

高等学校教材

电路分析基础

(第二版)

上册

李瀚荪 编



高等教育出版社

高等学校教材

电路分析基础

(第二版)

上册

李瀚荪 编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书系《电路分析基础》1978年第一版的修订本，内容基本上符合高等学校工科电工教材编审委员会于1980年6月审订的无线电技术专业试用的《电路分析基础教学大纲(草案)》。修订后的教材，又送请电工教材编审委员会电路理论与信号分析编审小组作了审查。

全书共十六章，分上、中、下三册出版。上册一至六章讨论电阻电路的分析。中册七至十一章讨论动态电路的分析，内容为电容元件和电感元件、无电源一阶电路和直流一阶电路、无电源二阶电路和直流二阶电路、*冲激函数在动态电路分析中的应用、交流动态电路。下册十二章至十六章讨论正弦稳态分析，内容为阻抗和导纳、正弦稳态功率和三相电路、耦合电感和理想变压器、双口网络、频率响应。下册还有一个附录：均匀传输线。配合正文，有较丰富的例题和习题，书末附有部分习题答案。

本书可作为无线电技术、自动控制、电子计算机等电子类专业电路分析课程的教材，也可供有关科技人员参考。

本书责任编辑 王忠民

注意：未经同意，任何单位都不得出版本教材的习题解答

高等学校教材
电路分析基础
(第二版)
上 册
李瀚荪 编

*
高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
孝感地区印刷厂印装

*
开本 850×1168 1/32 印张9.75 字数230,000

1978年7月第1版 1983年8月第2版 1986年2月第3次印刷
印数 85,301—121,350

书号 15010·0517 定价 1.60 元

第二版 前言

本书系《电路分析基础》1978年第一版的修订本，根据高等学校工科电工教材编审委员会1980年6月审订的高等工业学校四年制无线电技术专业试用的《电路分析基础教学大纲(草案)》改编而成。

修订本保留了原版本的体系，分为电阻电路分析、动态电路分析及正弦稳态分析三大部分。为便于使用，修订本按照这三大部分分为上、中、下三册出版。如只需讲授电阻电路分析及正弦稳态分析，可只选用上、下两册，使用下册时只需略加补充即可。在电阻电路分析部分，增添了“大规模电路分析方法概要”和“简单非线性电阻电路分析”两章，前者供需要在本课程讲授用系统的方法列出电路方程者选用，后者则系为加强与电子线路课程的联系而增添的。考虑到有些院校在本课程后不接着开设信号与系统课程，故在动态电路分析部分增添了“冲激函数在动态电路分析中的应用”一章，使学生能及时学到这些内容，可供选用。在正弦稳态分析部分则增添了“双口网络”一章，以及用零、极点概念分析频率响应的内容。根据大纲的要求，增添了“均匀传输线”的内容(放在附录)，另外，删去了“磁路”部分，根据电路理论与信号分析编审小组意见，将组织编写该部分的参考书公开出版，作为教材内容的补充。

修订本还包括其他一些加宽、加深的內容。凡属选读內容如属整章、整节及整道例题者均加排*号，如属一节中的部分内容则以小号字排印，以资区别。修订时，对一些章、节的标题也作了改动，使能更准确地反映章、节的内容。

修订中,注意保留了原版本的编写特点,力求做到便于自学,使能适应启发式教学方法的需要。重视学科的系统性,叙述力求清楚、准确,注意正文、例题、思考题、练习题和习题五者间的密切配合。这次修订时,许多章节都按照这些要求重新进行了编写,对原有的例题、思考题、练习题和习题也进行了删增和改写。在使用本教材时,教师不宜逐章、逐节、逐个例题地依次讲授,这样做,时间既不允许,也不利于培养学生独立学习的能力。本书的一些内容特别是众多的例题都可留给学生自学。每章后列出的参考书目,既为教师提供了该章一些内容的出处与依据,也为学生在选阅参考书时提供便利。学生应尽量看点参考书,以便开阔思路,学得更活。修订本的习题增加较多,可供教师选用。书后附有部分习题的答案和提示,可供参考。

电工教材编审委员会电路理论与信号分析编审小组仍委托西安交通大学范丽娟,刘国柱两位同志对修订稿进行复审。两位同志对书稿进行了仔细审阅,提出不少宝贵意见,编者谨致以衷心的感谢。上海科技大学无线电系吴锡龙同志对修订稿也提出不少宝贵意见,还对习题进行了核算。教研室的同事们,从讨论修订设想到最后定稿都给了编者很多帮助。对此,编者深表谢意。

本书在修订中参照各方面读者提出的意见,经过认真考虑,虽然作了一些改进,但是限于编者的水平,缺点和错误仍难避免,希望读者批评指正。意见请寄北京工业学院自动控制系。

编 者

1983年4月

第一版 上册前言

本教材是根据 1977 年 12 月高等学校工科基础课电工、无线电教材编写会议线性电路小组讨论修改的《电路分析基础》教材编写大纲编写的,供自动控制、计算机、半导体、通讯等电子类型各专业使用。作为上述各专业共同的基础技术课,本教材只包括电路分析的一些最基本的内容,重点放在与电子电路有关的基本理论与基本方法上。有些专业可以在这个基础上再开设第二门有关电路的课程,以适应进一步的需要。

如把一些标有 * 号的内容除外,本教材大致可用 100 学时讲完。实验课可另行单独开设,本教材未涉及这方面的内容。使用本教材时,应已学完微积分,并开始学习微分方程,从第六章开始就要用到微分方程。物理课的力学与电学部分也应学完。

在本教材中编入了较多的例题和习题,以便读者能较好地掌握基本内容,培养分析问题和解决问题的能力。有些基本方法是通过例题来说明的,在正文中并不作介绍。每节之后一般都有练习题,这些题一般比较简单,用以巩固所讲的基本内容。每章之后另有总习题,可供选用,也可供期末复习时选用。

国务院于 1977 年 5 月 27 日颁发的《中华人民共和国计量管理条例(试行)》第三条规定:“我国的基本计量制度是米制(即“公制”),逐步采用国际单位制”。根据这一规定,本教材采用国际单位制(SI 单位)。

在编写时参考了国内、外一些近年来出版的教材。各章之后的参考书目主要开列了与该章内容有关的国外教材,对于大家已

比较熟悉的国内教材则未列入。

本教材中所用专门名词均在正文中首次出现时附有英文，以方便读者阅读英文资料。

本教材分上、下两册出版，上册为直流分析及暂态分析，下册为正弦稳态分析及磁路。

本教材经教材审稿会议通过，由西安交通大学(主审单位)范丽娟、刘国柱荫同志初审，部分兄弟院校代表参加集体审阅。参加审稿的学校有西安交通大学、合肥工业大学、北京邮电学院、北京工业大学、上海科技大学、南京工学院、北方交通大学、北京航空学院、西北电讯工程学院、南京邮电学院、长春地质学院和北京工业学院。审稿同志提供了许多宝贵意见和建议。有的学院和教师对本教材还寄来了书面意见。编者谨致以衷心的感谢。

限于编者的水平，且编写时间十分仓促，错误和不妥之处一定不少，希望读者提出宝贵意见，以便今后修改时参考。

编 者

1978年5月

第一版 下册前言

本教材下册部分于1978年11月经教材审稿会议通过。仍承西安交通大学(主审单位)范丽娟、刘国柱两同志初审,部分兄弟院校代表参加集体审阅。参加审稿的学校有西安交通大学、合肥工业大学、北京邮电学院、北京工业大学、上海科技大学、南京工学院、北方交通大学、华南工学院和北京工业学院等。审稿同志提供了许多宝贵意见和建议,编者谨致以衷心的感谢。本教材初稿的全部习题承上海科技大学吴锡龙同志核算一遍,教材的全部插图承北京工业学院方霞辉同志绘制,特表谢意。

限于编者的水平,且编写时间十分仓促,错误和不妥之处一定不少,希望读者提出宝贵意见,以便今后修改时参考。来函请寄北京工业学院自动控制系电路教研室。

编 者

1979年4月

目 录

第一部分：电阻电路分析

| | |
|---|-----|
| 第一章 电阻电路分析的基础 | 3 |
| § 1-1 电路及电路模型 集总假设..... | 3 |
| § 1-2 电路分析的基本变量..... | 6 |
| § 1-3 基尔霍夫定律..... | 16 |
| § 1-4 电阻元件..... | 26 |
| § 1-5 电压源..... | 34 |
| § 1-6 电路中的参考点——零电位点..... | 42 |
| § 1-7 电流源..... | 47 |
| § 1-8 受控源..... | 51 |
| § 1-9 两类约束 电路 KCL 、 KVL 方程的独立性..... | 57 |
| § 1-10 支路电流法和支路电压法..... | 63 |
| 参考书目..... | 68 |
| 习题一..... | 69 |
| 第二章 等效电路概念的运用 | 79 |
| § 2-1 等效二端网络的定义..... | 79 |
| § 2-2 分压公式及分流公式..... | 85 |
| § 2-3 混联电路的计算..... | 90 |
| § 2-4 实际电源的两种模型..... | 94 |
| § 2-5 含源支路的串联、并联和混联..... | 102 |
| § 2-6 运用等效概念分析含受控源的电路..... | 107 |
| § 2-7 T 形网络和 Π 形网络的等效变换..... | 112 |
| § 2-8 电路的对偶性..... | 118 |
| 参考书目..... | 119 |
| 习题二..... | 120 |
| 第三章 运用独立电流、电压变量的分析方法 | 130 |

| | | |
|-------------|-----------------------|------------|
| § 3-1 | 网孔分析法 | 131 |
| § 3-2 | 节点分析法 | 139 |
| § 3-3 | 树的概念 | 153 |
| § 3-4 | 割集分析法 | 157 |
| § 3-5 | 回路分析法 | 165 |
| *§ 3-6 | 线性电阻电路解答的存在性与唯一性定理 | 172 |
| | 参考书目 | 175 |
| | 习题三 | 176 |
| *第四章 | 大规模电路分析方法概要 | 183 |
| § 4-1 | 关联矩阵 | 183 |
| § 4-2 | 基本回路矩阵 | 188 |
| § 4-3 | 支路方程的矩阵形式 | 191 |
| § 4-4 | 节点分析法 | 192 |
| § 4-5 | 回路分析法 | 201 |
| § 4-6 | 基本割集矩阵和割集分析法 | 206 |
| | 参考书目 | 210 |
| | 习题四 | 211 |
| 第五章 | 线性网络的几个定理 | 213 |
| § 5-1 | 叠加定理 | 213 |
| § 5-2 | 置换定理 | 222 |
| § 5-3 | 戴维南定理 | 224 |
| § 5-4 | 诺顿定理 | 237 |
| § 5-5 | 应用戴维南定理和诺顿定理分析含受控源的电路 | 239 |
| § 5-6 | 最大功率传递定理 | 244 |
| § 5-7 | 互易定理 | 247 |
| | 参考书目 | 252 |
| | 习题五 | 253 |
| 第六章 | 简单非线性电阻电路的分析 | 263 |
| § 6-1 | 含一个非线性元件的电阻电路的分析 | 263 |
| § 6-2 | 理想二极管 | 270 |
| *§ 6-3 | 假定状态分析法 | 278 |

| | |
|---------------------------|------------|
| § 6-4 非线性电阻的串联、并联和混联..... | 280 |
| § 6-5 小信号分析..... | 285 |
| 参考书目..... | 290 |
| 习题六..... | 291 |
| 第一部分 部分习题答案 | 296 |

第一部分

电阻电路分析

分 册 一 卷

解 决 问 题 的 方 法

第一章 电阻电路分析的基础

由分列的电阻、电容、电感等元件组成的电路，称为集总电路。本书讨论集总电路的分析。只含电阻元件和电源元件的电路，称为电阻电路，是集总电路的一类。本书第一部分讨论电阻电路分析，共有六章。这一章先讨论电阻电路分析的基础。所谓基础是指：1. 有关集总电路分析的一些基本概念和基本定律，它们是所有类型集总电路分析的基础，因而它们实际上也是全书的基础；2. 电阻电路分析的基本方法。以后的几章将以此为基础，进一步把分析方法加以发展。

§ 1-1 电路及电路模型 集总假设

电在日常生活、工农业生产、科研以及国防等各个方面都有广泛的应用。在通讯、自动控制、计算机、电力等各个电技术领域，使用许多电路来完成各种各样的任务。电路的作用大致可分为：1. 提供能量，例如供电电路；2. 传送和处理信号，例如电话线路、放大器电路；3. 测量电量，例如万用表电路（用来测量电压、电流和电阻等）；4. 存贮信息，例如计算机的存贮器电路，存放数据、程序。电路虽然多种多样，功能也各不相同，但它们是受共同的基本规律支配的。正是在这种共同的基础上，形成“电路理论”这一学科。“电路分析基础”属于“电路理论”学科，它是“电路理论”的入门课程。通过这门课的学习，使学者掌握电路的基本理论和基本分析方法，为学习电类专业及进一步学习电路理论打下基础。

各种实际电路都是由电阻器、电容器、线圈、变压器、半导体管、电源等部件(*component*)所组成。我们日常生活中用的手电筒电路就是一个最简单的电路,它是由于干电池、灯泡、手电筒壳(联接导体)组成的。干电池是一种电源,在其正负极间能保持一定的电压,对电路提供电能;灯泡实际上是一个电阻器,由电阻丝制成,电流流过时能发热到白炽状态而发光,是用电的部件,称为负载;联接导体可使电流构成通路。

人们设计制作某种部件是要利用它的主要物理性质,譬如说,制作一个电阻器是要利用它的电阻,即对电流呈现阻力的性质;制作一个电源是要利用它正负极间能保持有一定电压的性质;制作联接导体是要利用它的优良导电性能,使电流顺利流过。但是,事实上,不可能制造出只表现出其主要性质的部件,也就是说,不可能制造出理想的部件。譬如说,一个实际的电阻器有电流流过时还会产生磁场,因而还兼有电感的性质;一个实际电源总有内阻,因而在使用时不可能总保持一定的端电压;联接导体总有一点电阻,甚至还有电感。这样就往往给分析电路带来困难。因此,我们必须在一定的条件下对实际部件加以理想化,忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要性能的模式(*model*)来表示。譬如说,灯泡的电感是极其微小的,把它看作一个理想电阻元件是完全可以的;一个新的干电池,内阻和灯泡电阻相比可以忽略不计,把它看作一个电压恒定的理想电压源也是完全可以的;在联接导体很短的情况下,它的电阻完全可以忽略不计,可看作为理想导体。于是,这个理想电阻元件就构成了灯泡的模式,这个理想电压源就构成了干电池的模式,而理想导体则构成了联接导体的模式。电路理论分析的对象是模型而不是实际的电路。

各种实际部件都可以用模型来近似地表征它的性能。实际部件的运用一般都和电能的消耗现象和电磁能的存贮现象有关。电

能的消耗发生在部件的所有导体通路之中，电磁能则存贮在部件的电场、磁场之中。一般这些现象同时存在，且又发生在整个部件之中，交织在一起。所谓“理想化”，在这里指的就是：假定这些现象可以分别研究，从而可以用所谓的“集总”(lumped)元件来构成模型。每一种集总元件都只表示一种基本现象，且可用数学方法精确定义。前面提到的理想电阻元件便是一种只表示消耗电能(转换为热能或其他形式能量)的元件，因而是一种集总元件。此外，还有只表示存贮电场能量的理想电容元件和只表示存贮磁场能量的理想电感元件，它们也都是集总元件。三种现象分别集中在这三种元件之中。在构成电路模型时，我们还需要两种理想电源元件——电压源元件和电流源元件。上述的元件都具有两个端钮，称为二端元件(或称单口元件)。除二端元件外，往往还需要四端元件(耦合元件)，如受控源、理想变压器、耦合电感等。有些实际部件的模型较简单，只需用一种理想元件，例如，实际电阻器往往可用理想电阻元件来作为它的模型。有些部件的模型可能要由几种理想元件构成。以后我们将陆续讨论这些理想元件的定义和性能。至于如何用理想元件构成模型的问题则不是本课程所要讨论的主要问题。

在求实际部件模型时，采用上述的集总假定是有条件的。集总意味着把部件的电场和磁场分隔开，电场只与电容元件相关联，磁场只与电感元件相关联，这样，两种场之间就不存在相互作用；而电场与磁场间的相互作用将产生电磁波，一部分能量将通过辐射损失掉。因此，只有在辐射能量可以忽略不计的情况下才能采用集总的概念，这就要求部件的尺寸远小于正常工作频率所对应的波长，这便是采用集总概念的条件。举例说，电力用电的频率为50 Hz，对应的波长为6000km，对实验室的设备来说，其尺寸与这一波长相比可以略而不计，因而用集总的概念是完全可以的，但对

远距离的电力输电线来说，就不能用集总的概念进行分析。所以说，在满足上述条件的前提下，就可得出由上述各种分列的(*separable*)理想元件互相联接而组成的电路模型，称为“集总电路”。各理想元件可以用规定的符号表示，且可绘出电路图供我们分析、计算。图 1-2 表示图 1-1 所示实际电路的电路图。为简便计，今后我们将省略理想二字，元件均系指理想元件而言。电路图并不反映实际电路的大小尺寸，在集总电路的分析问题中，部件及电路的尺寸是无关紧要的^①。

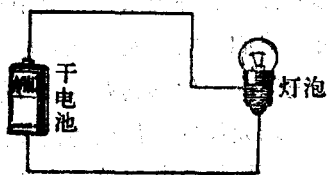


图 1-1 手电筒电路

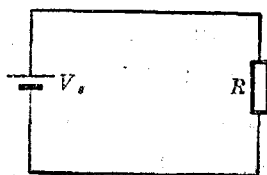


图 1-2 图 1-1 的电路图

本书只讨论集总电路的分析。集总假设是本书最主要的假设。以后所述的电路基本定律均是在这一假设的前提下才能使用的。

许多部件可以用电阻元件作为模型，如灯泡、电烙铁以及碳膜电阻、线绕电阻等电阻器。半导体管以及许多数字集成电路、逻辑电路等在一定条件下也可以用电阻元件和电源元件作为模型。我们把只含电阻元件和电源元件的电路称为电阻电路，图 1-2 所示即为电阻电路一例。它是很重要的一类电路，就处理方法上说又是最简单的，我们将首先学习这类电路的分析方法。

§ 1-2 电路分析的基本变量

在开始分析电路之前，我们先讨论一下用来描述电路的物理

^① 部件的尺寸对构成模型的元件参数的数值有关，但形成模型，且算出或确定参数后，就毋需再考虑部件的尺寸。