

通信与计算机专业考研指导丛书

# 电路分析考研指导

于素芹 李 宁 编

北京邮电大学出版社

·北京·

## 内容摘要

本书是考研人员的参考用书。全书共有八章,每章包括三部分内容:第一部分是主要内容,基于准备参加考研人员已经学习过电路分析,所以在这一部分只对线性电路的重点内容进行综合性地叙述;第二部分是例题详解,在这一部分中,我们精选了一些典型的、难度较大的题目,并对其进行分析求解;第三部分是习题,供读者自学时选用。在书末附有部分习题答案。

本书也可以作为工科电类专业本科生学习参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电路分析考研指导/于素芹,李宁编. —北京:北京邮电大学出版社,2002  
(通信与计算机专业考研指导丛书)

ISBN 7-5635-0557-1

电... 于... 李... . 电路分析—研究生—入学考试—自  
学参考资料 .TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 009334 号

---

书 名: 电路分析考研指导  
编 者: 于素芹, 李宁  
责任编辑: 郑捷  
出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路 10 号)  
邮 编: 100876 电 话: 62282185 62283578  
网 址: [http:// www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)  
经 销: 各地新华书店  
印 刷: 北京忠信诚胶印厂  
印 数: 1—5 000 册  
开 本: 850 mm × 1 168 mm 1/32 印张:12 字数:311 千字  
版 次: 2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷  
书 号: ISBN 7-5635-0557-1/ TN·252  
定 价: 22.00 元

---

# 前 言

电路分析是一门技术基础课,它是电类专业课程的基础,为适应电子、信息工程类考研人员的需要和本科生在学习电路分析课程中再提高的要求,我们在总结了多年来从事电路分析课的教学体验和积累的大量教学资料的基础上,编写了《电路分析考研指导》一书。

本书共分八章,第一章基本定律:主要讨论适用于集中参数电路的基尔霍夫定律,阐述电路分析中的拓扑约束关系;第二章基本元件:讨论元件的特性,阐述元件的伏安约束关系;第三章基本分析方法:讨论线性电路的基本分析方法——割集法、回路法、节点电压法和网孔电流法;第四章基本定理:讨论叠加定理、替代定理、戴维南-诺顿定理和特勒根定理,对于替代定理作了深刻的、本质性的讨论;第五章电路的瞬态分析:主要讨论一阶电路的瞬态分析和三要素公式,对二阶电路也作了介绍;第六章电路的正弦稳态分析:讨论了相量法、阻抗与导纳、正弦稳态电路的功率以及不同频率的正弦信号作用于电路的响应;第七章频率特性:介绍了网络函数和串并联谐振电路分析方法;第八章双口网络:主要讨论双口网络的  $Y$ ,  $Z$ ,  $A(B)$ ,  $H(G)$  参数和参数方程的基本概念及其应用。

书中第 3, 4, 5, 6 章由于素芹教授编写, 第 1, 2, 7, 8 章由李宁

编写,全书由于素芹教授审定。

本书在编写的过程中,吕玉琴教授给予了极大地支持和帮助,谨此致谢!

限于编者水平,书中难免存在缺点和不足,希望读者予以批评指正。

编 者

2002年1月

# 目 录

---

## 第 1 章 基本定律

主要内容.....	1
1 . 电路分析的变量 .....	1
2 . 基尔霍夫定律 .....	3
3 . 电路的图 .....	5
4 . KCL, KVL 方程的独立性 .....	7
例题详解.....	8
习题一 .....	24

## 第 2 章 基本电路元件

主要内容 .....	31
1 . 电阻元件 .....	31
2 . 独立电源 .....	34
3 . 电容元件 .....	39
4 . 电感元件 .....	40
5 . 受控电源 .....	41
6 . 运算放大器 .....	43

7. 耦合电感元件 .....	44
8. 理想变量器 .....	49
例题详解 .....	52
习题二 .....	85

### 第3章 基本分析方法

主要内容 .....	95
1. 基本割集法 .....	95
2. 节点电压法 .....	97
3. 基本回路法 .....	98
4. 网孔电流法 .....	100
例题详解 .....	101
习题三 .....	114

### 第4章 基本网络定理

主要内容 .....	122
1. 叠加定理 .....	122
2. 替代定理 .....	124
3. 戴维南定理与诺顿定理 .....	127
4. 特勒根定理 .....	129
5. 最大功率传输定理 .....	131
例题详解 .....	132
习题四 .....	155

### 第5章 电路的瞬态分析

主要内容 .....	164
1. 信号与动态电路 .....	164
2. 一阶电路的数学模型及其解 .....	166

3. 一阶电路的零输入响应与零状态响应 .....	168
4. 阶跃函数在动态电路中的应用 .....	171
5. 二阶电路的分析方法 .....	174
例题详解 .....	176
习题五 .....	207

## 第6章 电路的正弦稳态分析

主要内容 .....	224
1. 周期信号的平均值与有效值 .....	224
2. 正弦信号 .....	225
3. 元件的相量模型 .....	226
4. 阻抗与导纳 .....	230
5. 基尔霍夫定律的相量形式 .....	231
6. 正弦稳态电路的功率 .....	234
7. 三相电路 .....	237
8. 非正弦周期信号激励下电路的稳态响应 .....	240
例题详解 .....	243
习题六 .....	267

## 第7章 电路的频率特性

主要内容 .....	282
1. 网络函数 .....	282
2. RC 电路的频率特性 .....	284
3. RLC 谐振电路 .....	290
4. 电源内阻及负载对谐振电路的影响 .....	297
例题详解 .....	301
习题七 .....	320

## 第 8 章 双口网络

主要内容 .....	330
1 . 双口网络的参数和方程 .....	330
2 . 双口网络的联接 .....	335
3 . 双口网络的特性阻抗 .....	337
例题详解 .....	339
习题八 .....	358
习题答案 .....	362
参考文献 .....	373

# 第 1 章 基本定律

## 主要内容

在电路分析中基本电路遵循拓扑约束关系和元件伏安约束关系。本章阐述的基尔霍夫定律是集总参数电路的基本定律,它描述了电路在节点上的电流关系和回路中的电压关系,该定律仅与电路拓扑结构有关,与支路性质无关,因此在本章中引入图的基本概念。基本元件特性将在第 2 章分析。

### 1. 电路分析的变量

基本变量: 电流、电压及功率。

#### (1) 电流及其参考方向

定义: 单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流,表示为  $i$ 。

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

方向: 如图 1.1-1 所示,在分析电路时任意假设的电流方向  $i$ ,称为电流的参考方向。



图 1.1-1

有了参考方向和电流的正负值,就可以确定电流的真实方向。在未标注电流参考方向的情况下,电流的正负毫无意义。

单位: 安培(A)

### (2) 电压及其参考方向

定义: 在电路中单位正电荷由 a 点移到 b 点获得或失去的能量,称为 a,b 两点间的电位差,即电压,表示为  $u$ 。

$$u = \frac{dw}{dq} \quad (1.2)$$

正电荷由 a 点移到 b 点获得能量,则电位升高,a 点电位低于 b 点电位。反之,a 点电位高于 b 点电位。

方向: 如图 1.1-2 所示,在分析电路时,任意假设的电压的参考极性为电压的参考方向。

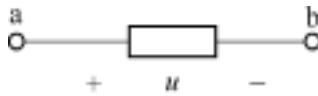


图 1.1-2

有了参考极性和电压的正负值,可判断电位的高低。未标注电压参考方向的情况下,电压的正负毫无意义。

单位: 伏特(V)

### (3) 关联参考方向

如图 1.1-3 所示,电流的参考方向由电压参考方向的正极指向负极,称该电压、电流为关联参考方向。

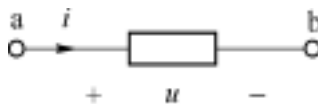


图 1.1-3

在关联参考方向下,只标出电流或电压的参考极性即可。

### (4) 功率

定义：电路在单位时间内吸收的电能，表示为  $p$ 。

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (1.3)$$

在关联参考方向下，电路的功率等于该支路的电压与电流的乘积，即

$$p = u \cdot i \quad (1.4)$$

$p > 0$ ：该支路吸收功率； $p < 0$ ：该支路放出功率。

单位：瓦特(W)

## 2. 基尔霍夫定律

### (1) 基尔霍夫电流定律(KCL)

根据电荷守恒定律：得出电流连续性原理。任一时刻流入节点的电荷必等于流出节点的电荷。又因为  $i = \frac{dq}{dt}$ ，所以对于图 1 2-1 的节点 a, b, c, d 有如下节点方程：

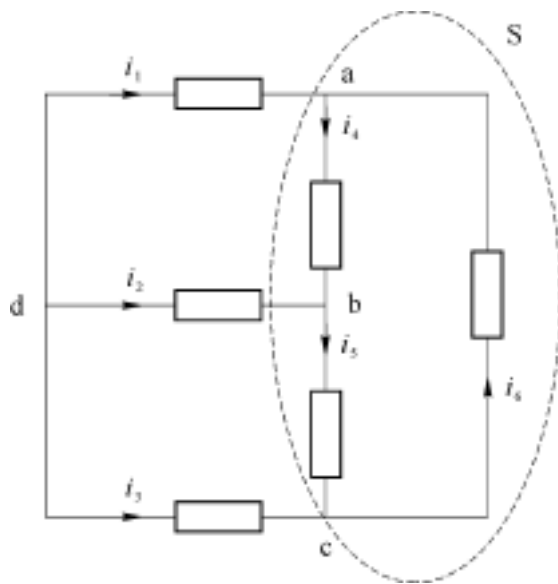


图 1 2-1

$$\left. \begin{array}{l} \text{a:} \quad -i_1 + i_4 - i_6 = 0 \\ \text{b:} \quad -i_2 - i_4 + i_5 = 0 \\ \text{c:} \quad -i_3 - i_5 + i_6 = 0 \\ \text{d:} \quad i_1 + i_2 + i_3 = 0 \end{array} \right\} \quad (1.5)$$

即

$$\sum_{k=1}^{n_0} i_k = 0 \quad (1.6)$$

对式(1.5)进行整理,得

$$\left. \begin{array}{l} i_4 = i_1 + i_6 \\ i_5 = i_2 + i_4 \\ i_6 = i_3 + i_5 \\ i_1 + i_2 + i_3 = 0 \end{array} \right\} \quad (1.7)$$

即

$$i_{\text{流出}} = i_{\text{流入}} \quad (1.8)$$

综合而言,基尔霍夫电流定律为:任一时刻对于电路的任一节点,流出该节点的所有支路电流的代数和为零,即式(1.6)。或任一时刻,对于电路的任一节点,流出该节点的所有支路电流和等于流入该节点的所有支路电流的和,即式(1.8)。

再对 a, b, c 三个节点方程相加,得

$$-i_1 - i_2 - i_3 = 0 \quad (1.9)$$

即:流入封闭面 S 的所有支路电流的代数和为零。所以 KCL 也适用于任一封闭面。

## (2) 基尔霍夫电压定律(KVL)

根据能量守恒定律:单位正电荷沿闭合回路绕行一周,获得的能量必须等于失去的能量。又由于电压  $u = \frac{dw}{dq}$ ,所以对回路 {a, b, c} 有

$$u_1 + u_3 = u_2 \quad (1.10)$$

即

$$u_{\text{降}} = u_{\text{升}} \quad (1.11)$$

整理式(1.10), 得

$$u_1 + u_3 - u_2 = 0 \quad (1.12)$$

即

$$\sum_{k=1}^{n_0} u_k = 0 \quad (1.13)$$

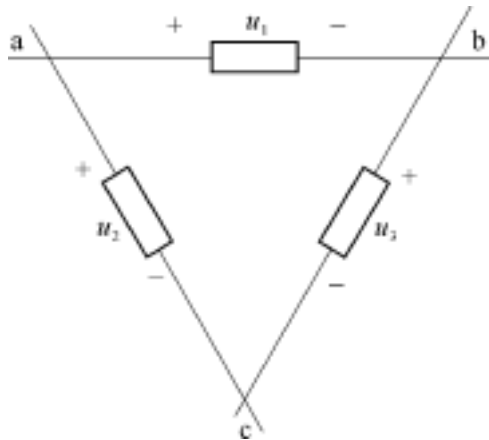


图 1.2-2

式中参考极性与闭合回路的参考方向相同的支路电压取正号, 相反的取负号。

基尔霍夫电压定律: 电路中任一回路, 任何时刻, 沿该回路所有支路电压的代数和为零, 即式(1.13)所示。或任一回路任一时刻, 所有支路的电压降等于所有支路的电压升, 即式(1.11)所示。

总之:

KCL 适用于节点和任一封闭面。

KCL 表明节点上各个支路电流所受的线性约束关系。

KVL 表明回路中支路电压的线性约束关系。

KVL 与 KCL 适用于任何集总参数电路, 仅与元件的连接方式有关, 与元件的性质无关。

### 3. 电路的图

基尔霍夫定律只与网络的拓扑结构有关, 可以应用线图理论

来研究网络的几何结构及其性质。将各支路用边代替,支路的两端用节点表示,所得的网络几何图形称为电路的图。

有关图的几个重要概念:

图:是节点和支路的集合。其中每边联接在两个(或一个)节点上。

有向图和无向图:标明支路参考方向的图为有向图。否则为无向图。

连通图和非连通图:图的任意两节点间至少存在一条路径相通时,为连通图。否则为非连通图。

平面图和非平面图:图可以画在一平面上,不出现两条相互交叉的支路,称为平面图。否则为非平面图。

子图:图  $G_1$  的每个点和边也是图  $G$  的点和边,则图  $G_1$  是图  $G$  的一个子图。

完全图:图中任意两点间恰有一条边。

树:一个包含连通图  $G$  的所有节点,而没有回路的连通子图,称为图  $G$  的树( $T$ )。

具有  $n_t$  个节点,  $b$  条支路的连通图,当确定它的一种树以后,其树支数为

$$n = n_t - 1,$$

连支数为

$$l = b - n_t + 1$$

割集:是连通图  $G$  中的一个边集,满足两个条件:

从连通图  $G$  中移去或切割这个边集中的全部边,则图  $G$  正好分成两个分离部分。

在移去的过程中,只要少移去或少切割边集中的任一条边,图  $G$  仍然是连通的——即割集是把图  $G$  分成两个分离部分的最少边集。

基本割集:割集中只含一条树支,其他都是连支。

基本割集数 = 树枝数 =  $n_t - 1$

基本回路：只含一条连支，其余均为树支的回路。

基本回路数 = 连支数 =  $b - n_t - 1$

## 4 . KCL, KVL 方程的独立性

KCL 方程的独立性：

图 1 4-1 具有  $n_t = 4$ ,  $b = 6$  的连通图, 应用 KCL 可以写出 4 个 KCL 方程

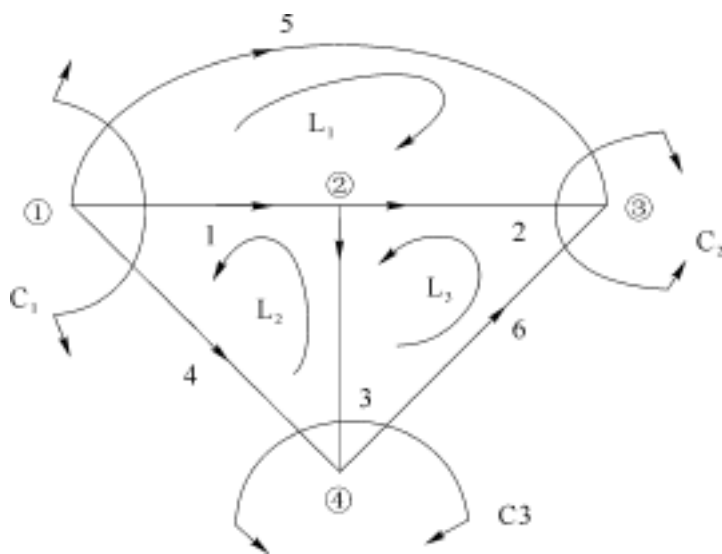


图 1 4-1

$$\left. \begin{aligned} C_1: & i_1 + i_4 + i_5 = 0 \\ C_2: & i_2 + i_5 + i_6 = 0 \\ C_3: & i_3 + i_4 - i_6 = 0 \\ C_4: & i_2 + i_3 - i_1 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

但其中只有三个是线性无关的, 第 4 个可以由另外 3 个导出。即独立的 KCL 方程数为  $n_t - 1 = 3$  个。以 1, 2, 3 路为树支, 得  $C_1, C_2, C_3$  三个基本割集, 基本割集的 KCL 方程是独立的。

即独立的 KCL 方程数为  $n_t - 1$  个。

KVL 方程的独立性:

仍选图 1-4-1 的 1, 2, 3 为树支, 则得基本回路  $L_1, L_2, L_3$ 。

三个基本回路的 KVL 方程为

$$\left. \begin{aligned} L_1: & \quad u_5 - u_2 - u_1 = 0 \\ L_2: & \quad u_4 - u_3 - u_1 = 0 \\ L_3: & \quad u_6 - u_2 + u_3 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

每个 KVL 方程中都只含有独立的一个连支电压, 所以三个方程相互独立。

即独立的 KVL 方程数为连支数  $= b - n_t + 1$ 。

总之:  $b$  条支路,  $n_t$  个节点的电路中, 有  $2b$  个支路电流、电压待求。按元件特性可以列写  $b$  个方程, 其余  $b$  个方程由 KCL 和 KVL 提供, 其中按基本割集列写 KCL 可以提供  $n_t - 1$  个方程, 按基本回路列写 KVL 可以提供  $b - n_t + 1$  个方程。即按基本割集列写 KCL 方程和按基本回路列写 KVL 方程是独立而且完备的一组电路方程式。

## 例题详解

例 1.1 例 1.1 图所示为复杂电路的一部分, 已知  $u_1 = 2 \text{ V}$ ,  $u_2 = 3 \text{ V}$ ,  $u_3 = 4 \text{ V}$ , 求  $u_4, u_5$ 。

解 应用基尔霍夫电压定律于有关闭合回路。

沿回路的顺时针(或逆时针)绕行一周有

$L_1$  回路:

$$-u_2 + u_3 + u_5 = 0$$

所以  $u_5 = u_2 - u_3 = 3 - 4 = -1 \text{ V}$