防止人体触电的技术措施	1403	第二节 照明节电	1416
第三节 触电急救	1408	第三节 通用设备节电	1417
第四节 电气防火防爆	1412		

附 录

第一节 计量单位及其换算	1420	第五节 常用气象地理资料	1434
第二节 国内外标准代号	1423	第六节 电气技术中的图形符号	1442
第三节 优先数和模数	1424	第七节 电气技术中的文字符号	1458
第四节 常用物理化学资料	1425	第八节 基本电气额定值等级	1463

第一篇 电路及磁路基础知识

第一章 电路基础知识

第一节 电路元件及相关计算[●]

一、电阻元件及相关计算

1. 电阻元件 R [单位: 欧姆 (Ω)]

(1) 一段导体的电阻

计算公式:

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

式中 ρ ——导体材料的电阻率, $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$;

l ——导体的长度, m;

S ——导体的横截面积, mm^2 。

(2) 电导

$$G = \frac{1}{R} \quad (\text{S})$$

(3) 电阻上电压与电流 (图 1.1.1) 之间的关系 (欧姆定律)

$$u = Ri$$

$$i = \frac{u}{R} = Gu$$

式中 u ——加在电阻两端的电压, V;

i ——流过电阻的电流, A。

(4) 电阻上的瞬时功率

$$p(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = Gu^2(t) \quad (\text{W})$$

(5) 电阻上的有功功率

$$P = UI = RI^2 = GU^2 \quad (\text{W})$$

(6) 电阻上消耗的电能

$$W = Pt = UIt = RI^2t = GU^2t \quad (\text{J})$$

2. 电阻的串联电路与并联电路

以三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串联和并联的电路为例进行讨论 (图 1.1.2 和图 1.1.3), 并列表对两种电路进行比较 (表 1.1.1)。

3. 由电阻构成的电桥电路 (图 1.1.4)

电桥平衡条件: $R_1 R_4 = R_2 R_3$

电桥平衡时: $U_{ab} = 0$

4. 由电阻构成的星形电路与三角形电路之间的等效变换 (图 1.1.5)



图 1.1.1 一段电阻电路

● 凡不加特别说明, 电路元件均指线性元件。

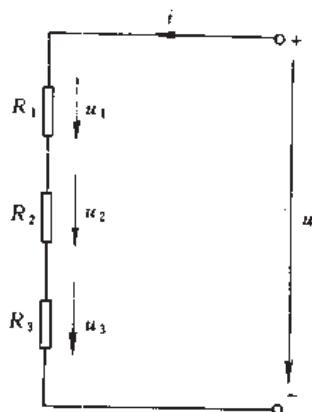


图 1.1.2 电阻串联电路

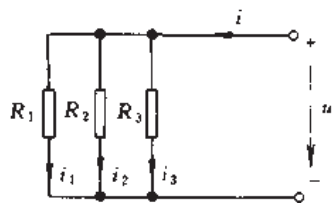


图 1.1.3 电阻并联电路

表 1.1.1 电阻串联电路与并联电路比较

项 目	电阻串联电路	电阻并联电路
电路图	图 1.1.2	图 1.1.3
电阻总值 R	$R = R_1 + R_2 + R_3$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ 或 $G = G_1 + G_2 + G_3$ 或 $R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}$ 若只有两个电阻并联, 则 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
总电压(电流)与分电压(电流)的关系	$u = u_1 + u_2 + u_3 = (R_1 + R_2 + R_3)i$	$i = i_1 + i_2 + i_3 = (G_1 + G_2 + G_3)u$
各电阻上电压(电流)之比	$u_1 : u_2 : u_3 = R_1 : R_2 : R_3$	$i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} = G_1 : G_2 : G_3$
总有功功率	$P = P_1 + P_2 + P_3$ $= U_1 i + U_2 i + U_3 i$ $= (R_1 + R_2 + R_3) i^2$	$P = P_1 + P_2 + P_3$ $= (I_1 + I_2 + I_3) U$ $= (G_1 + G_2 + G_3) U^2$

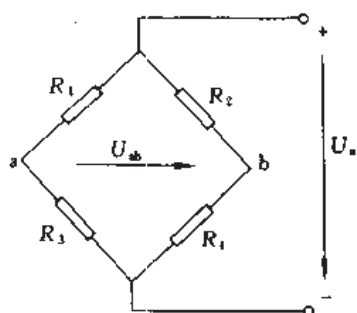
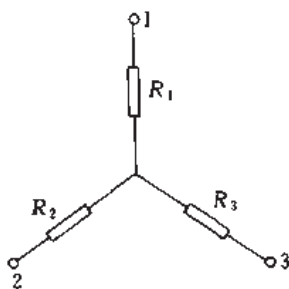
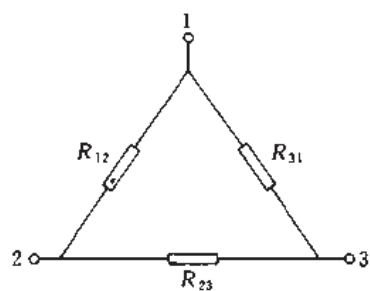


图 1.1.4 电桥电路



(a) 星形电路



(b) 三角形电路

图 1.1.5 星形电路与三角形电路

(1) 由星形变换为三角形

$$\begin{cases} R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3} & (\Omega) \\ R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1} & (\Omega) \\ R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2} & (\Omega) \end{cases}$$

若 $R_1 = R_2 = R_3 = R_Y$, 则 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta} = 3R_Y$ 。

(2) 由三角形变换为星形

$$\begin{cases} R_1 = \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} & (\Omega) \\ R_2 = \frac{R_{23}R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} & (\Omega) \\ R_3 = \frac{R_{31}R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} & (\Omega) \end{cases}$$

若 $R_{12} = R_{23} = R_{31} = R_{\Delta}$, 则 $R_1 = R_2 = R_3 = \frac{1}{3}R_{\Delta}$ 。

二、电容元件及相关计算

1. 电容元件 C [单位: 法拉 (F)]

(1) 平板电容器的电容值 C (图 1.1.6)

$$C = \frac{S}{\epsilon d} \quad (\text{F})$$

式中 S ——平板电容器一块极板的面积, m^2 ;

d ——两极板间的垂直距离, m ;

ϵ ——极板间介质的介电常数, F/m 。

(2) 电容器正极板上的电荷 q

$$q = CU \quad (\text{C})$$

式中 U ——加在电容器极板间的电压, V 。

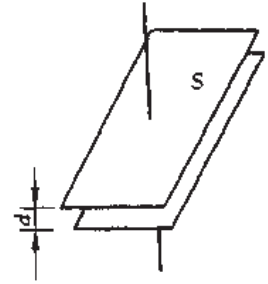


图 1.1.6 平板电容器

(3) 电容电路 (图 1.1.7) 中的电流 $i(t)$

$$i(t) = \frac{dq}{dt} \quad (\text{A})$$

$$i(t) = C \frac{du}{dt} \quad (\text{A})$$

(4) 电容元件上电压与电流的关系

$$u(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{C} i(\tau) d\tau = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\tau) d\tau \quad (\text{V})$$

(5) t 时刻电容中的电场能量 W

$$W_C(t) = \frac{1}{2} Cu^2(t) \quad (\text{J})$$

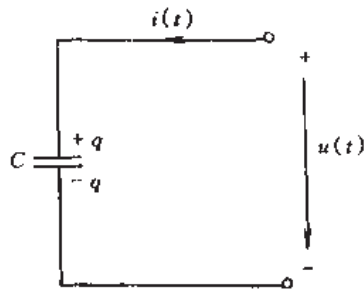


图 1.1.7 一段电容电路

2. 电容串联电路与并联电路 (图 1.1.8 与图 1.1.9)

电容串联电路与并联电路的比较见表 1.1.2。

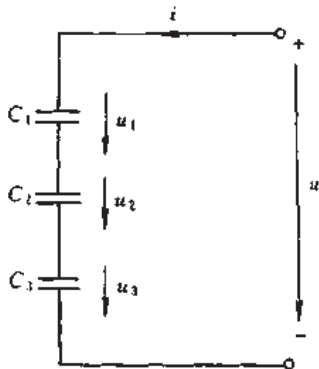


图 1.1.8 电容串联电路

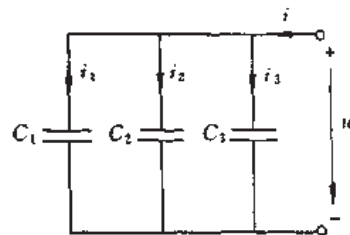


图 1.1.9 电容并联电路

表 1.1.2 电容串联电路与并联电路比较

项 目	电容串联电路	电容并联电路
电路图	图 1.1.8	图 1.1.9
电容总值 C	$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$ $C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_3 C_1}$	$C = C_1 + C_2 + C_3$
总电压(电流)与分电压(电流)的关系	$u = u_1 + u_2 + u_3$	$i = i_1 + i_2 + i_3$ $= (C_1 + C_2 + C_3) \frac{du}{dt}$
各电容上电压(电流)之比	$u_1 : u_2 : u_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}$	$i_1 : i_2 : i_3 = C_1 : C_2 : C_3$

三、电感元件及相关计算

1. 电感元件 L [单位: 亨利 (H)](1) 细长密绕螺线圈的 (图 1.1.10) 电感值 L

$$L \approx \mu \frac{N^2 S}{l} \quad (\text{H})$$

式中 N ——线圈匝数; S ——螺线管横截面积, m^2 ; l ——螺线管管长, m ; μ ——螺线管内介质的导磁系数, H/m 。(2) t 时刻线圈中的磁通链 $\Psi(t)$

$$\Psi(t) = Li(t) \quad (\text{Wb})$$

式中 $i(t)$ —— t 时刻流过线圈的电流, A 。(3) 电感电路 (图 1.1.11) 中电感两端的电压 $u(t)$

$$u(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt} = L \frac{di(t)}{dt} \quad (\text{V})$$

(4) 电感元件上电流与电压的关系

$$i(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{L} u(\tau) d\tau = i(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u(\tau) d\tau \quad (\text{A})$$

(5) 电感元件上的瞬时功率

$$p(t) = u(t)i(t) = Li(t) \frac{di}{dt} \quad (\text{W})$$

(6) t 时刻电感中的磁场能量 $W_L(t)$

$$W_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) \quad (\text{J})$$

2. 电感串联电路与并联电路 (图 1.1.12 与图 1.1.13)

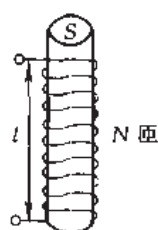


图 1.1.10 细长密绕螺线圈

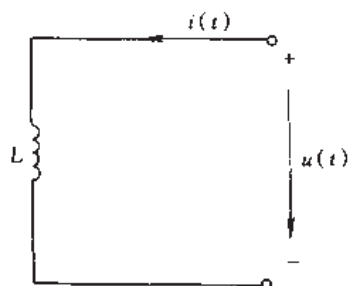


图 1.1.11 一段电感电路

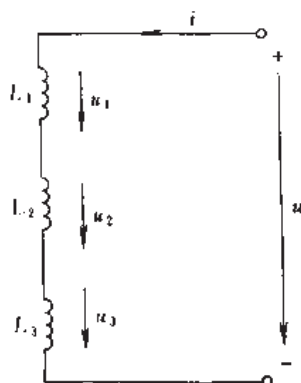


图 1.1.12 电感串联电路

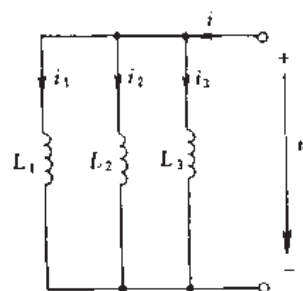


图 1.1.13 电感并联电路

两种电路的比较见表 1.1.3。

表 1.1.3 电感串联电路与并联电路比较

项 目	电感串联电路	电感并联电路
电路图	图 1.1.12	图 1.1.13
电感总值 L	$L = L_1 + L_2 + L_3$	$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$ $L = \frac{L_1 L_2 L_3}{L_1 L_2 + L_2 L_3 + L_3 L_1}$
总电压（电流）与分电压（电流）的关系	$u = u_1 + u_2 + u_3$ $= (L_1 + L_2 + L_3) \frac{di}{dt}$	$i = i_1 + i_2 + i_3$
各电感上电压（电流）之比	$u_1 : u_2 : u_3 = L_1 : L_2 : L_3$	$i_1 : i_2 : i_3 = \frac{1}{L_1} : \frac{1}{L_2} : \frac{1}{L_3}$

四、电压源与电流源元件及相关计算

1. 独立电压源与电流源

理想独立电压源、实际电压源如图 1.1.14 和图 1.1.15 所示，理想独立电流源、实际电流源如图 1.1.16 和图 1.1.17 所示，电压源串联电路和电流源并联电路分别如图 1.1.18 和图 1.1.19 所示。独立电压源与独立电流源的比较见表 1.1.4。

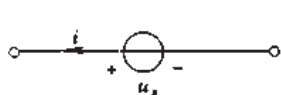


图 1.1.14 理想独立电压源

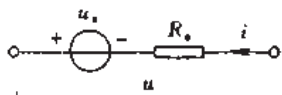


图 1.1.15 实际电压源

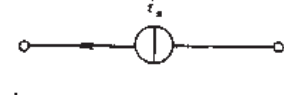


图 1.1.16 理想独立电流源

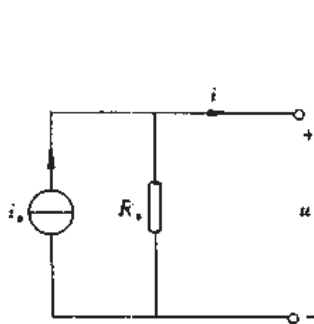


图 1.1.17 实际电流源

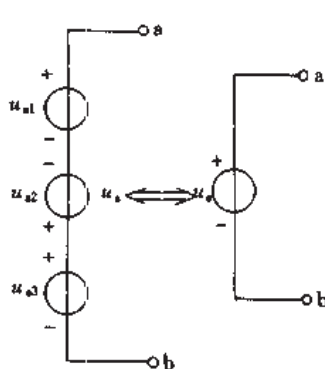


图 1.1.18 电压源串联电路

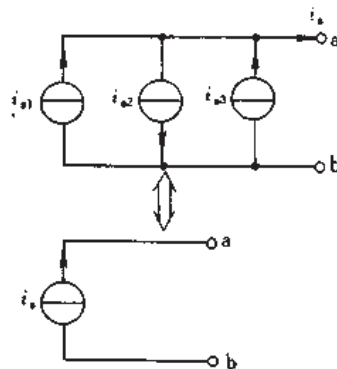


图 1.1.19 电流源并联电路

表 1.1.4 独立电压源与独立电流源比较

项 目	电 压 源	电 流 源
理想独立电源模型	图 1.1.14	图 1.1.16
电源特征	端电压 $u_{AB} = u_s$ （无论电压源的输出电流 i 值为多少）	端电流 $i = i_s$ （无论电流源两端电压 u 值为多少）
电源的工作状态	当 $P = u_s i > 0$ 时，电压源提供功率； 当 $P = u_s i < 0$ 时，电压源吸收（消耗）功率	当 $P = i_s u > 0$ 时，电流源提供功率； 当 $P = i_s u < 0$ 时，电流源吸收（消耗）功率
实际电源的等效电路	图 1.1.15	图 1.1.17

项 目	电 压 源	电 流 源
实际电源的外特性	输出电压 u_{AB} $u_{AB} = u_s - R_s i$	输出电流 i $i = i_s - \frac{u}{R_s}$
电源的串并联电路	电压源串联电路例见图 1.1.18	电流源并联电路例见图 1.1.19
等效电压(电流)源的电压(电流)值	$u_s = \sum_{i=1}^n u_{si}$ 例中: $u_s = u_{s1} - u_{s2} + u_{s3}$	$i_s = \sum_{j=1}^n i_{sj}$ 例中: $i_s = i_{s1} - i_{s2} + i_{s3}$

2. 受控源

(1) 电压控制电压源 (英文缩略词 VCVS) (图 1.1.20)

图中 $\mu = \frac{u_2}{u_1}$ 称为电压放大系数。

(2) 电流控制电压源 (英文缩略词 CCVS) (图 1.1.21)

图中 $r = \frac{u_2}{i_1}$ 称为转移电阻。

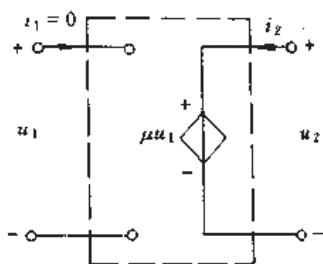


图 1.1.20 电压控制电压源 (VCVS)

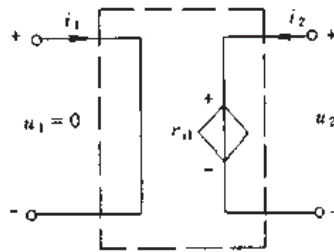


图 1.1.21 电流控制电压源 (CCVS)

(3) 电压控制电流源 (英文缩略词 VCCS) (图 1.1.22)

图中 $g = \frac{i_2}{u_1}$ 称为转移电导。

(4) 电流控制电流源 (英文缩略词 CCCS) (图 1.1.23)

图中 $\alpha = \frac{i_2}{i_1}$ 称为电流放大系数。

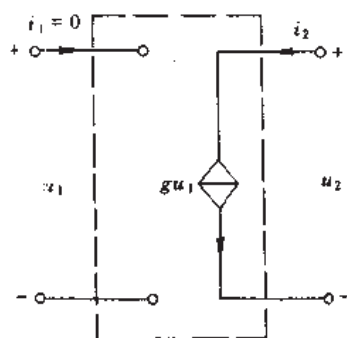


图 1.1.22 电压控制电流源 (VCCS)

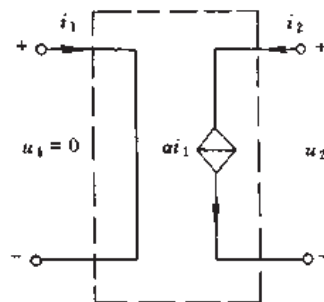


图 1.1.23 电流控制电流源 (CCCS)

五、互感元件及相关计算

1. 互感元件 M [单位: 亨利 (H)]

(1) 两个磁耦合线圈 (图 1.1.24) N_1 与 N_2 之间的互感 M

$$M = \frac{\Phi_{21}}{i_1} = \frac{\Phi_{12}}{i_2} \quad (\text{H})$$

(2) 两个磁耦合线圈的耦合系数 κ

$$\kappa = \sqrt{\frac{\Phi_{12} \cdot \Phi_{21}}{\Phi_{11} \cdot \Phi_{22}}} = \sqrt{\frac{M^2}{L_1 L_2}} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \leq 1$$

(3) 互感电势

当第一个线圈中电流 i_1 变化时, 在第二个线圈中所感应的电动势 e_{M2} :

$$e_{M2} = -M \frac{di_1}{dt} \quad (\text{V})$$

当第二个线圈中电流 i_2 变化时, 在第一个线圈中所感应的电动势 e_{M1} :

$$e_{M1} = -M \frac{di_2}{dt} \quad (\text{V})$$

(4) 两个磁耦合线圈的同名端

① 同名端的含义 当同时穿过两个磁耦合线圈的磁通发生变化时, 在两线圈上产生感应电动势的同极性端称为两线圈的同名端。例如图 1.1.25 (a) 中的 a 端与 c 端, 图 1.1.25 (b) 中的 a 端与 d 端。可以在一对同名端上标以相同的标记 “*” 或 “·” (显然剩下的未作标记的两个端子也互为同名端)。

② 用冲击法测定同名端 (可以不了解线圈的具体绕向或放置位置) 在 A 线圈上接电池, 在 B 线圈上接电流表 (图 1.1.26)。若当 A 线圈接通电源的一瞬间, 接在 B 线圈上的电流表指针正偏, 则 A 线圈接电池正极的一端与 B 线圈接电流表正端子的一端互为同名端。

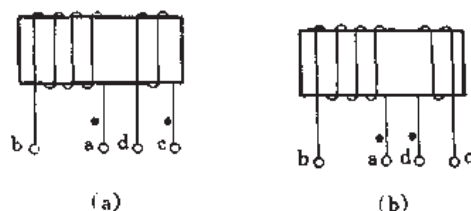


图 1.1.25 磁耦合线圈同名端



图 1.1.26 用冲击法测定同名端

2. 两耦合线圈的串联与并联

两耦合线圈的串联分为顺接串联和反接串联两种形式, 见图 1.1.27 和图 1.1.28; 两耦合线圈的并联分为同名端相接的并联和不同名端相接的并联, 见图 1.1.29 和图 1.1.30。耦合线圈串联与并联的比较表见表 1.1.5。

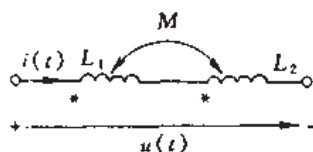


图 1.1.27 顺接串联



图 1.1.28 反接串联

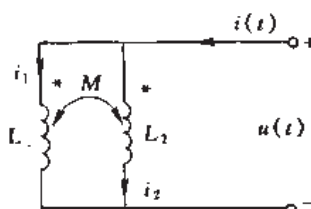


图 1.1.29 同名端相接并联

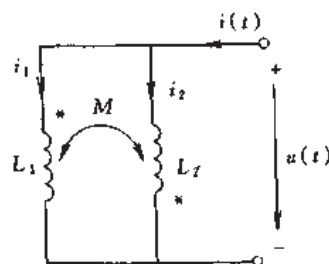


图 1.1.30 非同名端相接并联

表 1.1.5 两耦合线圈的串联与并联比较

连接方式	电路图	等效电感值 L	电压与电流关系
顺接串联	图 1.1.27	$L = L_1 + L_2 + 2M$	$u(t) = (L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt}$
反接串联	图 1.1.28	$L = L_1 + L_2 - 2M$	$u(t) = (L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt}$
同名端相接的 并联	图 1.1.29	$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M}$	$u(t) = L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt}$ $= L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt}$
非同名端相接的 并联	图 1.1.30	$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 + 2M}$	$u(t) = L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}$ $= L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}$

3. 互感消去法

(1) 同名端相接的 T 形电路 同名端相接的 T 形电路及其去耦等效电路见图 1.1.31。

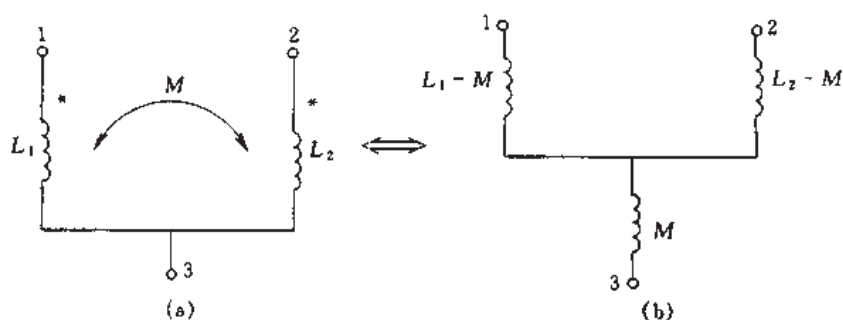


图 1.1.31 同名端相接的 T 形电路

(2) 非同名端相接的 T 形电路 非同名端相接的 T 形电路及其去耦等效电路见图 1.1.32。

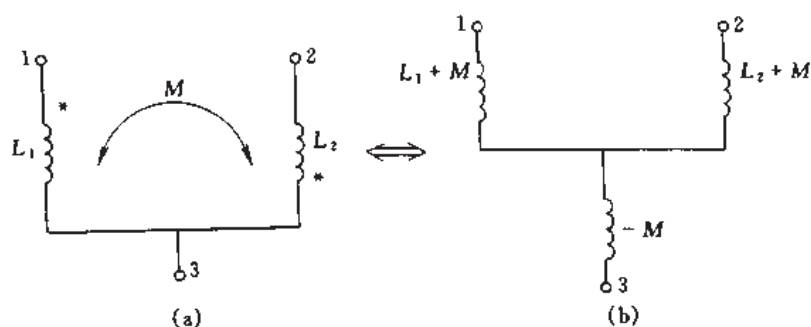


图 1.1.32 非同名端相接的 T 形电路

第二节 电路定律、定理

一、基尔霍夫定律

基尔霍夫定律包含电流定律和电压定律，又称基尔霍夫第一定律和第二定律。如图 1.1.33 和图 1.1.34，两定律的说明列于表 1.1.6 之中。

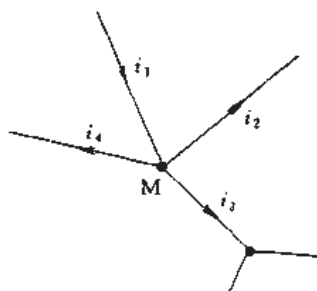


图 1.1.33 基尔霍夫第一定律

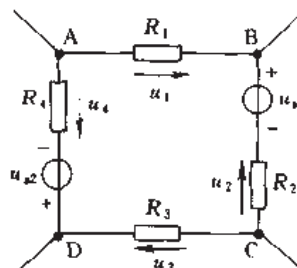


图 1.1.34 基尔霍夫第二定律

表 1.1.6 基尔霍夫电流定律与电压定律

项 目	基尔霍夫电流定律	基尔霍夫电压定律
英文缩写词	KCL	KVL
定律内容	对于电路中任何一个节点，在任一瞬时，流出（或流入）此节点电流的代数和恒等于零	对于电路中任何一个回路，在任一瞬时，沿该回路电压降的代数和恒等于零
数学表达式	$\sum i(t) = 0$	$\sum u(t) = 0$
示例	对于图 1.1.33 所示电路中的节点 M，有 $-i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$ 或 $i_2 + i_3 + i_4 = i_1$ 即从节点 M 流出的电流的总和等于同一瞬间流入该节点的总电流	对于图 1.1.34 所示电路中的回路 ABCDA，有 $u_1 + u_2 - u_3 + u_4 = 0$

二、叠加定理

在线性电路中，当有若干个独立电源作用时，任一支路的电流或电压，等于电路中各个独立电源单独作用时，在该支路中所产生的电流或电压之代数和。

所谓某独立电源单独作用，就是假设其余独立电源为零值。独立电压源 u_s 为零值，相当于将其短路；独立电流源 i_s 为零值，相当于将其开路。

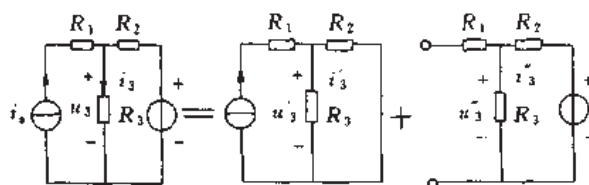


图 1.1.35 叠加定理

如图 1.1.35， R_3 支路的电流 $i_3 = i_3' + i_3''$ ，电压 $u_3 = u_3' + u_3''$ 。

三、戴维南定理

任何一个线性有源二端网络都可以用一个电压源 u_s 和电阻 R_0 串联的电源来等效代替。其中，电压源的电压 u_s 等于该网络的开路电压 u_o ，串联电阻 R_0 等于该网络中所有独立电源为零值时对应的无源网络的等效电阻（图 1.1.36）。

四、替代定理

网络中的任何一条支路，如果已知它的支路电压或电流，则可以拿掉这条支路，用一个与原支路电压大小和方向相同的独立电压源或与原支路电流大小和方向相同的独立电流源来替代，而不致影响

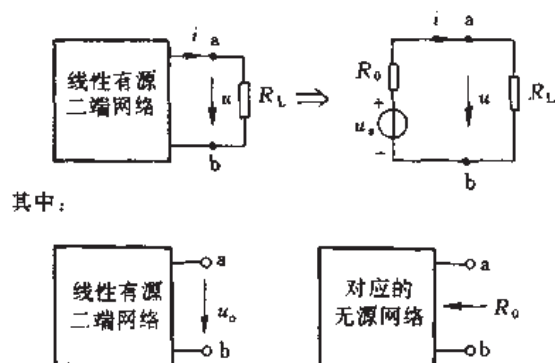


图 1.1.36 戴维南定理

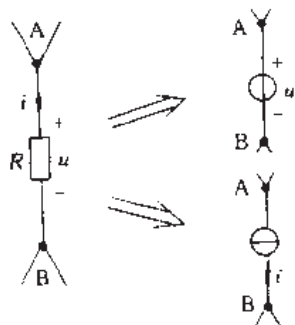


图 1.1.37 替代定理

整个网络中各支路的电压和电流 (图 1.1.37)。

五、互易定理

在无源线性网络中, 如果在某支路中接入一个独立电源 (激励), 将在另一支路产生一个电流或电压 (响应)。当激励和响应互换位置时, 相同的激励将产生相同的响应。例如, 在图 1.1.38 中, 若 $u_1 = u_2$, 则 $i_2 = i_1$; 在图 1.1.39 中, 若 $i_1 = i_2$, 则 $u_2 = u_1$ 。

六、功率守恒定理

在任意网络中, 在任何瞬时, 各支路吸收的功率的代数和恒等于零 (如果是发出功率, 则为负的吸收功率)。

数学表达式为

$$\sum_{k=1}^n u_k i_k = 0$$

式中 n 为支路数。

也可叙述为: 在任意网络中, 在任何瞬时, 各负载吸收的功率之和等于各电源发出的功率之和。

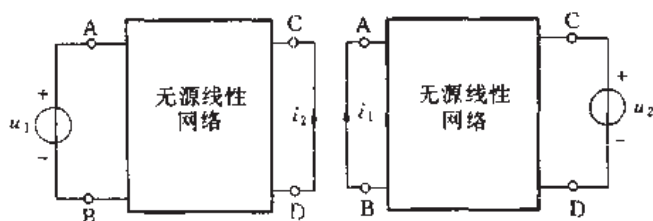


图 1.1.38 互易定理 (一)

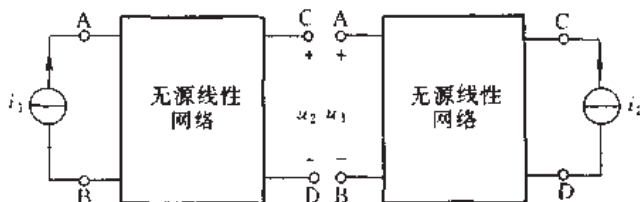


图 1.1.39 互易定理 (二)

第三节 单相正弦交流电路

一、正弦交流电的基本概念

1. 正弦交流电的三要素 (图 1.1.40)

(1) 振幅 (最大值)

正弦电流的最大值 I_m (A)

正弦电压的最大值 U_m (V)

(2) 频率或角频率

频率 f (Hz)

角频率 ω (rad/s)

相互关系: $\omega = 2\pi f$ $f = \frac{1}{T}$

式中 T 为周期 (s)。

(3) 相位或初相位

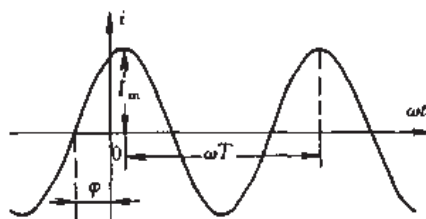


图 1.1.40 正弦交流电

相位 $\omega t + \varphi$ (rad)

初相位 φ (rad)

2. 正弦交流电的四种量值及相互关系 (以电流为例)

(1) 瞬时值 (A)

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (\text{A})$$

i 值随时间按正弦函数规律作周期变化。

(2) 最大值 I_m (A)

I_m 是瞬时值 i 的最大值, 即 $|\sin(\omega t + \varphi_i)| = 1$ 的 i 值。

(3) 有效值 I (A)

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \approx 0.707 I_m \quad (\text{A})$$

(4) 平均值 I_{av} (A)

$$I_{av} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i dt = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0.637 I_m \quad (\text{A})$$

3. 正弦交流电的四种表示形式 (以电流为例)

(1) 瞬时值表达式

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) \quad (\text{A})$$

(2) 正弦曲线表示形式 (波形图表示形式) 见图 1.1.40。

(3) 旋转矢量表示形式 (图 1.1.41)

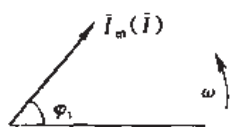


图 1.1.41 正弦交流电矢量表示形式

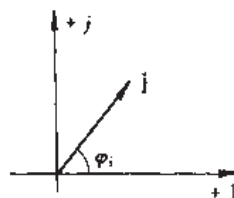


图 1.1.42 正弦交流电相量表示形式

最大值矢量: 矢量长度用 I_m 表示。

有效值矢量: 矢量长度用 I 表示。

分析只有一种角频率的正弦电路问题时, 旋转符号可省略。

(4) 符号表示形式 (相量表示形式)

最大值相量: $\dot{I}_m = I_m \angle \varphi_i \quad (\text{A})$

有效值相量: $\dot{I} = I \angle \varphi_i \quad (\text{A})$

相量在复平面上的几何表示称为相量图, 见图 1.1.42。

利用相量图分析电路时, 实数轴和虚数轴可不画出。

二、单一参数的正弦电流电路

单一参数的正弦电流电路包括: 单一电阻电路 (图 1.1.43), 单一电感电路 (图 1.1.44), 单一电容电路 (图 1.1.45)。这三种电路中的电流、电压、阻抗、功率及其相互关系的比较见表 1.1.7。

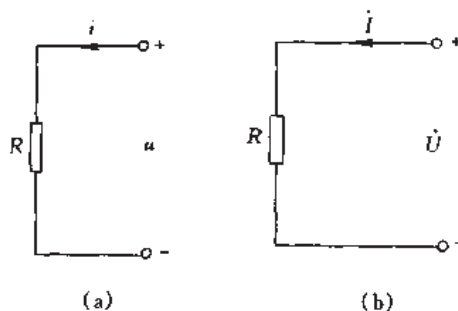


图 1.1.43 电阻正弦电流电路

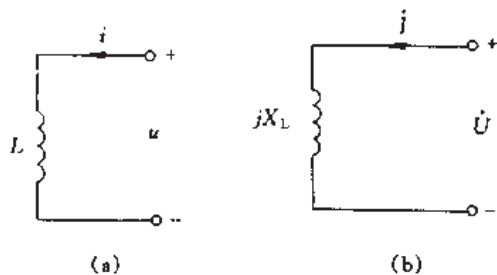


图 1.1.44 电感正弦电流电路

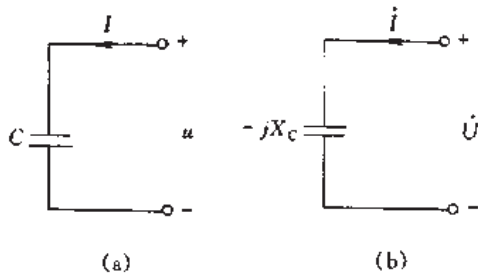


图 1.1.45 电容正弦电流电路

表 1.1.7 三种单一参数正弦电流电路比较

项 目	单一电阻电路	单一电感电路	单一电容电路
电路图及其复数形式	见图 1.1.43	见图 1.1.44	见图 1.1.45
电阻或电抗 (Ω)	R	$X_L = \omega L = 2\pi fL$	$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
电压与电流量值关系	$U_R = RI$	$U_L = X_L I$	$U_C = X_C I$
电压与电流相位关系 (rad)	u_R 与 i 同相位相位差 $\varphi_u = 0$	u_L 超前于 i $\frac{\pi}{2}$ 相位差 $\varphi_u = \frac{\pi}{2}$	u_C 滞后于 i $\frac{\pi}{2}$ 相位差 $\varphi_u = -\frac{\pi}{2}$
电压与电流相量关系	$\dot{U}_R = R\dot{I}$	$\dot{U}_L = jX_L \dot{I}$	$\dot{U}_C = -jX_C \dot{I}$
功率	有功功率 $P = U_R I$ $= RI^2$ (W)	无功功率 $Q_L = U_L I$ $= X_L I^2$ (var)	无功功率 $Q_C = U_C I$ $= X_C I^2$ (var)

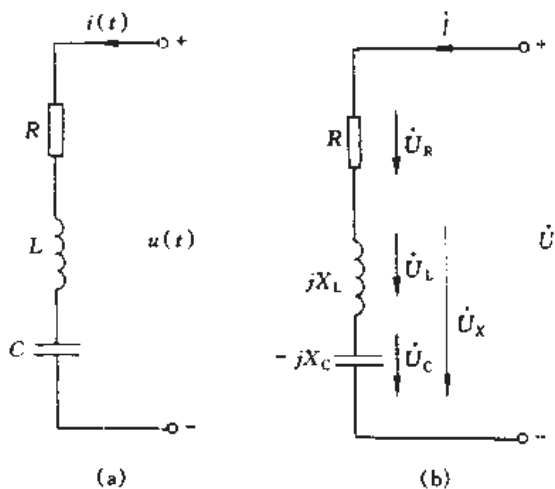


图 1.1.46 R 、 L 、 C 串联电路及其复数形式

谐振的比较见表 1.1.9。

三、电阻、电感、电容的串联与并联电路

R 、 L 、 C 串联电路及其复数形式见图 1.1.46。

R 、 L 、 C 并联电路及其复数形式见图 1.1.47。

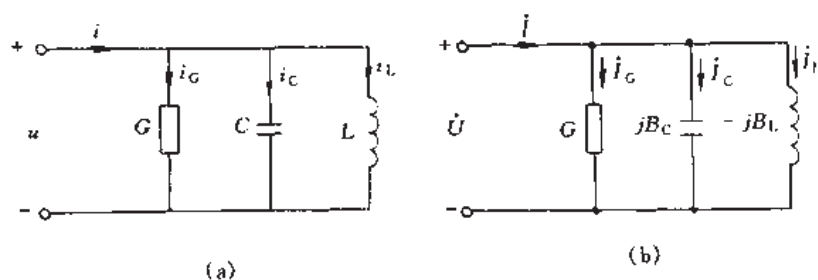
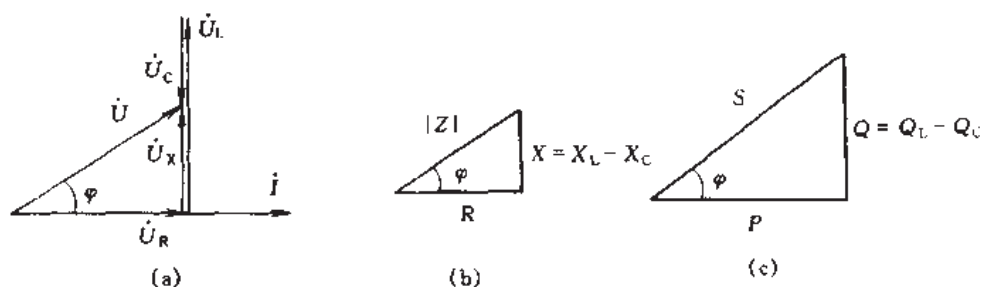
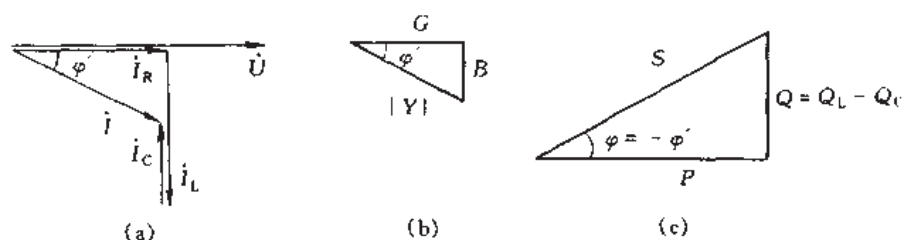
R 、 L 、 C 串联电路中电压电流相量图、阻抗三角形、功率三角形见图 1.1.48。

R 、 L 、 C 并联电路中电流电压相量图、导纳三角形、功率三角形见图 1.1.49。

R 、 L 、 C 串联电路与 R 、 L 、 C 并联电路比较见表 1.1.8。

四、串联谐振与并联谐振电路

以 R 、 L 、 C 串联电路 (图 1.1.46) 和 R 、 L 、 C 并联电路 (图 1.1.47) 的谐振情况为例，两种

图 1.1.47 R 、 L 、 C 并联电路及其复数形式图 1.1.48 R 、 L 、 C 串联电路相量图图 1.1.49 R 、 L 、 C 并联电路相量图表 1.1.8 R 、 L 、 C 串联电路与 R 、 L 、 C 并联电路比较

项 目	R 、 L 、 C 串联电路	R 、 L 、 C 并联电路
电路图及其复数形式	见图 1.1.46	见图 1.1.47
复阻抗与复导纳	复阻抗 $Z = R + jX_L - jX_C = R + jX$ $= Z \angle \varphi$ (Ω) 其中 $X = X_L - X_C$	复导纳 $Y = G - j(B_L - B_C) = G - jB$ $= Y \angle \varphi'$ (S) 其中 $B = B_L - B_C$
阻抗与导纳的量值, 阻抗角与导纳角	$ Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R}$	$ Y = \sqrt{G^2 + B^2} = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}$ $\varphi' = \arctg \frac{-B}{G} = \arctg \frac{-(B_L - B_C)}{G}$
阻抗与导纳三角形	见图 1.1.48 (b)	见图 1.1.49 (b)
总电压 (电流) 与分电压 (电流) 的关系	$u = u_R + u_L + u_C$ $U = U_R + U_L + U_C$	$i = i_R + i_L + i_C$ $I = I_R + I_L + I_C$
电压电流相量图	见图 1.1.48 (a)	见图 1.1.49 (a)

续表

项 目	R 、 L 、 C 串联电路	R 、 L 、 C 并联电路
电压与电流的关系	$\dot{U} = Z\dot{I} = U\angle\varphi_u$ 其中: $U = Z I = \sqrt{R^2 + X^2} \cdot I$ $\varphi_u = \varphi_i + \varphi$	$\dot{I} = Y\dot{U} = I\angle\varphi_i$ 其中: $I = Y U = \sqrt{G^2 + B^2} U$ $\varphi_i = \varphi_u + \varphi'$
电路的功率 (有功、无功和视在功率)	$P = U_R I = RI^2 = UI\cos\varphi$ $Q = Q_L - Q_C = (U_L - U_C)I = (X_L - X_C)I^2$ $= UI\sin\varphi$ $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z I^2$	$P = UI_R = RI_R^2 = UI\cos\varphi'$ $Q = Q_L - Q_C = (I_L - I_C)U = (B_L - B_C)U^2$ $= UI\sin(-\varphi')$ $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = Y U^2$
电路的功率因数	$\cos\varphi = \frac{R}{ Z } = \frac{P}{S}$	$\cos\varphi' = \frac{G}{ Y } = \frac{P}{S}$
功率三角形	见图 1.1.48 (c)	见图 1.1.49 (c)

表 1.1.9 R 、 L 、 C 串联谐振电路与 R 、 L 、 C 并联谐振电路比较

项 目	R 、 L 、 C 串联电路	R 、 L 、 C 并联电路
电路图及其复数形式	见图 1.1.46	见图 1.1.47
电路呈感性的条件与主要特征	$X_L > X_C$ $\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} > 0$ u 超前于 i	$B_L > B_C$ $\varphi' = \arctg \frac{-(B_L - B_C)}{G} < 0$ i 滞后于 u
电路呈容性的条件与主要特征	$X_C > X_L$ $\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} < 0$ u 滞后于 i	$B_C > B_L$ $\varphi' = \arctg \frac{-(B_L - B_C)}{G} > 0$ i 超前于 u
电路呈谐振状态的条件	$X_L = X_C$ $X = X_L - X_C = 0$	$B_L = B_C$ $B = B_L - B_C = 0$
谐振频率	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
谐振时电路的特征	$U_L = U_C$ $\dot{U} = Z\dot{I} = R\dot{I} = \dot{U}_R$ $Z = R + j(X_L - X_C) = R$ $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R}$ (相对最大) $\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = 0$ $\cos\varphi = 1$ $Q_L = Q_C, S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P$	$I_L = I_C$ $\dot{I} = Y\dot{U} = G\dot{U} = \dot{I}_R$ (相对最小) $Y = G - j(B_L - B_C) = G$ $\varphi' = \arctg \frac{-(B_L - B_C)}{G} = 0$ $\cos\varphi' = 1$ $Q_L = Q_C, S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P$

五、电阻、电感串联再与电容并联的电路

1. 电路图及其复数形式 (见图 1.1.50)

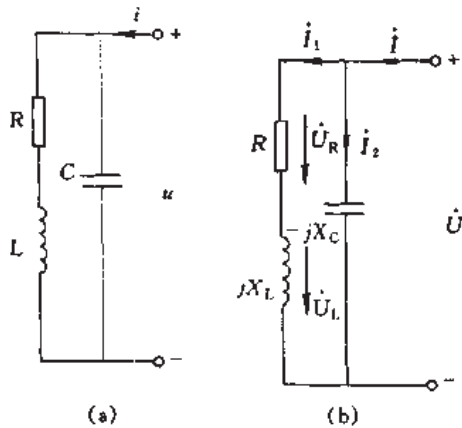


图 1.1.50 电阻、电感串联再与电容并联电路

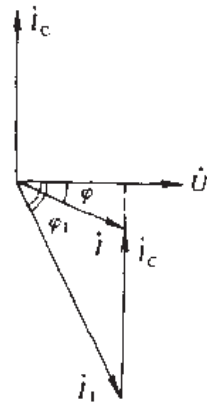


图 1.1.51 电路相量图

2. 电路的相量图 (见图 1.1.51)

3. 功率因数的提高

① 已知 R 、 L 串联支路的电流 I_1 及 $\cos\varphi_1$, 求并联电容 C 后, 整个电路的功率因数 $\cos\varphi$ 和总电流 I 。
由图 1.1.51 可知:

$$\lg\varphi = \frac{I_1 \sin\varphi_1 - I_C}{I \cos\varphi} = \frac{I_1 \sin\varphi_1 - \omega CU}{I_1 \cos\varphi_1}$$

求出 φ , 即可求出 $\cos\varphi$ 。

$$I = \sqrt{(I_1 \sin\varphi_1 - \omega CU)^2 + (I_1 \cos\varphi_1)^2} \quad (\text{A})$$

只要并联电容值适当, 一般均可实现 $\cos\varphi > \cos\varphi_1$, 而 $I < I_1$ 。

② 已知 I_1 、 $\cos\varphi_1$ 及并联 C 后需得到的整个电路的功率因数 $\cos\varphi$, 求应并联的电容值 C 。
仍由图 1.1.51 看出:

$$I_C = I_1 \cos\varphi_1 (\lg\varphi_1 - \lg\varphi) \quad (\text{A})$$

$$C = \frac{I_1 \cos\varphi_1}{\omega U} (\lg\varphi_1 - \lg\varphi) \quad (\text{F})$$

式中 $\lg\varphi_1$ 、 $\lg\varphi$ 均可由 $\cos\varphi_1$ 、 $\cos\varphi$ 求得。

若已知的是 R 、 L 串联电路的有功功率 P , 则可由下式求出应并联电容器的容量 Q_C 和 C 值:

$$Q_C = P(\lg\varphi_1 - \lg\varphi) \quad (\text{var})$$

$$C = \frac{Q_C}{\omega U^2} \quad (\text{F})$$

第四节 三相正弦电流电路

一、对称三相正弦电压

1. 特征

三个正弦电压具有相同的频率, 相等的最大值, 而相位互差 $\frac{2}{3}\pi$ (rad)。

2. 表示形式 (见表 1.1.10)

3. 三个对称电压之和

$$u_A + u_B + u_C = 0$$

$$U_A + U_B + U_C = 0$$

二、对称三相正弦电流电路

设三相电源线电压是对称的, 三相负载阻抗大小相等, 性质相同。接成星形和三角形的电路见图 1.1.52 (a) 和 (b), 两种接法三相电路的比较见表 1.1.11。

表 1.1.10 对称三相正弦电压的表示形式 (单位: V)

瞬时值表达式	$u_A = U_m \sin \omega t, \quad u_B = U_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right)$ $u_C = U_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3} \pi \right) = U_m \sin \left(\omega t + \frac{2}{3} \pi \right)$
波形图和相量图	
复数形式	$\dot{U}_A = U \angle 0, \quad \dot{U}_B = U \angle -\frac{2}{3} \pi, \quad \dot{U}_C = U \angle -\frac{4}{3} \pi = U \angle \frac{2}{3} \pi$

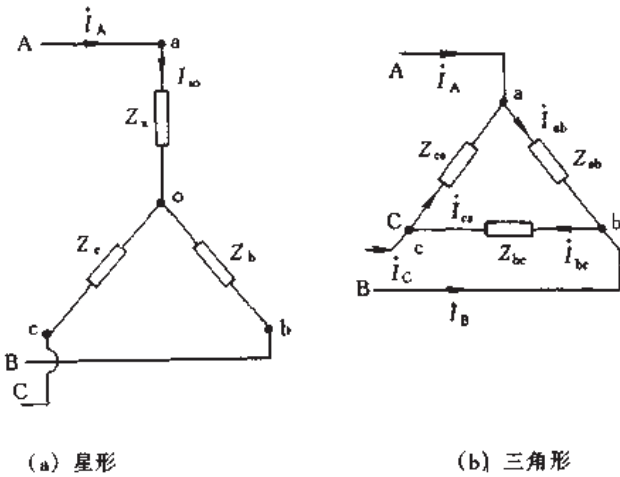


图 1.1.52 对称三相正弦交流电路

表 1.1.11 两种接法三相对称电路比较

项 目	三相负载星形接法	三相负载三角形接法
电路图	见图 1.1.52 (a)	见图 1.1.52 (b)
相电压与线电压的关系	$\dot{U}_{ao} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{AB} \angle -30^\circ$ $\dot{U}_{bo} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{BC} \angle -30^\circ$ $\dot{U}_{co} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{U}_{CA} \angle -30^\circ$ <p>负载相电压 \dot{U}_{ao}、\dot{U}_{bo}、\dot{U}_{co} 可简写为 \dot{U}_a、\dot{U}_b、\dot{U}_c</p>	负载相电压等于线电压
线电流与相电流的关系	线电流等于相电流	$\dot{I}_A = \sqrt{3} \dot{I}_{ab} \angle -30^\circ$ $\dot{I}_B = \sqrt{3} \dot{I}_{bc} \angle -30^\circ$ $\dot{I}_C = \sqrt{3} \dot{I}_{ca} \angle -30^\circ$

续表

项 目	三相负载星形接法	三相负载三角形接法
相电流与相电压的关系	$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}$ $\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}$ $\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}$	$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{ab}}$ $\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{bc}}$ $\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{ca}}$
电路计算中, 三相对称性的利用	由于三相负载阻抗相等 ($Z_a = Z_b = Z_c$, $Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$), 三相电源电压对称, 电路中三相负载相电压、三相负载电流、三相线电流都是对称的, 因此可化三相计算为一相计算, 然后利用对称关系直接写出另两相的结果	

三、三相电路的功率

表 1.1.12 中的公式对三相负载的星形接法和三角形接法均适用。

表 1.1.12 三相电路功率的计算公式

项 目	三相功率的一般计算公式	对称三相电路功率计算公式
三相有功功率, W	$P = P_A + P_B + P_C$ $= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$	$P = 3 U_p I_p \cos \varphi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$
三相无功功率, var	$Q = Q_A + Q_B + Q_C$ $= U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$	$Q = 3 U_p I_p \sin \varphi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi$
三相视在功率, VA	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S = 3 U_p I_p$ $= \sqrt{3} U_l I_l$
说明	对于不对称三相电路, 一般不能用 $S_A + S_B + S_C$ 求取三相总视在功率 S	上面各式中 U_p 、 I_p 为相电压、相电流; U_l 、 I_l 为线电压、线电流; $\cos \varphi$ 为各相负载的功率因数, 即 φ 角为相电压与相电流的相位差角

第五节 其他电路计算

一、双口网络的计算

双口网络又称二端口网络, 属于四端网络, 见图 1.1.53。

双口网络端口间电压与电流的关系见表 1.1.13。

二、周期非正弦电流电路的计算

1. 几个典型的周期函数的傅里叶展开式 (见表 1.1.14)

2. 周期非正弦电流、电压的有效值、平均值及平均功率 (表 1.1.15)

3. 周期非正弦电流电路的计算步骤

以图 1.1.54 所示的周期非正弦电流电路为例, 列表说明其计算步骤 (表 1.1.16)。

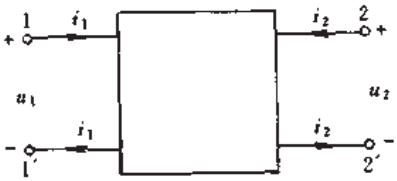


图 1.1.53 双口网络