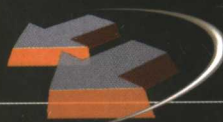
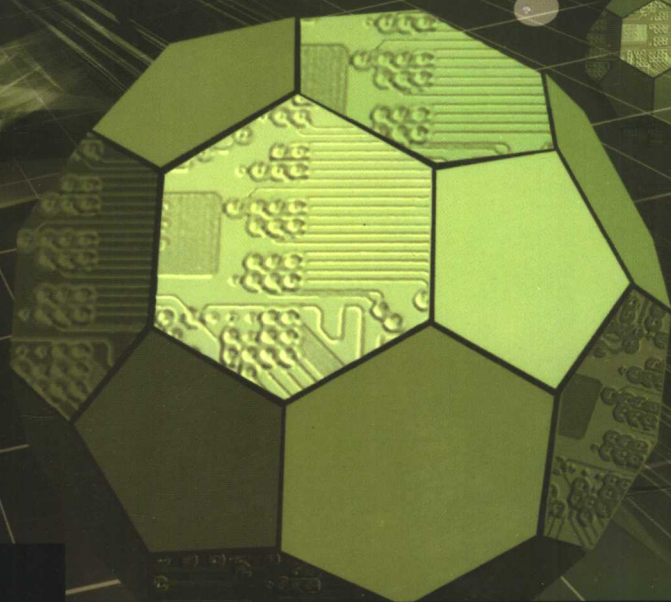
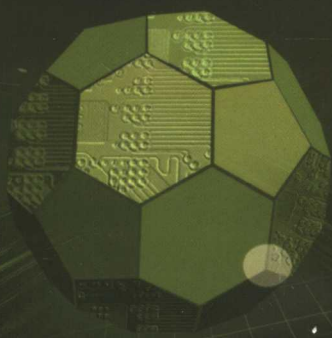


高等学校电子信息与电气学科基础教材



电路分析基础

刘 原 主编 高吉祥 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电路分析基础

第三版 张耀明 主编 王兆安 主审

高等学校电子信息与电气学科基础教材

电路分析基础

刘 原 主编
管金云 唐少农 高 勔 编
高吉祥 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据原国家教委颁布的《电路分析教学基本要求》编写的。主要内容有:电路的基本概念、定律、定理及分析方法,正弦稳态电路,含耦合电感的电路的分析,三相电路,动态电路的分析,非正弦周期电流电路的分析,网络函数,二端口网络,网络图论基础,状态方程和非线性电阻电路。

本书内容简明扼要,深入浅出,便于自学,同时注意实际应用能力的培养。可作为高等学校电气类、电子类、自动化类、计算机类和其他相近专业的基础教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员学习参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/刘原主编. —北京:电子工业出版社,2006.4

高等学校电子信息与电气学科基础教材

ISBN 7-121-02507-8

I. 电… II. 刘… III. 电路分析—高等学校—教材 IV. TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 037895 号

责任编辑:陈晓莉 特约编辑:李双庆

印刷者:北京市天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:24 字数:538 千字

印 次:2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:32.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书是为高等学校电气类、电子类、自动化类、计算机类和其他相近专业而编写的教材。全书分为 11 章。第 1 章电路的基本概念、定律、定理及一般分析方法,主要介绍了电路的基本概念、基本定律、等效电路、电路的基本定理;第 2 章正弦稳态电路,主要介绍正弦量的基本概念、相量表示法及相量图、正弦稳态下的 R 、 L 、 C 元件、阻抗和导纳的串联与并联、电路定律的相量形式、电路的分析与计算、正弦稳态电路的功率及谐振电路;第 3 章含耦合电感的电路的分析,主要介绍耦合电感元件及电压电路分析、空心变压器及理想变压器;第 4 章三相电路,主要介绍了三相电路、三相电路的分析及三相电路的功率;第 5 章动态电路的分析,主要介绍动态电路的暂态过程、方程及阶数,动态电路的两种分析法,即时域分析法和复频域分析法;第 6 章非正弦周期电流电路的分析,主要介绍非正弦周期性电压、电流,周期函数的傅里叶级数展开式及频谱,非正弦周期电压和电流的有效值、平均值和平均功率及非正弦周期性稳定电路的分析;第 7 章网络函数,主要介绍网络函数的定义和分类。网络函数的极点、零点及与冲激响应的关系,网络函数的极点、零点与频率的关系;第 8 章二端口网络,主要介绍双口网络、双口网络的方程和参数、双口网络参数(Z 、 Y 、 T 、 H)间的关系,双口网络的等效电路,双口网络的连接;第 9 章网络图论基础,主要介绍网络图的概念,关联矩阵、回路矩阵、割集矩阵和 KCL 、 KVL 方程的矩阵形式,典型支路及其电压电流约束(VCR)方程的矩阵形式,结点电压法的矩阵形式,割集电压方程的矩阵形式和回路电流方程的矩阵形式;第 10 章状态方程,主要介绍状态变量及状态方程,状态方程的列写方法;第 11 章非线性电阻电路,主要介绍非线性电阻元件,非线性电阻的串联与并联,非线性电阻电路的图解法,分段线性化及小信号分析法。

我们编写的原则是:“确保基础、精选内容、加强概念、推陈出新、联系实际、侧重实用”。目的在于保证学生把基本内容学到手的基础上,培养学生分析、处理实际问题的能力。

本书由国防科技大学、南华大学、中南大学联合编著。刘原主编,管金云、唐少农、高

勐参编,由高吉祥主审和对全书定稿。第1章由高勐执笔,第2、3、4章由唐少农执笔,第5、6、7、8章由刘原执笔,第9、10、11章由管金云执笔。在编写过程中得到南华大学凌球校长和国防科技大学电子科学与工程学院副院长唐朝京的大力支持与具体指导。

高吉祥

2005年10月

常用文字符号说明

一、常用符号

(1) 电流和电压

I_B, U_{BE}	大写字母、大写下标表示直流流量
I_b, U_{be}	大写字母、小写下标表示交流有效值
$\dot{I}_b, \dot{U}_{be}$	大写字母上面加点、小写下标表示正弦相量
i_B, u_B	小写字母、大写下标表示总瞬时值
i_{be}, u_{be}	小写字母、小写下标表示交流分量瞬时值

(2) 直流电源电压

V_{CC}	双极型三极管集电极直流电源电压
V_{BB}	双极型三极管基极直流电源电压
V_{EE}	双极型三极管发射极直流电源电压
V_{DD}	场效应管漏极直流电源电压
V_{GG}	场效应管栅极直流电源电压
V_{SS}	场效应管源极直流电源电压

(3) 电阻

R	大写字母表示电路中外接的电阻或电路的等效电阻
r	小写字母表示器件的等效电阻

二、基本符号

1. 电流和电压

I_i, U_i	输入电流、输入电压
$\dot{I}'_i, \dot{U}'_i (\dot{I}'_d, \dot{U}'_d)$	净输入电流、净输入电压
I_o, U_o	输出电流、输出电压
$U_{o(AV)}$	输出电压平均值
U_{om}	最大输出电压
I_f, U_f	反馈电流、反馈电压
I_Q, U_Q	静态电流、静态电压
U_{REF}	参考电压
U_s	信号源电压

U_T	温度的电压当量
$I_+、U_+$	集成运放同相输入端的电流、电压
$I_-、U_-$	集成运放反相输入端的电流、电压
2. 功率	
P	功率的通用符号
P_o	输出交变功率
P_{om}	输出交变功率最大值
P_V	电源提供的直流功率
3. 频率	
BW	通频带
f_H	放大电路的上限(-3dB)频率
f_L	放大电路的下限(-3dB)频率
f_o	振荡频率、谐振频率
ω	角频率的通用符号
4. 电阻、电容、电感、阻抗	
$R_i、R_o$	电路的输入电阻、输出电阻
$R_{if}、R_{of}$	有反馈时电路的输入电阻、输出电阻
R_L	负载电阻
R_S	信号源内阻
G	电导的通用符号
C	电容的通用符号
L	电感的通用符号
X	电抗的通用符号
Z	阻抗的通用符号
5. 增益或放大倍数, 反馈系数	
A	增益或放大倍数的通用符号
A_e	共模电压放大倍数
A_d	差模电压放大倍数
A_i	电流放大倍数
A_u	电压放大倍数
A_{uf}	有反馈时的电压放大倍数
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数
F	反馈系数的通用符号

三、器件符号

1. 器件及引脚名称

D	场效应管的漏极
G	场效应管的栅极
S	场效应管的源极
VD	二极管
VD _Z	稳压管
VT	双极型三极管,场效应管
b	双极型三极管的基极
c	双极型三极管的集电极
e	双极型三极管的发射极

2. 器件参数

A_{od}	集成运放的开环差模电压增益
$C_{b'c}$	集电结等效电容
$C_{b'e}$	发射结等效电容
I_{CBO}	集电极—基极之间的反向饱和电流
I_{CEO}	集电极—发射极之间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
$I_{C(AV)}$	整流二极管平均电流
I_S	二极管反向饱和电流
I_Z	稳压管稳定电流
I_{IB}	集成运放输入偏置电流
I_{IO}	集成运放输入失调电流
P_{CM}	集电极最大允许耗散功率
P_{DM}	漏极最大允许耗散功率
S_R	集成运放转换速率
U_Z	稳压管稳定电压
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路时集电极—基极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时集电极—发射极之间的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时发射极—基极之间的反向击穿电压
U_{CES}	集电极—发射极之间的饱和管压降
U_{lcm}	集成运放最大共模输入电压
U_{ldm}	集成运放最大差模输入电压

U_{IO}	集成运放输入失调电压
U_P	场效应管的夹断电压
U_T	场效应管的开启电压
BW_G	集成运放的单位增益带宽
f_T	双极型三极管的特征频率
f_a	共基截止频率
f_β	共射截止频率
g_m	跨导
$r_{bb'}$	基区体电阻
r_{be}	发射结微变等效电阻
r_{bc}	共射接法下基极—发射极之间的微变等效电阻
r_{ce}	共射接法下集电极—发射极之间的微变等效电阻
r_{DS}	场效应管漏极—源极之间的微变等效电阻
r_{GS}	场效应管栅极—源极之间的微变等效电阻
r_{id}	集成运放差模输入电阻
α	共基电流放大系数
$\bar{\alpha}$	共基直流电流放大系数
α_{IIO}	集成运放输入失调电流温漂
α_{UIO}	集成运放输入失调电压温漂
β	共射电流放大系数
$\bar{\beta}$	共射直流电流放大系数

四、其他符号

D	非线性失真系数
K	热力学温度
K_{CMR}	共模抑制比
M	互感系数
Q	品质因数
S	整流电路的脉动系数
S_r	稳压系数
T	周期, 温度
η	效率
τ	时间常数
φ	相位角

目 录

第 1 章 电路的基本概念、定律、定理和一般分析方法	(1)
1.1 电路的基本概念	(1)
1.1.1 电路的组成和功能	(1)
1.1.2 电路中常见的元器件及电路模型	(2)
1.1.3 电路的基本物理量	(4)
1.2 电路的基本定理	(8)
1.2.1 欧姆定律	(8)
1.2.2 基尔霍夫第一定律	(10)
1.2.3 基尔霍夫第二定律	(13)
1.3 等效电路	(15)
1.3.1 电路等效的一般概念	(15)
1.3.2 电阻的串联与并联等效	(16)
1.3.3 电压源、电流源等效及其互换等效	(21)
1.3.4 受控源及含受控源电路的等效	(27)
1.3.5 电阻 Δ 形、Y形电路互换等效	(31)
1.4 电阻电路的一般分析方法	(36)
1.4.1 $2b$ 法	(36)
1.4.2 b 法	(38)
1.4.3 网孔法	(40)
1.4.4 节点法	(45)
1.5 电路的基本定理	(50)
1.5.1 叠加定理和齐次定理	(50)
1.5.2 替代定理	(56)
1.5.3 戴维南定理与诺顿定理	(58)
1.5.4 最大功率传输定理	(65)
1.5.5 互易定理	(69)
本章小结	(72)
习题 1	(78)

第 2 章 正弦稳态电路	(86)
2.1 正弦量的基本概念	(86)
2.1.1 正弦量的三要素	(87)
2.1.2 正弦电流、电压的有效值	(88)
2.1.3 同频率正弦电流、电压的相位差	(89)
2.2 正弦量的相量表示法及相量图	(91)
2.2.1 复数及其运算	(91)
2.2.2 正弦量的相量表示法	(92)
2.2.3 相量图	(93)
2.2.4 相量的有关运算	(94)
2.3 正弦稳态下的电阻、电感、电容元件	(96)
2.3.1 电阻元件	(96)
2.3.2 电感元件	(98)
2.3.3 电容元件	(100)
2.4 阻抗和导纳的串联与并联	(103)
2.4.1 二端网络阻抗和导纳的定义	(103)
2.4.2 阻抗(导纳)的串联和并联	(105)
2.4.3 正弦交流电路的性质	(107)
2.5 电路定律的相量形式	(108)
2.5.1 电路定律的相量形式	(109)
2.5.2 电路的相量模型	(111)
2.6 正弦稳态电路的分析与计算	(112)
2.6.1 正弦稳态电路的分析方法	(112)
2.6.2 正弦稳态电路的分析计算	(114)
2.7 正弦稳态电路的功率	(116)
2.7.1 瞬时功率、有功功率、无功功率和视在功率	(117)
2.7.2 功率因数及功率因数的提高	(122)
2.7.3 复功率	(124)
2.7.4 最大功率传输定理	(125)
2.8 谐振电路	(127)
2.8.1 正弦交流电路的频率特性	(127)
2.8.2 串联谐振电路	(128)
2.8.3 并联谐振电路	(133)
本章小结	(136)

习题 2	(141)
第 3 章 含耦合电感的电路分析	(150)
3.1 耦合电感元件	(150)
3.1.1 耦合电感的电压、电流关系	(150)
3.1.2 同名端	(152)
3.2 含有耦合电感电路的分析	(154)
3.2.1 耦合电感的串联	(154)
3.2.2 耦合电感的并联	(157)
3.2.3 去耦等效电路	(158)
3.3 空心变压器	(162)
3.3.1 原边等效电路	(163)
3.3.2 副边等效电路	(164)
3.4 理想变压器	(165)
3.4.1 理想变压器的特性方程	(165)
3.4.2 理想变压器变换阻抗的性质	(168)
本章小结	(170)
习题 3	(174)
第 4 章 三相电路	(176)
4.1 三相电压	(176)
4.2 对称三相电路的电压、电流和平均功率	(179)
4.3 不对称三相电路的分析	(184)
4.3.1 有中线时不对称三相电路的分析	(184)
4.3.2 无中线时不对称三相电路的分析	(186)
4.4 三相电路功率的测量	(188)
本章小结	(190)
习题 4	(193)
第 5 章 动态电路的分析	(196)
5.1 引言	(196)
5.1.1 动态电路的暂态过程	(196)
5.1.2 动态电路的方程及阶数	(196)
5.1.3 暂态过程的分析方法	(196)
5.2 动态电路初始条件的确定	(197)
5.3 动态电路的时域分析法	(199)
5.3.1 一阶电路的响应	(200)

5.3.2 二阶电路的响应	(223)
5.4 动态电路的复频域分析法	(231)
5.4.1 拉普拉斯变换	(232)
5.4.2 拉普拉斯变换的基本性质	(233)
5.4.3 用部分分式展开法求拉普拉斯反变换	(235)
5.4.4 用运算法求解暂态过程	(238)
本章小结	(243)
习题 5	(244)
第 6 章 非正弦周期电流电路的分析	(252)
6.1 非正弦周期性电压、电流	(252)
6.2 周期函数的傅里叶级数展开式及频谱	(253)
6.2.1 周期函数的傅里叶级数展开式	(253)
6.2.2 非正弦周期函数的频谱	(260)
6.3 非正弦周期性电压和电流的有效值、平均值和平均功率	(261)
6.3.1 有效值	(261)
6.3.2 平均值	(262)
6.3.3 平均功率	(263)
6.4 非正弦周期性稳态电路的计算	(264)
本章小结	(267)
习题 6	(267)
第 7 章 网络函数	(271)
7.1 网络函数的定义和分类	(271)
7.1.1 网络函数的定义	(271)
7.1.2 网络函数的分类	(271)
7.2 网络函数的极点和零点及其与冲激响应的关系	(275)
7.2.1 网络函数的极点和零点	(275)
7.2.2 极零点与冲激响应的关系	(276)
7.3 网络函数的极点和零点与频率响应的关系	(278)
本章小结	(281)
习题 7	(282)
第 8 章 二端口网络	(286)
8.1 双口网络	(286)
8.2 双口网络的方程和参数	(286)
8.2.1 Z 参数	(287)

8.2.2	Y 参数	(289)
8.2.3	T 参数	(291)
8.2.4	H 参数	(292)
8.2.5	双口网络参数间的关系	(294)
8.3	双口网络的等效电路	(295)
8.3.1	Z 参数等效电路	(295)
8.3.2	Y 参数等效电路	(297)
8.4	双口网络的连接	(298)
8.4.1	双口网络的串联	(299)
8.4.2	双口网络的并联	(301)
8.4.3	双口网络的级联	(302)
8.5	双口网络的输入阻抗、输出阻抗与特性阻抗	(303)
8.5.1	双口网络的输入阻抗、输出阻抗	(303)
8.5.2	传输网络函数	(305)
8.5.3	特性阻抗	(306)
8.6	回转器和负阻抗变换器	(307)
8.6.1	回转器	(307)
8.6.2	负阻抗变换器	(309)
	本章小结	(309)
	习题 8	(310)
第 9 章	网络图论基础	(315)
9.1	网络图论的基本概念	(315)
9.2	关联矩阵、回路矩阵、割集矩阵和 KCL、KVL 方程的矩阵形式	(317)
9.2.1	关联矩阵 A	(317)
9.2.2	回路矩阵 B	(318)
9.2.3	割集矩阵 Q	(320)
9.2.4	矩阵表示的 KCL 和 KVL 方程	(321)
9.3	典型支路及其电压电流约束 (VCR) 方程的矩阵形式	(324)
9.4	结点电压法的矩阵形式	(327)
9.5	割集电压方程的矩阵形式	(333)
9.6	回路电流方程的矩阵形式	(335)
* 9.7	列表法	(337)
	本章小结	(340)
	习题 9	(341)

第 10 章 状态方程	(345)
10.1 状态变量和状态方程	(345)
10.1.1 状态变量	(345)
10.1.2 状态方程	(346)
10.1.3 输出方程	(346)
10.2 状态方程的列写方法	(347)
10.2.1 观察法	(347)
10.2.2 叠加法	(348)
10.2.3 拓扑法	(349)
本章小结	(351)
习题 10	(352)
第 11 章 非线性电阻电路	(355)
11.1 非线性电阻元件	(355)
11.2 非线性电阻的串联与并联	(356)
11.2.1 非线性电阻的串联	(357)
11.2.2 非线性电阻的并联	(358)
11.3 非线性电阻电路的图解法	(359)
11.4 非线性电阻电路的分段线性化	(362)
11.5 非线性电阻电路的小信号分析法	(364)
本章小结	(366)
习题 11	(367)
参考文献	(369)

第 1 章 电路的基本概念、定律、定理和一般分析方法

[内容提要]

本章从电路的基本概念入手,重点介绍了电路的基本定律、定理及一般分析方法。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成和功能

在我们的日常生活、工农业生产、科学研究及国防建设中,使用着各种各样的电器设备,如收音机、电视机、录放机、电动机、计算机、手机、雷达、电子对抗设备等,广义上说,这些电器设备都是实际中的电路。

图 1.1.1 是最简单的一种照明电路。它由干电池(提供电能的能源,简称电源)、灯泡(用电装置,一般叫负载)、金属导线和控制开关等组成。

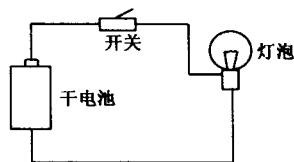


图 1.1.1 手电筒电路

实际电路种类繁多,但从其功能来说可概括为两个方面。其一是进行能量的产生、传输、分配与转换。典型的例子如电力系统中的发电、输电电路。发电厂的发电机组将其他形式的能量(或热能、或水的势能、或原子能、或太阳能等)转换成电能,通过变压器、输电线输送给各用户负载,那么又把电能转换成机械能(如负载是电动机)、光能(如负载是灯泡)、热能(如负载是电炉、电烙铁等),为人们生产、生活所利用。其二是实现信号的产生、传递、变换、处理与控制。这方面的例子有电话、FM/AM 广播、电视系统等。

由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、运算放大器、传输线、电池、发电机和信号发生器等电气器件和设备连接而成的电路,称为实际电路。图 1.1.1 就是一个简单的实际电路。根据实际电路的几何尺寸(d)与其工作信号波长(λ)的关系,可以分为两大类:满足 $d \ll \lambda$ 条件的电路称为集总参数电路,其特点是电路中任意两点间电压和流入任一器件端钮的电流是完全确定的,与器件的几何尺寸和空间位置无关;不满足 $d \ll \lambda$ 条件的另一类电路称为分布参数电路,其特点是电路中的电压和电流不仅是时间的函数,也与器件的