

高等学校教学参考书

电工学简明教程

学习辅导与习题解答

秦曾煌 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教学参考书

电工学简明教程学习 辅导与习题解答

秦曾煌 编

高等教育出版社

内容简介

本书是根据秦曾煌主编的《电工学简明教程》编写的学习辅导与习题解答。全书分电工技术和电子技术两篇。每篇均逐章按“基本要求”、“阅读指导”、“【练习与思考】解答”和“习题解答”四个方面加以阐述。

全书体现了编者五十余年从事电工学教学工作的丰富教学经验,内容简明扼要,明确指出本课程的重点和难点内容与学生在学习中的疑难之处和错误概念,以及解题思路和方法。

本书不仅可供本科和专科非电专业学生和广大自学读者学习电工学课程时使用,也可供电工学教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学简明教程学习辅导与习题解答/秦曾煌编.

北京:高等教育出版社,2004.11

ISBN 7-04-015478-1

I.电... II.秦... III.电工学-高等学校-教学参考资料 IV.TM1

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2004)第094403号

策划编辑 金春英 责任编辑 卞莉莉 封面设计 于文燕 责任绘图 朱静
版式设计 胡志萍 责任校对 朱惠芳 责任印制 孔源

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100011

总机 010-58581000

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经销 新华书店北京发行所

印刷 北京东光印刷厂

开本 787×960 1/16

印张 17.5

字数 320 000

版次 2004年11月第1版

印次 2004年11月第1次印刷

定价 22.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号:15478-00

前 言

电工学课程是高等学校工科非电类专业的一门技术基础课程。目前,电工和电子技术的应用极为广泛,发展非常迅速,并且日益渗透到其他学科领域以促进其发展,在我国当前经济建设中占有重要的地位。本课程的作用与任务是:使学生通过本课程的学习,获得电工和电子技术必要的基本理论、基本知识和基本技能,了解电工和电子技术的应用及我国电工和电子技术发展的概况,为学习后续课程以及从事有关的工程技术工作和科学研究工作打下一定的基础。为了适应科学技术的发展水平和非电专业的需要,本课程的内容着重在电路与电子技术两部分。对于电机部分的内容则作了较大精简。

本书是高等工业学校电工学课程的辅导教材,它与秦曾煌主编的《电工学简明教程》配套,可供本科和专科非电专业学生和广大自学读者学习电工学课程时使用,也可供电工学教师参考。本书分电工技术和电子技术两篇,每篇均逐章按基本要求、阅读指导、【练习与思考】解答和习题解答四个方面阐述。

基本要求是对学生学习各章主要内容所提出的要求。指出了何者要理解或掌握,何者能分析计算,何者会正确应用,何者只须一般了解。

阅读指导是编者对教材各章各节的扼要说明和提出的学习意见。指出了哪些内容是重点或难点,有些内容应如何安排处理并提出学习方法,指出学生在学习中的疑难之处、错误概念和应注意的问题。

【练习与思考】解答是指导学生如何思考和分析问题。教材每节后一般都有练习与思考题,所列题目富有启发性,且多半是概念性的和学生容易出错的问题。

习题解答是指导学生如何解题。解题前,要对所学内容基本理解;解题时,要看懂题意,注意分析,明确用哪个理论和公式,解题步骤要清楚。书写要整洁,图要标绘正确,解题结果要注明单位。

本书符号、名词与教材一致,不进行改动。

本书由哈尔滨工业大学丁继盛教授审阅,丁教授提出了宝贵意见和修改建议,在此深表谢忱。

编者

2004年3月

目 录

上篇 电工技术	1
第1章 电路及其分析方法	1
第2章 正弦交流电路	47
第3章 磁路和变压器	87
第4章 电动机	102
第5章 继电器接触器控制系统	118
第6章 可编程控制器	129
第7章 工业企业供电与安全用电	140
第8章 电工测量	142
下篇 电子技术	149
第9章 半导体二极管和三极管	149
第10章 基本放大电路	162
第11章 运算放大器	183
第12章 直流稳压电源	204
第13章 门电路和组合逻辑电路	215
第14章 触发器和时序逻辑电路	244
第15章 模拟量和数字量的转换	261
第16章 计算机网络与现代通信技术	263

电工技术

第1章 电路及其分析方法

1.1 基本要求

1. 了解电路模型及理想电路元件的意义；
2. 理解电压、电流参考方向的意义；
3. 了解电源的有载工作、开路与短路状态，并能理解电功率和额定值的意义；
4. 理解电路基本定律并能正确应用；
5. 掌握分析与计算电路中各点电位的方法；
6. 掌握用支路电流法、叠加原理和戴维宁定理分析电路的方法；
7. 理解电源的两种模型及其等效变换；
8. 理解电路的稳态与暂态以及电路时间常数的物理意义；
9. 掌握一阶线性电路的零输入响应及在阶跃激励下的零状态响应和全响应的分析方法。

1.2 阅读指导

本章分下面几个部分来分析。

首先讨论电路的基本概念和基本定律(1.1~1.4节)。

这部分内容有些已在物理课中讲过，为了课程的系统性和用电技术的需要，仍编入教材中。但本课程处理这些内容与物理课不同，是从工程观点来阐述的，不是简单的重复。对这些内容，在教师作适当概述、并指出内容要点和学习方法后，可自学或复习，以达到温故知新和承上启下的目的。

虽然这部分内容比较简单，但却含有不少基本概念(如参考方向、额定值、功

率平衡、电源与负载的判别等),这些概念在学习物理时并未涉及,而对电工和电子技术来讲是极为重要的。在教材中通过较多例题、习题和练习思考题使读者建立和加深这些概念。此外,在例题和习题中,也有较多的实际问题,使初学者理解理论联系实际是本课程的特点之一。

在初学本章时必须重视它的重要性(基本定律和基本概念),切勿因其“简单”或“已学过”而产生“电工学没啥学”的思想。

下面分节讨论。

1. 电路模型

什么是理想电路元件?就是将实际电路元件理想化,即在一定条件下突出其主要的电磁性质,而忽略其次要因素。由一些理想电路元件所组成的电路,就是实际电路的电路模型。理想电路元件(如电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等)分别由相应的参数来表征,用规定的图形符号来表示。今后分析的都是指电路模型,简称电路。

2. 电压电流的参考方向

电流、电压和电动势这几个物理量都已在物理课中讲过。本节着重讨论它们的参考方向。参考方向是一种分析方法,也是一个初学者不好理解的新概念。在以后有关章节中根据不同情况还要进一步讨论参考方向,反复巩固,才能深入理解。

在分析与计算电路时,要规定电流、电压和电动势的方向:

电流的方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向;

电压的方向规定为由高电位(“+”极性)端指向低电位(“-”极性)端,即为电位降低的方向;

电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位(“-”极性)端指向高电位(“+”极性)端,即为电位升高的方向。

电路中电流和电压的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流和电压的实际方向。对交流讲,其方向随时间而变,在电路图上也无法用一个箭头或极性来表示它们的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流或电压的参考方向,或称为正方向。所选的参考方向不一定与实际方向一致。当所选的参考方向与电流或电压的实际方向一致时,则电流或电压为正值;反之,则为负值。因此,在参考方向选定之后,电流或电压之值才有正负之分。

上述关系清楚地表示在教材图 1.2.2 的电路中。注意:今后电路图上所标的都是电压和电流的参考方向;同时,必须标出它们的方向,方可分析计算。

3. 欧姆定律

欧姆定律在物理课中早就学过,它是电路的基本定律之一,但在本教材中通

过例 1.2.1 来处理这个定律时并不是简单重复过去所讲的内容,而是通过它进一步加深对电压、电流参考方向的理解。要注意两点:第一,应用欧姆定律列式子时,首先要在电路图上标出电流、电压或电动势的参考方向,当电压和电流的参考方向选得相反时,表达式须带负号(图 1.2.1);第二,在参考方向选定之后,电压和电流本身有正值或负值。所以这里有两套正负号。例如,在图 1.2.2 所示的电路中,电压 U 为 $+6\text{ V}$,故其参考方向与实际方向一致。即实际上上端电位高(“+”极性),下端电位低(“-”极性)。电流 I 的参考方向与其实际方向相反,故为 -2 A 。这是电压和电流本身有正值和负值。此外,图中 U 和 I 的参考方向相反,故应用欧姆定律列式子时得出

$$R = -\frac{U}{I}$$

将电压和电流值代入,则得

$$R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} \Omega = 3 \Omega$$

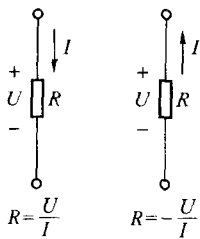


图 1.2.1 欧姆定律

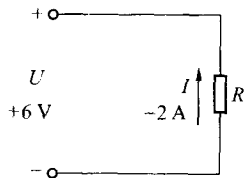


图 1.2.2 电压和电流的参考方向

4. 电源的有载工作状态、开路与短路

本节分别讨论电源有载工作、开路与短路这三种状态在电压、电流和功率方面的特征,在这里应了解下面几个问题。

(1) 功率的平衡

在一个电路中,电源产生的功率与负载取用的功率及电源内阻和线路电阻上所损耗的功率是平衡的(教材例 1.3.1 和习题 1.3.1)。

(2) 电源与负载

根据电路图中电压和电流的实际方向可确定某一电路元件是电源(或处于电源状态)还是负载(或处于负载状态)。在图 1.2.3 中,如果 U 和 I 的参考方向即为实际方向;

电源 U 和 I 的实际方向相反,电流从“+”端流出,发出功率;

负载 U 和 I 的实际方向相同,电流从“+”端流入,取用功率。

也可由 U 和 I 的参考方向来确定电源与负载,如果两者的参考方向选得—

致时,如图 1.2.4 所示,则

$$\text{电源} \quad P=UI(\text{负值})$$

$$\text{负载} \quad P=UI(\text{正值})$$

如果 U 和 I 的参考方向选得相反时,则电源的功率为正值,负载为负值。

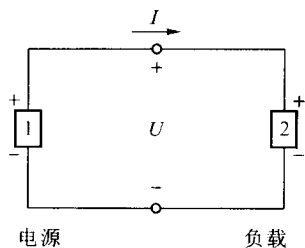


图 1.2.3 由 U 和 I 的实际方向
确定电源与负载

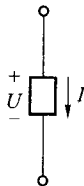


图 1.2.4 由 U 和 I 的参考方向
确定电源与负载

(3) 额定值与实际值

各种电器设备的电压、电流和功率都有一个额定值,额定值是制造厂为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值。

使用时的实际值不一定等于额定值。

一个原因是受到外界的影响。例如电源额定电压为 220 V,但电源电压经常波动,稍低于或稍高于 220 V,这样,额定值为 220 V40 W 的电灯上实际所加的电压不是 220 V,实际功率也就不等于 40 W 了。

另一个原因是,在一定电压下电源输出的功率和电流决定于负载的大小,就是负载需要多少功率和电流,电源就给多少,所以电源通常不一定处于额定工作状态。因此,当额定值为 220 V 125 kW 的发电机只接上一个 220 V60 W 的电灯时,电灯不会被烧毁而能正常工作,这就不足为怪了。这是一个很重要的概念。^① 对于电动机也是这样,它的实际功率和电流也决定于它轴上所带的机械负载的大小,不一定处于额定工作状态。

(4) 电源的开路与短路

电源的开路(教材图 1.3.4)与短路(教材图 1.3.5)这两种状态可作为分析电路的一种手段,在后面章节中常碰到。主要概念是:

$$\text{电源开路时, } I=0, U=U_0=E;$$

$$\text{电源短路时, } U=0, I=I_s=\frac{E}{R_0}。$$

^① 见教材练习思考题 1.3.1(5)和 1.3.3。

5. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫电流定律, $\sum I=0$, 反映了汇合到电路中任一结点的各支路电流间相互制约的关系。其实质是电流连续性原理, 即在任何一个无限小的时间间隔内, 流向结点的电荷必然等于由结点流出的电荷, 在结点上不能堆积电荷。

基尔霍夫电流定律通常应用于结点, 也可以推广应用于包围部分电路的任一假设的闭合面, 见教材图 1.4.3。

(2) 基尔霍夫电压定律, $\sum U=0$, 反映了一个回路中各段电压间相互制约的关系。其实质是电位单值性原理, 即在任一瞬时, 从回路中任意一点出发, 沿回路循行一周, 电位升之和必然等于电位降之和, 回到出发点时, 该点的电位不会发生变化。

基尔霍夫电压定律除应用于闭合回路外, 也可以推广应用于回路的部分电路, 见教材例 1.4.2。

(3) 基尔霍夫定律具有普遍适用性, 适用于任一瞬时对任何变化的电压和电流, 也适用于由各种不同元件所构成的电路。

(4) 应用基尔霍夫定律列式子时, 也先要在电路图上标出电流、电压或电动势的参考方向。因为式子各项前的正负号是由它们的参考方向确定的, 如果参考方向选得相反, 则会相差一个负号。此外, 电压和电流本身还有正值和负值。因此, 一个式子中往往有两套正负号。

基尔霍夫两个定律是电路的基本定律, 必须深刻理解和熟练应用。

下面讨论电路的分析方法(1.5~1.10节)。

这部分从电阻串并联连接的等效变换开始, 因为电阻的串并联最为常见, 用电阻串并联等效变换的方法将一个电路化简为单回路电路, 计算极为简便。不能用电阻串并联等效变换法化简的, 才根据不同电路结构用后面所讲的几种分析方法。在这些分析方法中, 支路电流法最为基本, 是直接应用基尔霍夫两个定律列出联立方程求解; 叠加原理和戴维宁定理是重点, 在本课程中常用到。

这部分的难点是电流源和理想电流源, 它比较生疏, 不像电压源那样熟悉和具体。首先, 要建立电流源和理想电流源的概念, 如何来分析它的电压、电流和功率。

6. 电阻串并联连接的等效变换

虽然这一节内容早在物理课中学过, 但是还要注意下面几个问题。

(1) 从电路结构上讲, 所谓几个电阻(或其他元件)串联, 就是它们一个联一个, 其中通过同一电流; 所谓几个电阻(或支路)并联, 就是它们联在两个公共结点之间, 其上受到同一电压。

(2) 几个串联电阻或几个并联电阻可以用一个等效电阻来代替。“等效”的概念很重要, 是分析电路的一种方法, 在本课程中常用到。所谓等效(例如等效

电阻、等效电源、等效电路等),就是在一定条件下,两种不同的事物在某些方面具有相等的效果。

(3) 电阻串联起分压作用,电阻并联起分流作用。教材中式(1.5.2)和式(1.5.4)分别为两个电阻串联的分压式子和两个电阻并联的分流式子。这两个式子在分析与计算电路时很有用处,应熟记。

(4) 有时不需要精确计算,只要求估算。阻值相差很大的两个电阻串联,小电阻的分压作用常可忽略不计;阻值相差很大的两个电阻并联,大电阻的分流作用常可忽略不计。见教材【练习与思考】1.5.1

7. 支路电流法

(1) 从所给电路图上找出支路 b 和结点 n 各有多少,以支路电流为未知数,共需列出 b 个方程;

(2) 在电路图上标出电压和电流的参考方向;

(3) 先应用基尔霍夫电流定律对结点列出 $n-1$ 个独立方程;

(4) 再应用基尔霍夫电压定律对网孔列出其余 $b-(n-1)$ 个独立方程。

网孔数恰好等于 $b-(n-1)$,可从图 1.2.5 所举的几个例子看出。

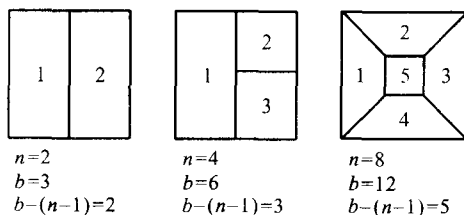


图 1.2.5 电路举例

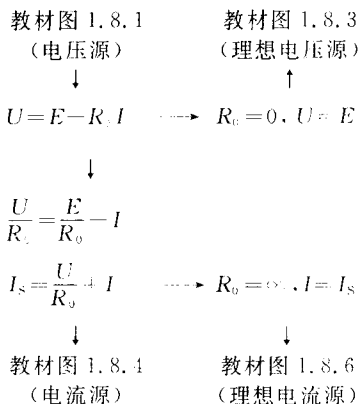
8. 叠加原理

从数学上看,叠加原理就是线性方程的可加性。由支路电流法和结点电压法得出的都是线性代数方程,所以支路电流和结点电压等都可以用叠加原理来求解。但功率的计算就不能用叠加原理,因为电流与功率不成正比,它们之间不是线性关系。

叠加原理的重要性不在于应用它来计算复杂电路,而在于它是分析线性电路的普遍原理,在后面电路的暂态分析等章节中都要用到。

9. 电压源与电流源及其等效变换

(1) 从电压源引出电流源



(2) 任何一个实际电源都可以等效为电压源或电流源这两种电路模型, 两者对外部电路也是等效的, 这反映在两者的外特性是一样的。但电源内部则是不等效的。至于理想电压源和理想电流源, 它们是不等效的。教材表 1.8.1 是电压源和电流源的对照。

理想电压源和理想电流源实际上并不存在, 只是抽象出来的一种元件模型。电源内阻 R_0 与负载电阻 R_L 相比, 当 $R_0 \ll R_L$ 时, $U \approx E$, 电压基本上恒定, 可以认为是理想电压源; 反之, 当 $R_0 \gg R_L$ 时, $I \approx \frac{E}{R_0}$, 电流基本上恒定, 可以认为是理想电流源。

(3) 对理想电压源和理想电流源必须分别建立恒压和恒流的概念。教材【练习与思考】1.8.2 就是要解决这个问题。在教材图 1.8.12(a) 中, 10 V 理想电压源与 2 A 理想电流源并联, 前者起决定作用, 两端保持 10 V, 恒定; 如果两者串联[图 1.8.12(b)], 则理想电流源起决定作用, 其中电流保持 2 A, 恒定。

(4) 应注意: 理想电压源短路, 其短路电流 I_s 为无穷大; 理想电流源开路, 其开路电压 U_0 为无穷大。

(5) 电压源与电流源的等效变换也是分析与计算电路的一种方法, 见教材例 1.8.1。

10. 戴维宁定理

任何电源都可以等效为电压源或电流源这两种电路模型。因为有源二端网络可以简化为一个等效电源, 所以这个等效电源可以是电压源, 也可以是电流源。由此得出戴维宁定理和诺顿定理两个等效电源定理。在本书中只讲戴维宁定理。

戴维宁定理是重点, 但不是难点。它把一个有源二端线性网络用一个电动势为 E 的理想电压源和内阻 R_0 串联后的电压源来等效代替, 关键是要计算 E 和 R_0 。

例如,应用戴维宁定理将图 1.2.6(a)所示电路化为等效电压源。由图可见,当 a、b 端开路时,2 Ω 电阻上的电流为 5 A,于是得出

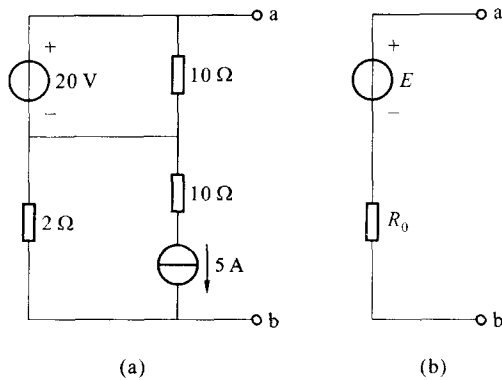


图 1.2.6 戴维宁定理的应用

$$U_{ab0} = E = (20 - 2 \times 5) \text{ V} = 10 \text{ V}$$

求 R_0 时,可将 20 V 的理想电压源短路,5 A 的理想电流源开路,于是 $R_0 = 2 \Omega$ 。

图 1.2.6(b)即为所求等效电压源。

11. 电路中电位的计算

这一节是为电子电路打基础的。

在一个电路中,如果指定某一点为参考点,设其电位为零,则其他各点的电位才可用数值来表示。比零电位参考点高的为正,比它低的为负。正数值愈大则电位愈高,负数值愈大则电位愈低。如果参考点选得不同,则各点电位的数值也随之而异;但任何两点间的电压值是不变的。

此外,要看懂像教材图 1.10.3(a)所示的电路。图上虽然没有标出零电位参考点,但实际上就是图 1.10.3(b)所示的电路。

下面一部分是电路的暂态分析(1.11 节)。

电路的暂态过程是由于储能元件(电感元件和电容元件)的能量不能跃变而产生的。因此,本节首先讨论电阻元件、电感元件和电容元件的特征,而后讨论暂态过程中电压和电流随时间变化的规律以及电路时间常数的意义。

12. 电阻元件、电感元件与电容元件

这里讲的三个电路元件是指理想元件,就是只突出它们的主要电磁性质,而忽略其次要因素。电阻元件具有消耗电能的性质(电阻性);电感元件具有通过电流要产生磁场而储存磁场能量的性质(电感性);电容元件具有加上电压要产生电场而储存电场能量的性质(电容性)。

本节是从下列几个方面来分析电阻元件、电感元件和电容元件的：电压与电流的关系式、参数意义、能量转换。今将各个元件的特征列表如表 1.2.1 所示。

表 1.2.1 电阻元件、电感元件和电容元件的特征

元件 特征	R 元件	L 元件	C 元件
电压电流关系式	$u=Ri$	$u=L \frac{di}{dt}$	$i=C \frac{du}{dt}$
参数意义	$R=\frac{u}{i}$	$L=\frac{N\Phi}{i}$	$C=\frac{q}{u}$
能量	$\int_0^t Ri^2 dt$	$\frac{1}{2} Li^2$	$\frac{1}{2} Cu^2$

这里有几点要注意：

(1) 上表所列的电压与电流瞬时值的关系式是在 u 和 i 的参考方向一致的情况下得出的；否则，式中有一负号。电压电流瞬时值的关系式很重要，在后面经常用到。如有几个元件串联，可应用基尔霍夫电压定律，例如 RLC 串联电路，其电压电流关系式为

$$u=Ri+L \frac{di}{dt}+\frac{1}{C} \int idt$$

(2) 本章所讲的都是线性元件， R 、 L 和 C 都是常数，即相应的 $u-i$ 、 $\Phi-i$ 和 $q-u$ 都是线性关系。

(3) L 元件的 $u=L \frac{di}{dt}$ 关系式是由

$$e=-N \frac{d\Phi}{dt}=-L \frac{di}{dt}$$

和

$$u=-e$$

两式得出的，这里有一系列参考方向的概念，在阅读教材这一部分时请注意。

(4) 只有通过线圈的磁通或其中电流发生变化时，线圈中才产生感应电动势；如果通过的磁通或电流不变，就不会产生感应电动势。所以在交流电路中，电感元件两端有电压；而在直流电路稳定状态下，电感元件可视作短路，其上电压为零（注意：①其中有电流，储有磁场能量；②不要错误地认为这时电感 L 也等于零， L 是电感元件固有的参数，电压为零，是因为 $\frac{di}{dt}$ 为零，不是 L 等于零）。

(5) 只有当电容元件上的电荷量或电压发生变化时，电路中才有电流；在直流电路稳定状态下，电容元件可视作开路，其中电流为零（注意：①其上有电压，储有电场能量；②不要错误地认为这时电容 C 为零或者无穷大， C 也是电容元件固有的参数，电流为零，是因为 $\frac{du}{dt}$ 为零）。

(6) 电阻元件是耗能元件,而电感元件和电容元件都是储能元件,它们不消耗能量。

13. 换路定则与电压和电流初始值的确定

换路定则用来确定电路暂态过程中电压和电流的初始值。它的理论根据是能量不能跃变,能量的积累或衰减都要有一个过程(时间);否则,相应的功率 $p = \frac{dW}{dt}$ 将趋于无限大,这是不可能的,因为电源输出的功率是有限度的。电感元件中磁场能量 $\frac{1}{2}Li_L^2$ 不能跃变,即其中电流 i_L 不能跃变;电容元件中电场能量 $\frac{1}{2}Cu_C^2$ 不能跃变,即其两端电压 u_C 不能跃变。

这个问题也可以从另外的角度来分析。当 RC 串联电路接上直流电压 U 对电容器充电时,假若电容器两端电压 u_C 跃变,则在此瞬间充电电流 $i = C \frac{du_C}{dt}$ 将趋于无限大。但是任一瞬间,电路都要受到基尔霍夫定律的制约,充电电流要受到电阻 R 的限制,即

$$i = \frac{U - u_C}{R}$$

除非在电阻 R 等于零的理想情况下,否则充电电流不可能趋于无限大。因此,电容电压 u_C 一般不能跃变。类此可以分析 RL 串联电路,电感元件中的电流 i_L 一般也不能跃变,否则在此瞬间电感电压 $u_L = L \frac{di_L}{dt}$ 将趋于无限大。

如用公式表示换路定则,则为

$$i_L(0_-) = i_L(0_+)$$

$$u_C(0_-) = u_C(0_+)$$

换路定则仅适用于换路瞬间,用它来确定 $t=0_+$ 时电路中电压和电流之值,即暂态过程的初始值。确定各个电压和电流的初始值时,先由 $t=0_-$ 时的电路求出 $i_L(0_-)$ 或 $u_C(0_-)$,而后由 $t=0_+$ 的电路在已求得的 $i_L(0_+)$ 或 $u_C(0_+)$ 的条件下求其他电压和电流的初始值。

换路前,如果储能元件没有储能,则在 $t=0_-$ 和 $t=0_+$ 的电路中,可将电容元件短路,电感元件开路。

换路前,如果储能元件储有能量,并设电路已处于稳态,则在 $t=0_-$ 的电路中,电容元件可视为开路,其上电压为 $u_C(0_-)$;电感元件可视为短路,其中电流为 $i_L(0_-)$ 。在 $t=0_+$ 时的电路中,电容元件可用一理想电压源代替,其电压为 $u_C(0_+)$;电感元件可用一理想电流源代替,其电流为 $i_L(0_+)$ 。

例如,图 1.2.7(a)所示电路在换路前处于稳态,试求换路后其中 i_L 、 u_C 和 i_S

的初始值。

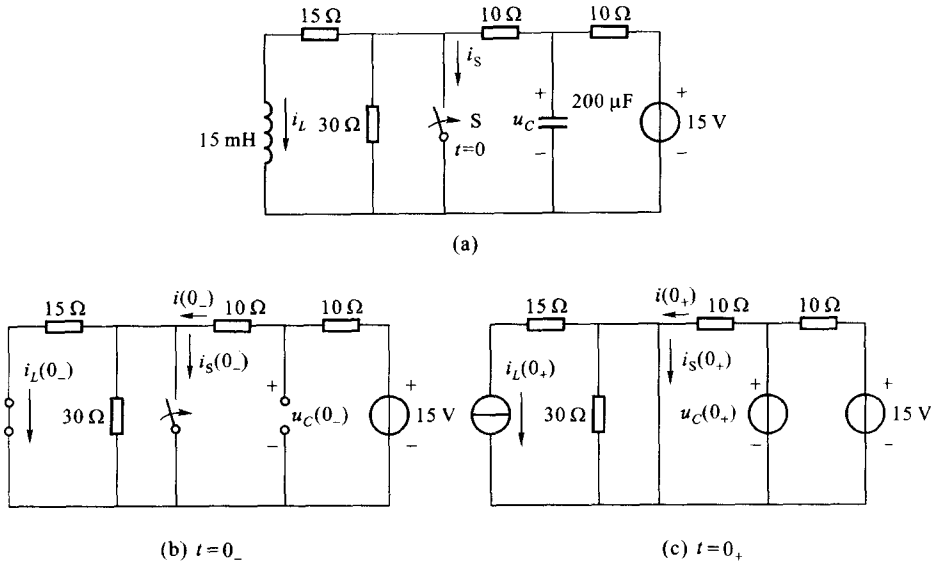


图 1.2.7 求电压、电流初始值的方法

在图 1.2.7(b)所示 $t=0_-$ 的电路中

$$i(0_-) = \frac{15}{10+10+\frac{15 \times 30}{15+30}} \text{ A} = \frac{1}{2} \text{ A}$$

$$i_L(0_-) = \frac{30}{15+30} \times \frac{1}{2} \text{ A} = \frac{1}{3} \text{ A}$$

$$u_C(0_-) = 15 - 10i(0_-) = \left(15 - 10 \times \frac{1}{2}\right) \text{ V} = 10 \text{ V}$$

在图 1.2.7(c)所示 $t=0_+$ 的电路中

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) = \frac{1}{3} \text{ A}, \quad u_C(0_+) = u_C(0_-) = 10 \text{ V}$$

$$i(0_+) = \frac{u_C(0_+)}{10} = \frac{10}{10} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

$$i_S(0_+) = i(0_+) - i_L(0_+) = \left(1 - \frac{1}{3}\right) \text{ A} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

14. RC 电路的暂态分析

(1) 零输入响应

电路脱离电源, 电容器通过电阻 R 放电, $u_C(0_+) = U_0$, 得

$$u_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

(2) 零状态响应

电路接电源(电压为 U), 电源通过电阻 R 对电容器充电, $u_C(0_-) = 0$, 得

$$u_C = U - Ue^{-\frac{t}{\tau}} = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

(3) 全响应

前两者的叠加即为全响应, 电源电压为 U , $u_C(0_+) = U_0$, 得

$$u_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = U + (U_0 - U)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

电路的时间常数 $\tau = RC$ 。在教材图 1.11.6 中, 从 $t=0$ 经过一个 τ 的时间, u_C 增长到稳定值 U 的 63.2%; 在图 1.11.7 中, 经过一个 τ 的时间, u_C 衰减到初始值 U_0 的 36.8%。注意 63.2% 和 36.8% 这两个数。

15. RL 电路的暂态分析

对照 RC 电路, 得出

$$i_L = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$i_L = \frac{U}{R} - \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$i_L = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = I + (I_0 - I)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

其中时间常数 $\tau = \frac{L}{R}$, 不要错写成 $\tau = \frac{R}{L}$ 或 $\tau = RL$ 。

16. 一阶线性电路暂态分析的三要素法

从 RC 电路或 RL 电路的暂态分析所得出的电压和电流都是按指数曲线增长或衰减的。要确定一个指数曲线, 需要知道三个值, 即初始值 $f(0_+)$ 、稳态值 $f(\infty)$ 和时间常数 τ , 它们就是指数曲线的三要素。本节就是应用经典法得出一个表示指数曲线的一般式子

$$f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$$

其中含有上述三个要素。不论对上述哪种响应, 都可应用此式分析计算。

1.3 【练习与思考】解答

1.2.1 在图 1.3.1(a)中, $U_{ab} = -5 \text{ V}$, 试问 a, b 两点哪点电位高?

【解】 U_{ab} 是 a, b 两点间的电压, 其参考方向用双下标 ab 表示。若 U_{ab} 为正, 则 a 点电位高于 b 点电位; 若 U_{ab} 为负, 则反之。 $U_{ab} = -5 \text{ V}$, 即 b 点电位比 a 点电位高 5 V。

1.2.2 在图 1.3.1(b)中, $U_1 = -6 \text{ V}$, $U_2 = 4 \text{ V}$, 试问 U_{ab} 等于多少伏?

【解】 $U_{ab} = U_1 - U_2 = (-6 - 4) \text{ V} = -10 \text{ V}$