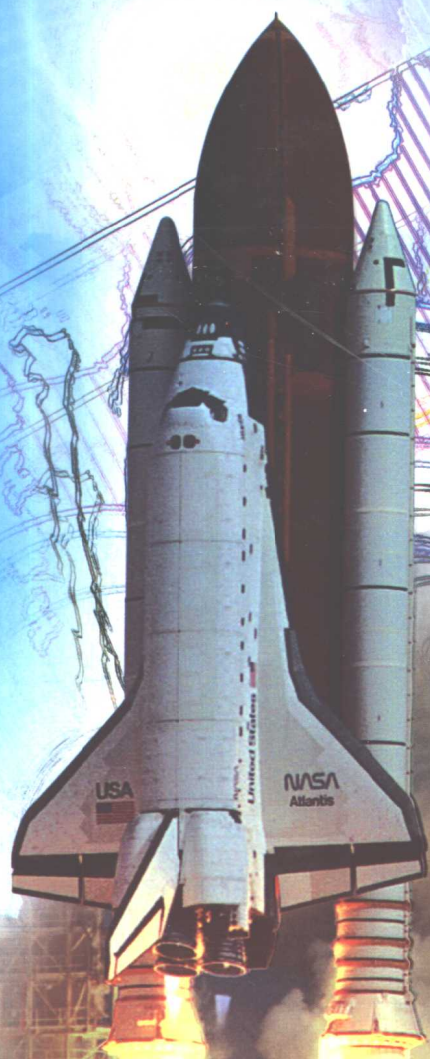


许立梓 主编

实用电气工程师手册

(上册)



广东科技出版社

实用电气工程师手册

(上册)

许立梓 主编

广东科技出版社
广 州

内 容 简 介

本手册是一本以实用技术为主、兼顾理论、内容新颖、查阅方便、系统介绍电气工程技术的工具书。手册较详细地介绍了国内外先进的电气工程技术和产品,阐明了电气工程技术的基本原理和关键技术,提供了在电气工程中使用的相关元器件和产品及其选择原则、使用方法等。

本手册共 14 编,分上下册。本书为上册,内容包括电工基础,工业电子技术,电力电子技术,电工材料,高低压电器,变压器、互感器、调压器、电抗器,旋转电机,电力系统及其自动化等共 8 编。本书适合从事电气工程技术的产品及系统设计、技术革新、电气设备维修的工程师及技术人员,也适合大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

实用电气工程师手册. 上/许立梓主编. —广州:广东科技出版社, 2001. 10
ISBN 7-5359-1992-8

I. 实… II. 许… III. 电工技术—手册 IV. TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 51852 号

Shiyong Dianqi Gongchengshi Shouce (Shangce)

出版发行:广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码:510075)

E-mail: gdkjzbb@21cn.com

出 版 人:黄达全

经 销:广东新华发行集团股份有限公司

排 版:广东科电有限公司

印 刷:广东省佛山市粤中印刷公司

(广东省佛山市普澜公路石头乡 邮码:528041)

规 格:787mm×1092mm 1/16 印张 62.5 字数 2 101 千

版 次:2001 年 10 月第 1 版

2001 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

定 价:140.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读,请与承印厂联系调换。

《实用电气工程师手册》编委会

主编：许立梓

编委（按姓氏笔画顺序）：

冯世洪	许立梓	许守泽	孙炳达
李传芳	何汝盛	肖鸿展	陆其泰
陈少华	林汉荣	林均淳	林德杰
曾宪云	谢俊杰		

前 言

编写一本以实用技术为主、兼顾理论、内容新颖、查阅方便、系统介绍电气工程技术的工具书，是广大电气工程工作者的心愿。处在改革开放前沿的广东科技出版社组织一批多年从事电气工程技术工作的专家、学者编写了这部《实用电气工程师手册》。手册较详细地介绍了国内外先进的电气工程技术和产品，阐明了电气工程技术的基本原理和关键技术，提供了在电气工程中使用的相关元器件和产品及其选择原则、使用方法等。

本手册共 14 编，分上下册，由许立梓先生任主编。各编的编写人员：第 1 编由肖鸿展编写；第 2 编由何汝盛编写；第 3 编由谢俊杰编写；第 4 编由林汉荣编写；第 5 编由阙胜群、张长乐、梁操源编写；第 6 编、第 7 编由陆其泰编写；第 8 编由冯世洪、陈少华编写；第 9 编由林德杰、林均淳编写；第 10 编由孙炳达编写；第 11 编由许立梓、李传芳、何泳文编写；第 12 编由谢俊杰编写；第 13 编由许守泽、李啟雄、何泳文编写；第 14 编由曾宪云、龙福多编写。

在本手册编写过程中，得到了广东工业大学、广东省电力局、深圳电力局、江门电力局、中山电力局、广州电器科学研究所、广东省自动化学会、广东省电机工程学会、广东省自动化研制中心、南洋电器厂、顺德开关厂等单位的支持并提供资料。宋坚华、陈广生、朱龙昌、李江、方古礼、黄槐耀、程继亚、谢永祥还对有关章节的初稿进行了审校。另外，本手册还吸取和参考了许多专家学者的研究成果，在此一并表示衷心的感谢。

由于本手册内容涉及电气工程的各个领域，作者水平有限，书中难免有缺点和不足之处，欢迎读者批评指正。

《实用电气工程师手册》编委会
2000 年 3 月

编 目

(上册)

- 第1编 电工基础
- 第2编 工业电子技术
- 第3编 电力电子技术
- 第4编 电工材料
- 第5编 高低压电器
- 第6编 变压器、互感器、调压器、电抗器
- 第7编 旋转电机
- 第8编 电力系统及其自动化

(下册)

- 第9编 检测及仪器仪表
- 第10编 自动控制理论
- 第11编 工业控制计算机及其控制技术
- 第12编 电力传动
- 第13编 工厂供电及建筑电气
- 第14编 家用电器
- 附录

第1编 电工基础

目 录

第1章 电路基本定律和分析方法

一、电路元件模型和特性方程	3	(四) 戴维南定理和诺顿定理	6
(一) 独立电源	3	三、电路的等效变换	7
(二) 线性电阻	3	(一) 串联电路	7
(三) 线性电感、电容	3	(二) 并联电路	7
(四) 非线性电阻、电感和电容	4	(三) 电源的等效变换	7
(五) 受控电源和多端元件	4	(四) 电阻的 Y- Δ 等效变换	7
二、电路基本定律	5	四、电路的一般分析方法	8
(一) 欧姆定律	5	(一) 支路电流法	8
(二) 基尔霍夫定律	6	(二) 节点电压法	8
(三) 叠加原理	6	(三) 回路电流法	8

第2章 正弦交流稳态电路分析

一、正弦量和相量法	9	(一) 电路的串联谐振和并联谐振	13
(一) 正弦量的基本概念	9	(二) 网络的频率响应	14
(二) 纯电阻、纯电感、纯电容电路	10	四、互感耦合电路	15
(三) 电阻、电感、电容的串联和并联	11	(一) 互感电路和理想变压器	15
二、正弦电路的功率和功率因数的提高	12	(二) 互感电路的去耦电路和相量分析	16
(一) 正弦电路的功率和功率因数	12	五、三相电路	16
(二) 功率三角形和功率因数提高	12	(一) 三相电路的相量分析和功率计算	16
三、电路的谐振和网络的频率响应	13	(二) 对称分量法	17

第3章 非正弦周期电流电路

一、非正弦周期函数的谐波分析	19	和 K 次谐波电抗	21
二、非正弦周期电流电路分析	21	(二) 非正弦周期电流电路的计算方法	21
(一) 非正弦周期电流电路的有效值、平均值		三、对称三相电路中的高次谐波分析	21

第4章 动态电路分析

一、动态电路的时域分析	22	(四) 二阶电路的阶跃响应	23
(一) 电路的换路定律	22	二、动态电路的频域分析	24
(二) 一阶电路的零输入和零状态响应	22	(一) 拉普拉斯变换	24
(三) 求解一阶电路的三要素法	23	(二) 用运算法分析动态电路	25

第5章 网络理论

一、网络函数	26	三、状态方程	29
(一) 网络函数 $H(s)$ 的定义	26	四、特勒根定理	30
(二) 网络函数极点分布与单位冲激响应的性质	27	五、二端口网络	30
二、网络图论	27	(一) 二端口网络的参数和方程	30
(一) 网络的图 G 和矩阵 A 、 B_f 、 Q_f	27	(二) 二端口网络的等效电路	31
(二) 节点方程的矩阵形式	28	(三) 二端口网络的联接	31

第6章 电 磁 场

一、表征电磁场特性的物理量	32	(七) 电磁场中两种媒质分界面上的边界条件	38
(一) 电场强度和电力线	32	三、交变电磁场中能量、力、损耗和效应	38
(二) 极化强度	33	(一) 电磁场中的能量	38
(三) 电容率	33	(二) 电磁场中的力	39
(四) 电位移	33	(三) 磁滞损耗	39
(五) 磁感应强度和磁力线	33	(四) 涡流损耗	39
(六) 磁化强度	34	(五) 电介质损耗和电介质击穿	39
(七) 磁导率	34	(六) 集肤效应	39
(八) 磁场强度	35	(七) 邻近效应	40
(九) 通量	35	四、电磁屏蔽	40
(十) 电位和电位差	35	(一) 静电屏蔽	40
(十一) 标量磁位与矢量磁位	36	(二) 磁屏蔽	40
二、电磁场基本定律	36	(三) 电磁屏蔽	40
(一) 高斯定律	36	五、常用参数计算	40
(二) 磁通连续原理	36	(一) 各类型电阻计算	40
(三) 安培环路定律	36	(二) 电容计算	42
(四) 电磁感应定律	37	(三) 电感计算	44
(五) 全电流定律	37		
(六) 麦克斯韦方程组	38		

第7章 磁 路

一、铁磁物质	46	(一) 恒定磁通无分支磁路计算	48
(一) 磁滞回线与局部磁滞回线	46	(二) 恒定磁通有分支磁路计算	49
(二) 基本磁化曲线	47	(三) 永久磁铁磁路计算	49
二、磁路和磁路定律	47	(四) 交变磁通磁路特点和计算	50
(一) 磁路	47	四、电磁铁吸力	52
(二) 磁路物理量和参数	48	(一) 直流电磁铁吸力	52
三、磁路计算	48	(二) 交流电磁铁吸力	52

第1章 电路基本定律和分析方法

一、电路元件模型和特性方程

(一) 独立电源

独立电源的电路模型和特性方程见表1-1。

表1-1 独立电源的电路模型及特性方程

电 源 种 类	电 路 模 型	特 性 方 程
独立电压源		$u(t) = u_s(t)$ 与电流无关
独立电流源		$i(t) = i_s(t)$ 与端电压无关

(二) 线性电阻

线性电阻的电路模型和特性方程见表1-2。

表1-2 线性电阻的电路模型及特性方程

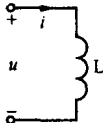
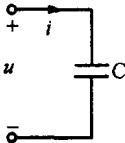
电路模型	特性方程	长导体电阻计算公式	$t^{\circ}\text{C}$ 时电阻计算公式
	$u = Ri$ 或 $i = \frac{u}{R} = u \cdot G$ $P = u \cdot i = i^2 R$ $= \frac{u^2}{R}$	$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$ ρ ——导体材料电阻率 $(\Omega \cdot \text{m})$ L ——导体长度 (m) S ——导体横截面积 (mm^2)	$R_t = R_{20} [1 + \alpha (t - 20)]$ R_{20} —— 20°C 时电阻值 α ——导体的电阻温度系数

(三) 线性电感、电容

线性电感、电容的电路模型和特性方程见表1-3。

表 1-3

线性电感、电容元件的电路模型和特性方程

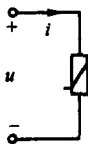
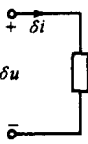
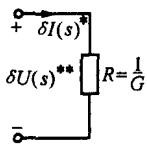
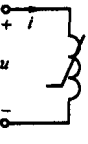
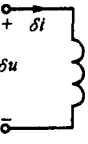
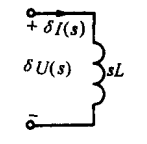
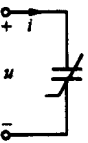
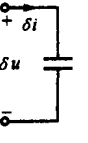
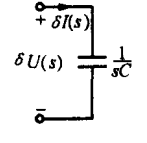
元 件 类 型	电 路 模 型	特 性 方 程
电 感		磁通链 $\varphi = N\psi = Li$ 电压 $u_L = L \frac{di}{dt}$ 电流 $i = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt$ [$i(0)$ —— $t=0$ 时流过电感的初始电流] 磁场能 $W_L = \frac{1}{2} Li^2 \geq 0$
电 容		电流 $i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$ 电压 $u = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt$ [$u(0)$ —— $t=0$ 时电容两端的初始电压] 电容极板电荷量 $q = Cu$ 电场能 $W_C = \frac{1}{2} Cu^2 \geq 0$

(四) 非线性电阻、电感和电容

非线性电阻、电感和电容的电路模型见表 1-4。

表 1-4

非线性电阻、电感和电容元件的电路模型

元件种类	一般非线性电路	小 信 号 分 析 电 路	
		瞬 时 值 形 式	复 频 域 形 式
电 阻	 $i = f(u)$	 $G = \left. \frac{di}{du} \right _{u=U_Q}$	 $R = \frac{1}{G}$
电 感	 $\varphi = f(i)$	 $L = \left. \frac{d\varphi}{dt} \right _{i=I_Q}$	 sL
电 容	 $q = f(u)$	 $C = \left. \frac{dq}{du} \right _{u=U_Q}$	 $\frac{1}{sC}$

* $\delta I(s)$ —— 小信号 δi 的象函数。

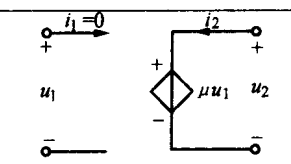
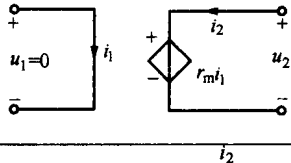
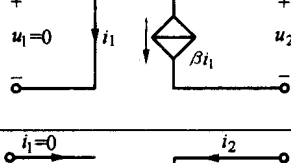
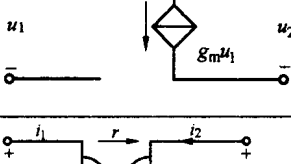
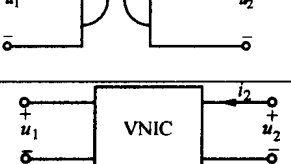
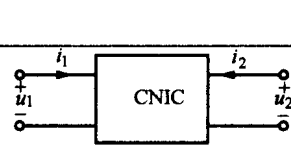
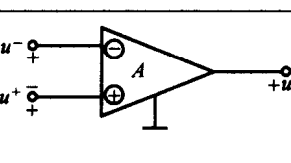
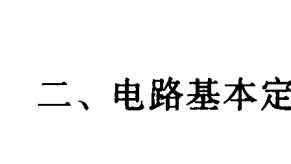
** $\delta U(s)$ —— 小信号 δu 的象函数。

(五) 受控电源和多端元件

受控电源和多端元件的电路模型和特性方程见表 1-5。

表 1-5

受控电源和多端元件的电路模型

元 件 种 类	时 域 电 路	特 性 方 程
电压控制电压源 (VCVS)		$\begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \mu & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$
电流控制电压源 (CCVS)		$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ r_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$
电流控制电流源 (CCCS)		$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$
电压控制电流源 (VCCS)		$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ g_m & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$
回转器		$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -r \\ r & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}$
电压反向型负阻抗转换器 (VNIC)		$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -k \\ -k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$
电流反向型负阻抗转换器 (CNIC)		$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k \\ k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$
运算放大器		$u_0 = A(u^+ - u^-)$ 理想情况下, $R_i \rightarrow \infty$, $R_o \rightarrow 0$, $A \rightarrow \infty$, 不存在可以用来表征其外部特性的系数矩阵

二、电路基本定律

(一) 欧姆定律

1. 欧姆定律

$I = \pm \frac{U_R}{R}$ (关联方向时取正号, 非关联方向时取负号)

2. 含源支路欧姆定律

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

式中: 当 U 和 I 关联方向时 U 取正号, 非关联方向时 U 取负号; 当 U_S 和 I 关联方向时 U_S 取负号, 非关联方向时 U_S 取正号。

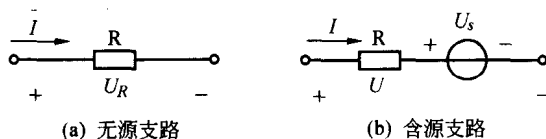


图 1-1 欧姆定律示意图

(二) 基尔霍夫定律

1. 电流定律 (KCL)

对电路中任意一个节点有:

$$\sum I_i = \sum I_o$$

式中: I_i ——流入节点电流; I_o ——流出节点电流。

2. 电压定律 (KVL)

对电路中任一闭合回路有:

$$\sum u_k = 0$$

u_k 符号: 当支路电压 u_k 的参考方向与回路绕行方向一致时取正号, 否则取负号。

(三) 叠加原理

含有多个电源的线性电路中, 某一支路的电压 (或电流), 等于各个电源分别在其位置上单独作用时所计算得到该支路电压 (或电流) 分量的代数和。此处, 所谓各电源在其位置上单独作用时, 是指把其他的电压源短路, 电流源开路。这个定理称为叠加原理。

(四) 戴维南定理和诺顿定理

1. 戴维南定理

任一含源一端口网络 (N_s), 其对外部电路的输出特性, 可以用一条含源支路等效代替。见图 1-2。

2. 诺顿定理

任一含源一端口网络 (N_s), 其对外部电路的输出特性, 可以用一条含源支路等效代替。见图 1-3。

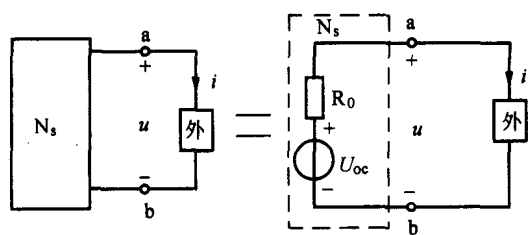


图 1-2 戴维南等效电路示意图

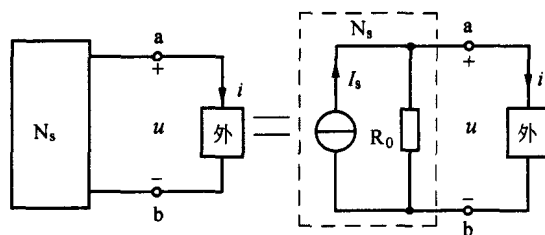


图 1-3 诺顿等效电路示意图

图 1-2 和图 1-3 中, N_s 为含源网络; U_{oc} 为 ab 端外接电路断开时的开路电压, 见图 1-4 (a); I_s 为

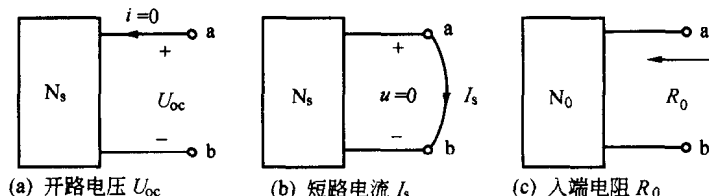


图 1-4 U_{oc} 、 I_s 和 R_0 示意图

ab 端外接电路短路时的短路电流, 见图 1-4 (b); R_0 为含源网络 N_s 中的全部独立电源置零 (即电压源短路, 电流源断开) 后的 N_0 的入端电阻, 见图 1-4 (c)。

三、电路的等效变换

(一) 串联电路

$$(1) \text{ 电阻串联 } R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k$$

$$\text{分压公式 } U_k = \frac{R_k}{R_1 + R_2 + \cdots + R_n} \cdot U$$

$$(2) \text{ 电感串联 } L = L_1 + L_2 + \cdots + L_n = \sum_{k=1}^n L_k$$

$$(3) \text{ 电容串联 } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

$$(4) \text{ 电压源串联 (各电压源方向一致时) } U_s = U_{s1} + U_{s2} + \cdots + U_{sn} = \sum_{k=1}^n U_{sk}$$

(二) 并联电路

$$(1) \text{ 电阻并联 } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

$$\text{或 } G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n = \sum_{k=1}^n G_k$$

$$\text{分流公式 } i_k = G_k U = \frac{G_k}{G} \cdot i$$

$$(2) \text{ 电容并联 } C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n = \sum_{k=1}^n C_k$$

$$(3) \text{ 电压源并联 (电压源大小相等, 方向一致) } U_s = U_{s1} = U_{s2} = \cdots = U_{sn}$$

$$(4) \text{ 电流源并联 (各电流源方向一致) } I_s = I_{s1} + I_{s2} + \cdots + I_{sn} = \sum_{k=1}^n I_{sk}$$

(三) 电源的等效变换

图 1-5 中, 对外部电路来说, 电压源和电流源的等效变换条件为:

$$U_s = R_0 I_s \quad \text{或} \quad I_s = \frac{U_s}{R_0}$$

(四) 电阻的 Y- Δ 等效变换

图 1-6 中, 电阻 Y- Δ 等效变换的条件为:

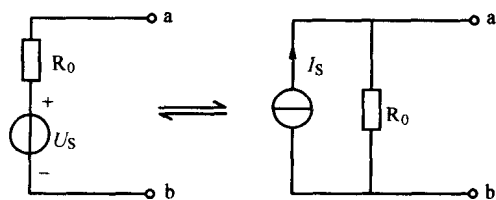


图 1-5 电源的等效变换

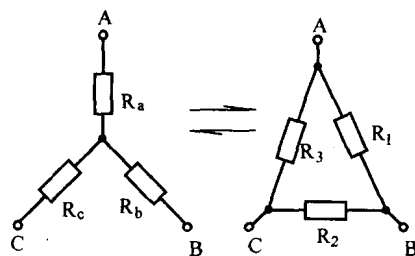


图 1-6 电阻的 Y- Δ 等效变换

$$\begin{cases} R_a = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_b = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \\ R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \end{cases} \quad \begin{cases} R_1 = R_a + R_b + \frac{R_a R_b}{R_c} \\ R_2 = R_b + R_c + \frac{R_b R_c}{R_a} \\ R_3 = R_a + R_c + \frac{R_a R_c}{R_b} \end{cases}$$

当 $R_a = R_b = R_c = R_Y$ 时有:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_\Delta = 3R_Y$$

四、电路的一般分析方法

(一) 支路电流法

它是以支路电流为变量进行列方程求解电路的方法, 对于有 b 条支路, n 个独立节点的电路, 所需要的独立方程数有 b 个。

$$b \text{ 个 } \begin{cases} n \text{ 个独立节点 KCL 方程 } \sum i = 0 \\ (b - n) \text{ 个独立回路 KVL 方程 } \sum u = 0 \end{cases}$$

(二) 节点电压法

它是以电路中几个独立节点电压为变量进行列方程求解电路的方法, 对于有 n 个独立节点电路, 所需要的独立方程有 n 个。

$$n \text{ 个 } \begin{cases} G_{11} V_1 + G_{12} V_2 + \cdots + G_{1n} V_n = I_{s11} \\ G_{21} V_1 + G_{22} V_2 + \cdots + G_{2n} V_n = I_{s22} \\ \vdots \\ G_{n1} V_1 + G_{n2} V_2 + \cdots + G_{nn} V_n = I_{snn} \end{cases}$$

说明:

① $V_1, V_2, \dots, V_n$ 为 n 个独立节点到参考节点的电压。

② 有相同下标电导 $G_{11}, G_{22}, \dots, G_{nn}$ 为各个独立节点的自电导, 一律取正号。

③ 有不同下标电导 $G_{12}, G_{21}, G_{13}, G_{31}, \dots$ 为各节点之间的互电导, 一律取负号。当两个节点之间没有电导直接相联时, 其互电导为零。

④ $I_{s11}, I_{s22}, \dots, I_{snn}$ 为注入各节点的电流源的代数和, 其中流入该节点的电流源取正号, 流出该节点的电流源取负号。

(三) 回路电流法

它是以独立回路电流为变量进行列方程求解电路的方法, 对于有 b 条支路, n 个独立节点的电路, 所需独立方程数有 $l = (b - n)$ 个。

$$l \text{ 个 } \begin{cases} R_{11} I_1 + R_{12} I_2 + \cdots + R_{1l} I_l = U_{s11} \\ R_{21} I_1 + R_{22} I_2 + \cdots + R_{2l} I_l = U_{s22} \\ \vdots \\ R_{l1} I_1 + R_{l2} I_2 + \cdots + R_{ll} I_l = U_{sl} \end{cases}$$

说明:

① $I_1, I_2, \dots, I_l$ 为 l 个独立回路电流。

② 有相同下标电阻 $R_{11}, R_{22}, \dots, R_{ll}$ 为各个回路的自电阻 (即环绕该回路的所有电阻之和), 一律取正号。

③ 有不同下标电阻 $R_{12}, R_{21}, \dots, R_{ij}, R_{ji}, \dots$ 为两个回路之间的互电阻 (即两个回路之间的公共电阻), 互电阻的符号取决于回路电流的方向, 当回路电流以相同方向流过该互电阻时, 其符号取正号,

否则取负号。当两个回路之间没有公共电阻时, 对应互电阻为零。

④ V_{s11} , V_{s22} , $\dots$, V_{sd} 为回路电压源的代数和, 当电压源的方向与回路电流方向相反时, 该电压源取正号, 否则取负号。

第2章 正弦交流稳态电路分析

一、正弦量和相量法

(一) 正弦量的基本概念

1. 正弦量的三要素

正弦电流: $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i) = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi_i)$

极大值 I_m (有效值 I): $I_m = \sqrt{2} I$ 或 $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

角频率 ω (频率 f 或周期 T): $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

初相角: φ_i

2. 同频率正弦量的相位差

设 $u_1 = U_{1m} \sin(\omega t + \varphi_{u1})$

$u_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \varphi_{u2})$

则 u_1 与 u_2 之间的相位差为:

$\varphi = \varphi_{u1} - \varphi_{u2}$

当 $\varphi > 0$ 时称 u_1 超前 u_2 φ 角, 或称 u_2 滞后 u_1 φ 角。

当 $\varphi = 0$ 时称 u_1 和 u_2 同相位。

当 $\varphi = \pm\pi$ 时称 u_1 和 u_2 反相位。

3. 正弦电路中常用符号

正弦电路中, 电流 (电压、电动势) 的瞬时值、极大值、有效值和相量应用不同符号表示, 见表 2-

1。

表 2-1

正弦电路中常用符号

物 理 量	瞬 时 值	极 大 值	有 效 值	相 量
电 流	i	I_m	I	$\dot{I}$
电 压	u	U_m	U	$\dot{U}$
电 势	e	E_m	E	$\dot{E}$

4. 复数及其运算

(1) 复数表示方式

直角坐标

$A = a + jb$

极坐标

$A = |A| \angle \theta$

式中: $\begin{cases} a = |A| \cos \theta \\ b = |A| \sin \theta \end{cases} \quad \begin{cases} |A| = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \theta = \arctan \frac{b}{a} \end{cases}$

(2) 复数的四则运算 (见表 2-2)

(3) 共轭复数 A^* 若复数 $A = a + jb$ (或 $A = |A| \angle \theta$)则共轭复数 $A^* = a - jb$ (或 $A^* = |A| \angle -\theta$)(4) 旋转因子 (j)当相量 I 乘以旋转因子 (j) 时, 相当于把相量 I 以逆时针方向旋转 $\frac{\pi}{2}$, 见图 2-1。

表 2-2 复数的四则运算

运算方式	希望采用的坐标	运 算 方 法
加	直角坐标	$(a_1 + jb_1) + (a_2 + jb_2) = (a_1 + a_2) + j(b_1 + b_2)$
减	直角坐标	$(a_1 + jb_1) - (a_2 + jb_2) = (a_1 - a_2) + j(b_1 - b_2)$
乘	极坐标	$r_1 \angle \theta_1 \cdot r_2 \angle \theta_2 = r_1 r_2 \angle \theta_1 + \theta_2$
除	极坐标	$r_1 \angle \theta_1 / r_2 \angle \theta_2 = \frac{r_1}{r_2} \angle \theta_1 - \theta_2$

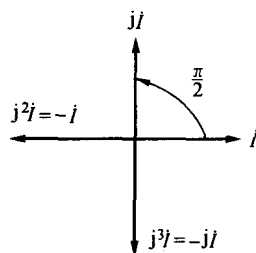


图 2-1 相量和旋转因子

(二) 纯电阻、纯电感、纯电容电路

纯电阻、纯电感、纯电容 3 个理想电路元件, 在正弦交流电路中, 电阻是损耗电能元件, 电感和电容是储能元件, 不损耗电能。这 3 个电路元件在线性正弦电路中各量之间关系和相量图见表 2-3。

表 2-3 单一元件电路中各量的关系

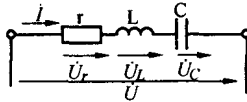
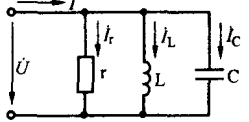
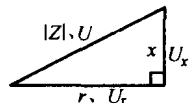
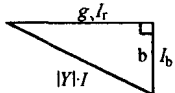
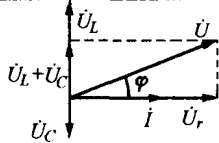
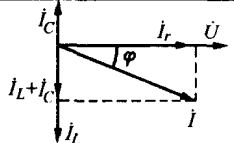
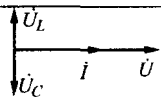
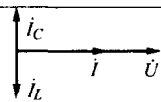
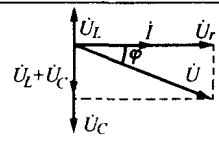
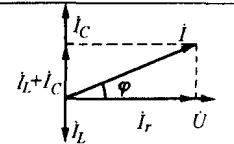
电 路 元 件	$r (\Omega)$	$L (H)$	$C (F)$
电路图			
性能方程	$u_r = ri$ $i = \frac{u_r}{r}$ $\dot{U} = r\dot{I}$	$u_L = L \frac{di}{dt}$ $i = \frac{1}{L} \int u_L dt$ $\dot{U}_L = j\omega L \dot{I} = jx_L \dot{I}$	$u_c = \frac{1}{C} \int i dt$ $i = C \frac{du_c}{dt}$ $\dot{U}_c = -j \frac{1}{\omega C} \dot{I} = -jx_c \dot{I}$
副参数	仍为电阻 r	感 抗 $x_L = \omega L = 2\pi fL$	容 抗 $x_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$
相量图 ^①	 I 与 $\dot{U}$ 同相	 I 滞后于 $\dot{U}_L 90^\circ$	 I 超前于 $\dot{U}_c 90^\circ$
平均功率 (W)	$P = U_r I$	$P_L = 0$	$P_c = 0$
无功功率 (var)	$Q = 0$	$Q_L = U_L I$	$Q_c = U_c I$

注: ①相量在复平面上的图示称为相量图。

(三) 电阻、电感、电容的串联和并联

电阻、电感、电容的串联和并联见表2-4。

表2-4 电阻、电感、电容的串联和并联

联 接 方 式	串 联	并 联
电 路 图		
性 能 方 程	$\dot{U} = (r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}) \dot{I} = Z\dot{I}$ $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r + j\omega L - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{\dot{U}}{Z}$	$\dot{I} = (\frac{1}{r} - j\frac{1}{\omega L} + j\omega C) \dot{U} = Y\dot{U}$ $\dot{U} = \frac{\dot{I}}{\frac{1}{r} - j\frac{1}{\omega L} + j\omega C} = \frac{\dot{I}}{Y}$
复阻抗 Z 或复导纳 Y	复阻抗 $Z = r + jx = Z \angle \varphi$ 阻 抗 $ Z = \sqrt{r^2 + x^2}$ 阻抗角 $\varphi = \arctan \frac{x}{r}$ 其中 电抗 $x = x_L - x_C$ 感抗 $x_L = \omega L$ 容抗 $x_C = \frac{1}{\omega C}$	$Y = g - jb = Y \angle -\varphi$ 导 纳 $ Y = \sqrt{g^2 + b^2}$ 导纳角 $-\varphi = \arctan \frac{b}{g}$ 其中 电导 $g = \frac{1}{r}$ 电纳 $b = b_L - b_C$ 感纳 $b_L = \frac{1}{\omega L}$ 容纳 $b_C = \omega C$
阻抗、电压三角形或 导纳、电流三角形	阻抗三角形、 电压三角形 	导纳三角形、 电流三角形 
相 量 图	$x_L > x_C$ $\dot{I}$ 滞后于 $\dot{U}$, 电路呈感性 	$b_L > b_C$ $\dot{I}$ 滞后于 $\dot{U}$, 电路呈感性 
	$x_L = x_C$ $\dot{I}$ 与 $\dot{U}$ 同相 	$b_L = b_C$ $\dot{I}$ 与 $\dot{U}$ 同相 
	$x_L < x_C$ $\dot{I}$ 超前于 $\dot{U}$, 电路呈容性 	$b_L < b_C$ $\dot{I}$ 超前于 $\dot{U}$, 电路呈容性 
	以电流相量为参考	以电压相量为参考