

高等教育电工电子类



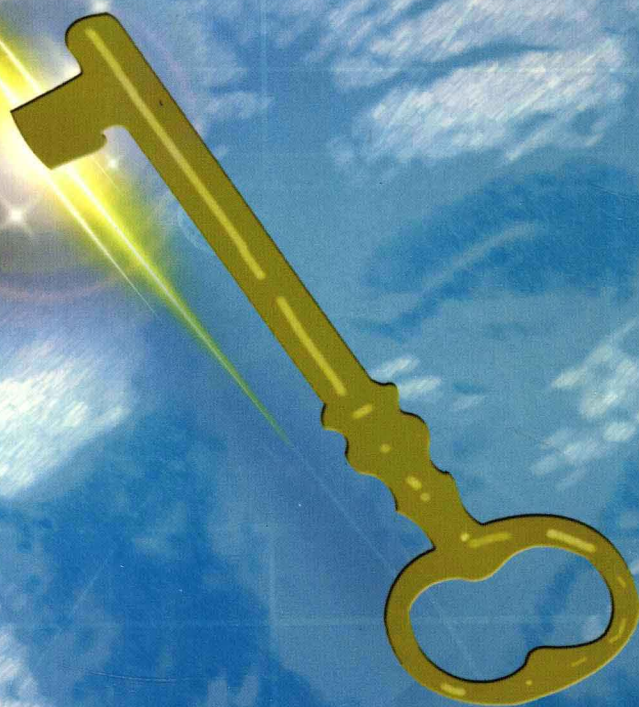
21世纪课程教材
Textbook Series For 21st Century

第二版

电工学学习指南

上册

李春茂 主编



抛砖引玉 开启智慧

象出版社

(京)新登字 046 号

图书在版编目(CIP)数据

电工学学习指南/李春茂主编

北京:气象出版社,1995.9

ISBN 7-5029-2020-x

I. 电... II. 李... III. 电工学学习指南 IV. TM0002

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1995)

出版者:气象出版社

地址:北京市白石桥路 46 号/100081

策划编辑:王存忠

责任编辑:李义玲

责任校对:尤阿艳

责任出版:王存忠

版式设计:于建松

封面设计:张 艳

发 行 者:气象出版社出版发行 全国各地新华书店经销

印 刷 者:天虹印刷有限责任公司

版(印)次:2003 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

开 本:787×1092 16 开

字 数:300 千字

印 张:12 印张

定 价:15.6 元

版权所有 翻印必究

内 容 简 介

全书主要包括:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦交流电路、线性电路的暂态分析;磁路与铁芯线圈电路、变压器、三相异步电动机、直流电机、继电器接触器控制系统与可编程控制器(PLC)、电量与非电量测试技术、供电与照明用电等。

本书紧密配合《电工技术》教材的有关章节内容,突出主要概念,着重解题思路和解题技巧方面的引导,精解题目 600 余道,诸多题目给出了一题多解,便于读者比较和选择。在编著过程中,力求叙述严谨,步骤清晰,数值准确,附图完整,便于自学。它特别适合于机电一体化、自动控制、机械制造、汽车、材料、仪器仪表、信息工程、通讯、航天、航海、化工、轻工、管理及环境保护类等各专业作为本(专)科教学辅导用书,也可供高等职业技术学院师生、工程技术人员及自学者阅读。

前 言

“电工技术”是非电专业的技术基础课,它是一门理论性和实践性都很强的学科。在多年的“教学实践中,我们深感若能有一本以基本概念为主体,以学习方法和解题技能为指导的学习指导书,将有助于开阔学生的解题思路,加深对“电工技术”基本概念的理解,提高运用基本理论分析解决实际问题的综合能力。为此,编著此书,以期抛砖引玉,开启智慧,使读者在学习过程中,更好地理解、掌握和巩固所学的基本理论。

本书紧密配合《电工技术》教材的有关章节内容,提出基本要求,进行学习指导,启发思考问答,给出习题详解。全书突出主要概念,着重解题思路和解题技巧方面的引导,精解题目 600 余道,并给出了一题多解,便于读者比较和选择。在编著过程中,力求叙述严谨,步骤清晰,数值准确,附图完整,便于自学。

本书由李春茂、齐 华、宋教然、周展怀同志共同编写。李春茂执笔第 1、2、3、4 章并负责全书统稿工作;宋教然执笔第 5、6 章;齐 华执笔第 7、8、9 章;周展怀执笔第 10、11 章。

裴 渝、尤阿艳、于建松、胡安玲、陈 梅、张 艳、刘俊晓、邹新波、姚晓岚、郑新雨、王桂玉等在本书的校对和绘图过程中给予了大力支持,在此一并致谢。特别感谢姚焕霞、王安义所给予的支持。

由于时间仓促,水平所限,错误和不当之处在所难免,恳请读者斧正,不吝赐教。

李春茂

2003 年春节于华南理工大学

目 录

第 1 章	电路基本定律与分析方法	(1)
第 2 章	单相正弦交流电路	(38)
第 3 章	三相正弦交流电路	(74)
第 4 章	非正弦周期电流电路	(87)
第 5 章	线性电路的暂态分析	(98)
第 6 章	磁路及带铁心线圈电路	(113)
第 7 章	交流电机	(133)
第 8 章	直流电机	(151)
第 9 章	继电接触器控制系统与 PLC	(160)
第 10 章	电工测量技术	(168)
第 11 章	供电与照明用电	(176)

第1章 电路基本定律与分析方法

1.1 基本要求

- 1.1.1 掌握电路的基本概念;
- 1.1.2 正确理解电压参考极性、电流参考方向的意义;
- 1.1.3 能正确应用电路基本定律分析问题;
- 1.1.4 熟悉电路的三种状态及其意义;
- 1.1.5 理解电位的概念并掌握其计算。
- 1.1.6 熟悉电阻的串、并联及其等效电路;
- * 1.1.7 了解电阻星形联接和三角形联接及其等效互换;
- 1.1.8 建立起电压源、电流源与受控源的概念,掌握电压源与电流源的等效互换;
- 1.1.9 熟练掌握几种分析计算电路的方法;学会含受控源电路的分析计算;
- 1.1.10 了解非线性电阻电路的分析方法(图解法),并理解静态电阻和动态电阻的概念。

1.2 学习指导及注意事项

1.2.1 电路分析是本课程的基础。

在学习过程中应首先了解电路的两种作用及其三大组成部分。要特别注意信号源与一般电源的区别:信号源输出的电压和电流的变化规律取决于所加的信息;电源输出的功率和电流决定于负载的大小。

1.2.2 要正确地分析电路,须弄清楚电路的几个基本物理量。

电流、电压和电动势这些物理量都已在物理课中讲过,本章着重讨论它们的参考方向和参考极性。这对初学者是不好理解的新概念。在参考方向和参考极性选定之后,电压或电流值才有正负之分。对于电流来说,按标定的参考方向,当计算结果为正($i > 0$)时,说明电流的实际方向与其参考方向一致;当计算结果为负($i < 0$)时,说明电流的实际方向与其参考方向相反。对于电压和电源的电动势,一般规定:参考极性高电位端为正,低电位端为负。它们的实际极性同样由计算结果的符号来判断。电位是一个相对值,随参考点的改变而改变;但电位差是一个绝对值,电场中任意两点间的电位差与参考点的选择无关。在一个电路中,如果指定某

一点为“零电位”参考点,其它各点电位才有意义。比参考点电位高的为正;比其低的为负。正数值越大,表明其电位越高,负数值越大,表明其电位越低。

1.2.3 通过电路基本定律的学习,加深对电压、电动势、电流参考极性和参考方向的理解。

在学习过程中应注意两点:第一,列关系式时,须首先在电路图上标明电压、电动势和电流的参考极性和参考方向;第二,考虑电压和电流本身给定值的正负,即要注意两套正负符号。

1. 应用欧姆定律列关系式时,若电压和电流选择非关联方向,关系式须带负号。遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻。

2. 基尔霍夫电流定律(KCL): $\sum I = 0$ 。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流出该结点的电荷,在结点上不能堆积电荷。它是能量守恒原理在电路中的一种表述,反映了汇合到电路中任一结点的各支路电流间的相互制约关系。KCL 可以推广应用于“广义结点”,即包围部分电路在内的任一假设的闭曲面。

3. 基尔霍夫电压定律(KVL): $\sum U = 0$ 。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,该点的电位是不会发生变化的。它反映了一个回路中各段电压间相互制约的关系。可将其推广应用于“开口回路”。

4. KCL 和 KVL 具有普适性,即,适用于任一瞬时、任何变化的电压和电流以及由各种不同元件所构成的电路。

1.2.4 在学习电路的三种工作状态时,应注意下面几个问题:

1. 功率的平衡关系: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相平衡。

2. 根据电压和电流的实际极性和方向来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)。

电源:其电压和电流实际极性和方向为“非关联”,电流从“+”端流出, $P < 0$,发出功率;

负载:其电压和电流实际极性和方向“关联”,电流从“+”端流入, $P > 0$,取用功率。

3. 额定值与实际值:额定值是一个重要的概念。它是厂家对设备综合各种因素后所规定的值。各种电气设备使用时的实际值不一定等于它们的额定值。其原因,一是受到外界的干扰,使得有关电气量产生波动;二是在一定电压下电源输出的电流和功率取决于负载的大小。

4. 注意开路与短路的特征:

$$\text{开路: } I = 0, U = U_0 = E, P = 0, P_e = 0, \Delta P = 0$$

$$\text{短路: } I = I_s = \frac{E}{r_0}, U = 0, P = 0, P_e = I^2 r_a = \Delta P$$

1.2.5 关于电阻的串并联问题:

对于由几个电阻串联的电路,当已知外加电压时,可直接利用分压公式求每一个电阻上的电压;对于并联电阻电路,当总电流为已知时,可直接利用分流公式求通过每个电阻的电流。对于两个电阻并联的电路,利用分流公式计算某个电阻中的电流时,要注意分流的大小与另一个电阻的阻值成正比。

1.2.6 关于 Y/△变换问题:

在理解等效条件和变换原则的前提下,应着重记忆变换公式,同时注意电阻下标是有一定规律可循的。比如,在 Y 接法换成△接法时,三式的分子均为星形联接的三个电阻两两相乘再求和,而分母阻值的下角标是等式左边△联接的电阻下脚标中所缺的一个,如

$$R_{ab} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c}$$

R_{ab} 属于△联接,角标缺 c,而右边分母 R_c 属于星形联接,角标为 c;其余类推。△接法变换成 Y 接法式中,等号右端分母均为△联接中的各个电阻之和,而它们的分子分别为△联接中两两电阻的乘积,这两个电阻的下角标均带有与对应对待求的 Y 联接的电阻的角标。如

$$R_a = \frac{R_{ab} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}$$

分母为△联接的三个电阻之和,而分子 R_{ab} 与 R_{ca} 的角标均含有“a”(R_a 的角标),余类推。注意观察,加强练习便可熟练掌握。

1.2.7 电压源与电流源

电压源是不难理解的,但电流源不易理解,在学习过程中应注意下列几点:

1. 从电压源模型引出电流源模型

由图 1-1(a)可知 $U = E - I r_0$ 两边除以 r_0 ,得

$$\frac{U}{r_0} = \frac{E}{r_0} - I = I_s - I \quad \text{或} \quad I_s = \frac{U}{r_0} + I$$

式中 $I_s = E/r_0$ 为电源的短路电流; I 是负载电流;而 $\frac{U}{r_0}$ 是引出的另一个电流。上式用图表示即为图 1-1(b)所示的电流源模型。

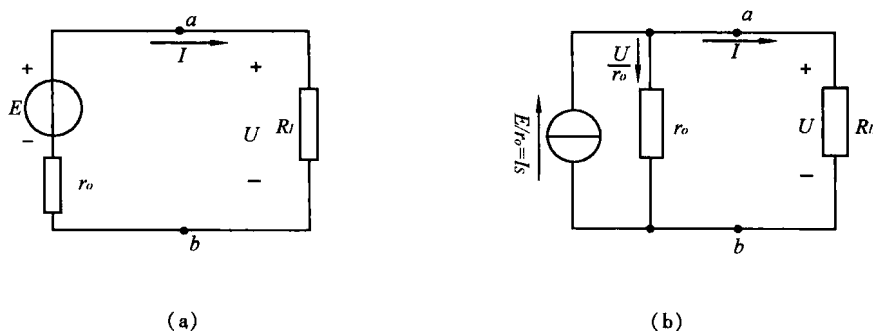


图 1-1 由电压源模型引出电流源模型

2. 任何电源都可以等效为电压源或电流源两种形式

电压源和电流源对外部电路是等效的。这反映在两者的外特性(图 1-2)是一样的。但要特别注意理想电压源与理想电流源不等效,对于电源内部也不等效。理想电压源和理想电流源实际上并不存在,只是一种抽象模型,即当电压源内阻 $r_0 \ll R_L$ 时, $U \approx E$, 电压基本上恒定,可近似认为是理想电压源;当电流源内阻 $r_0 \gg R_L$ 时, $I \approx E/r_0$, 电流基本上恒定,可近似认为是理想电流源。

3. 对于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

4. 两种电源模型对外电路的等效关系不只限于内阻 r_0 。

只要是一个电动势为 E 的理想电压源和某个电阻 R 串联的电路,都可以等效成一个电流为 I_s 的理想电流源和这个电阻并联的电路。因此,利用二者的等效关系可以对电路进行化简,以便于分析和计算。

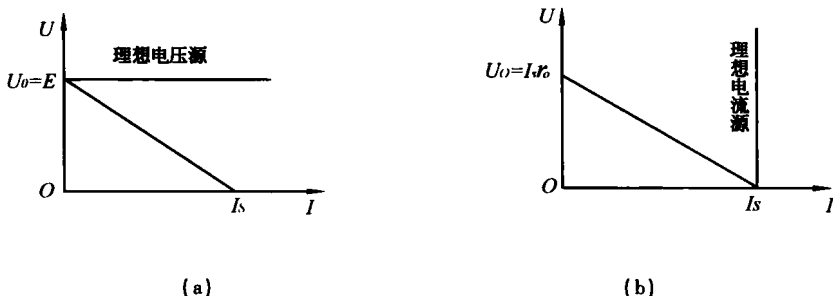


图 1-2 电压源和电流源外特性

5. 计算电路的各种方法

(1) **支路电流法**是分析电路最基本的方法,尤其适合于支路数较少的电路,对于支路数较多的电路,求解有一定的麻烦;

(2) 对于支路多而网孔少的电路,宜采用**网孔电流法**,它可以相对地减少联立方程组的方程个数;

(3) **结点电压法**适宜于求解少结点多支路的电路,特别是两结点电路,它完全可以避免解联立方程组。注意在结点电压公式中,分母的各项均为正值,分子的各项可正可负(当电动势和结点电压的参考极性相反时取正号,二者相同时取负号);

(4) **叠加原理**是一种分析线性问题的普遍原理,解题时应按下列步骤进行:第一步:将原电路图等效画成各个独立的电源单独作用的分电路图(将其中不作用的独立理想电压源短路,独立理想电流源开路,但独立电源的内阻及所有的受控源仍需保留);第二步:在各分电路图中标出支路电流(或电压)的参考方向(或参考极性),然后求解支路电流(或电压);第三步:将各分电路的支路电流(或电压)叠加,即得原电路中相关支路的电流(或电压)。注意各个分量的参考方向(或参考极性)是否与原电路图中的有关量的参考方向(或参考极性)一致!可见,利用叠加原理求解电路,须就每一电源单独作用分别计算其相应的电流或电压分量,一般在计算过程中还要对电路进行必要的简化。因此,整个求解过程并不一定简便,作为电路的一种求解方法并不一定较多地采用。但作为分析研究线性电路中各个电源的单独作用时确有其价值。叠加原理实质上是线性方程的可加性,因此,支路电流或电压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,因为它不是线性方程。

(5) 在一个电路中,如果只需计算某条支路的电压或电流时,可将此支路以外的其余部分看作有源二端网络,并用**戴维宁定理**简化成等效电压源,或用**诺顿定理**简化成等效电流源,而后再进行计算。简化过程中需注意下列几点:

(a) 将待求支路中的 R_x 从电路中断开,求出剩下的有源二端网络的开路电压 U_0 ,即为戴维宁等效电路中电压源的电动势。求出有源二端网络的短路电流 I_s ,即为诺顿等效电路中电流源的电流。

(b)将有源二端网络的电源除去,保留其内阻,然后求出该无源二端网络的等效电阻 r_0 ,即为等效电源的内阻。

(c)将待求支路 R_x 接入以 U_0 为电动势、串联内阻为 r_0 的等效电压源(图 1-3)。由全电路欧姆定律可以求得

$$\text{待求支路电流为 } I = \frac{U_0}{r_0 + R_L} \quad \text{待求支路电压为 } U = U_0 - Ir_0$$

应特别注意: U_0 为有源二端网络的开路电压,而非待求支路的端电压 U ,即 $I \neq \frac{U_0}{R_x}$,而是

$$I = \frac{U}{R_x}。$$

(d)将待求支路 R_x 接入短路电流为 I_s 、并联内阻为 r_0 的等效电流源(图 1-4),则待求支路的电流、电压分别为

$$I = \frac{r_0}{r_0 + R_x} I_s \quad \text{和} \quad U = IR_x$$

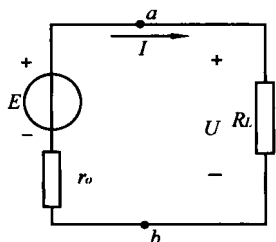


图 1-3 戴维宁等效电压源

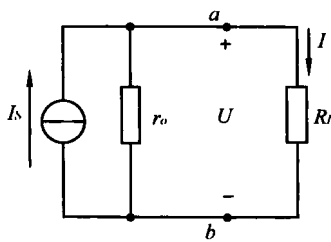


图 1-4 诺顿等效电流源

(e)对于较为复杂的电路,有时还可以利用电压源与电流源的等效变换,结合使用戴维宁定理和诺顿定理对电路进行化简再计算。

6. 含受控源电路的分析受控源可分为四种基本类型,即 压控压型(VCVS),流控压型(CCVS),压控流型(VCCS),流控流型(CCCS)。

对于含有受控电源的线性电路,原则上采取上述电路的分析方法进行分析计算,但需考虑其特性和具体情况。比如,用叠加原理解题时,分解后的电路中均应保持受控电源的作用。

7. 计算非线性电阻电路,一般按下述步骤进行:

第一步:将电路的线性部分和非线性部分区别开;

第二步:列出线性部分的电压方程,必要时须先进行化简;

第三步:在非线性元件的伏安特性曲线上,画出线性元件的电压方程所表示的直线;

第四步:由两条线的交点 Q (称之为工作点)来确定电路的工作状态。

1.3 复习思考题问答

1.1 计算图 1-5 中电阻 R 值, 已知 $U_{ax} = -20V$ 。

[答]: 思路: 欲知通过 R 的电流值, 须先求得 U_{cd} 。然后利用欧姆定律求解, 须注意两套符号。

由题设和题图可知: a 点比 x 点的电位低 $20V$, c 点比 a 点高 $6V$, 则

$$U_{cx} = -14V, \quad U_{xd} = -4V, \quad U_{cd} = U_{cx} + U_{xd} = -18V$$

$$\text{或} \quad U_{cd} = U_{ax} - U_{ac} - U_{dx} = -20 - (-6) - 4 = -18V$$

$$\text{故} \quad R = \frac{U_{cd}}{I} = \frac{-18}{-3} = 6\Omega$$

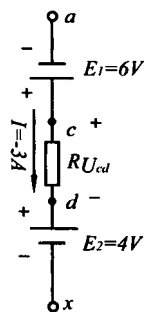


图 1-5 思考题 1.1 图

1.2 一段铜导线长 $1.5m$, 截面积为 $1.6mm^2$, 试计算在温度为 $20^\circ C$ 时该导线的电阻值。

7 [答]: 因为在 $20^\circ C$ 时, 铜的电阻率为 $\rho = 0.0175 \Omega mm^2/m$, 由电阻定律可知: $R = \rho \frac{l}{S} = 0.0175 \times \frac{1.5}{1.6} = 0.0164 \Omega$ 。

可见, 导线电阻值是很小的, 比起负载电阻, 其值可以忽略, 这就是我们常把导线电阻视为零的缘故。

1.3 如图 1-6 所示电路, 已知电源电动势 $E = 6V$, 电源内阻 $r_0 = 0.5\Omega$, 负载电阻 $R = 10\Omega$, 试求: (1) 负载电阻 R 中通过的电流 I , 电阻 R 两端的电压和电源内部的压降各为多少? (2) 当外电路短路时, 电路中的电流和电源的端电压各为多少?

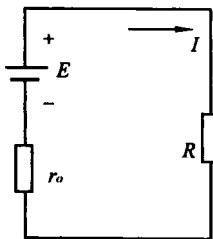


图 1-6 思考题 1.2 图

[答]:

(1) 根据全电路的欧姆定律, 通过负载电阻的电流为

$$I = \frac{E}{R + r_0} = \frac{6}{10 + 0.5} \approx 0.571A.$$

$$\text{电阻 } R \text{ 两端的电压 } U = IR = 0.571 \times 10 = 5.71V$$

$$\text{电源内部电压降 } U_0 = Ir_0 = 0.571 \times 0.5 \approx 0.29V$$

$$(2) \text{ 外电路短路时, 负载电阻 } R = 0, \text{ 短路电流 } I_s = \frac{E}{r_0} = \frac{6}{0.5} = 12A$$

$$\text{电源端电压为 } U = IR = 12 \times 0 = 0V.$$

这时电源的电动势全部耗降在其内阻上。

1.4 已知某电源的开路电压 $U_0 = 25V$, 其短路电流 $I_s = 40A$, 试问该电源的电动势和内电阻各为多少?

$$[答]: \text{电源的电动势 } E = U_0 = 25V$$

$$\text{电源的内电阻 } r_0 = \frac{E}{I_s} = \frac{U_0}{I_s} = \frac{25}{40} = 0.625\Omega$$

1.5 在图 1-7 示电路中, $I_1 = 3A$, $I_2 = -4A$, $I_3 = -5A$, $I_4 = 5A$, 求 I_5 。

[答]:由 KCL 可列出

$$I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 = 0$$

$$I_5 = I_1 + I_3 - I_2 - I_4 = 3 + (-5) - (-4) - 5 = -3\text{A}$$

可见式中需考虑两套正负号。

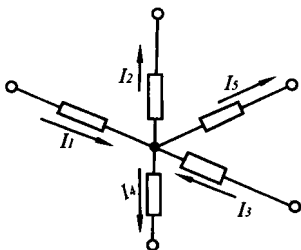


图 1-7 思考题 1.5 图

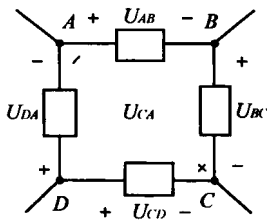


图 1-8 思考题 1.6 图

1.6 图 1-8 中各支路的元件是任意的, 已知 $U_{AB} = 7\text{V}$, $U_{BC} = -3\text{V}$, $U_{AD} = 4\text{V}$ 。试求:

(1) U_{CD} ; (2) U_{CA} 。

[答]: (1) 由 KVL 可列出 $U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DA} = 0$

则 $U_{CD} = -U_{AB} - U_{BC} - U_{DA} = -7 - (-3) - (-4) = 0$ ($\because U_{DA} = -U_{AD} = -4\text{V}$)

(2) 对于开口回路 ABCA 应用 KVL

$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CA} = 0, \quad U_{CA} = -U_{AB} - U_{BC} = -7 - (-3) = -4\text{V}$$

1.7 有一台直流稳压电源, 其额定输出电压为 30V , 额定输出电流为 2A , 从空载到额定负载, 其输出电压的变化率为千分之一 (即 $\Delta U = \frac{U_0 - U_N}{U_N} = 0.1\%$), 试求该电源的内阻。

[答]: $U_N = 30\text{V}$, $I_N = 2\text{A}$

$$U_0 = U_N (1 + 0.1\%) = 30.03\text{V}, \quad E = U_0 = 30.03\text{V}$$

再将 $U_N = 30\text{V}$, $E = 30.03\text{V}$, $I_N = 2\text{A}$ 代入 $U = E - Ir_0$

$$\text{得 } r_0 = \frac{E - U_N}{I_N} = \frac{30.03 - 30}{2} = 0.015\Omega$$

1.8 在图 1-9 示电路中, 试求: (1) 开关 S 断开时电路各段的电流 I_1 、 I_2 及 I_3 ; (2) S 合上后的电流 I_2 和 I_3 ; (3) S 合上后电路各段上的电压 U 、 U_1 、 U_2 及 U_3 , 哪个变高了? 哪个变低了? 已知 $E = 220\text{V}$, $r_0 = 1\Omega$, $R_1 = 24\Omega$, $R_2 = 55\Omega$, $R_3 = 30\Omega$ 。

[答]: (1) S 合上前

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{E}{r_0 + R_1 + R_2 + R_3} = \frac{220}{1 + 24 + 55 + 30} = 2\text{A}$$

$$(2) \text{ S 合上后 } I_2 = 0, I_1 = I_3 = \frac{220}{1 + 24 + 30} = 4\text{A}$$

$$(3) \text{ S 合上前 } U = E - I_1 r_0 = 220 - 2 \times 1 = 218\text{V},$$

$$U_1 = 2 \times 24 = 48\text{V}, U_2 = 2 \times 55 = 110\text{V}, U_3 = 2 \times 30 = 60\text{V}$$

$$\text{S 合上后 } U = E - 4r_0 = 220 - 4 = 216\text{V (降低)},$$

$$U_1 = 4 \times 24 = 96\text{V (升高)}, U_2 = 0\text{V (降低)}, U_3 = 4 \times 30 = 120\text{V (升高)}$$

1.9 用截面积为 6mm^2 的铝线从车间向 150m 外的一个临时工地送电, 如果车间的电压是

220V, 线路的电流是 20A, 试问临时工地的电压是多少? 根据日常观察, 电灯在深夜要比黄昏时亮一些, 为什么?

[答]: 导线电阻 $R = \rho \frac{l}{S} = 0.026 \times \frac{150 \times 2}{6} = 1.3 \Omega$

$\therefore U_R = 20 \times 1.3 = 26V, \therefore U = 220 - 26 = 194V$

因为黄昏时用电负荷较多(起分流作用), 负载电压低, 而深夜负荷少, 负载电压较高, 故深夜电灯较亮。

1.10 一只 110V、8W 的指示灯, 现在要接在 380V 的电源上, 问要串多大阻值的电阻? 该电阻应选用多大瓦数的?

[答]: 通过指示灯的额定电流为 $I_N = \frac{8}{110} A$

电阻上的压降应是 $U_R = 380 - 110 = 270V$

故 $R = \frac{270}{8/110} = 3712.5 \Omega, P_R = \frac{U_R^2}{R} = \frac{270^2}{3712.5} = 19.64W$

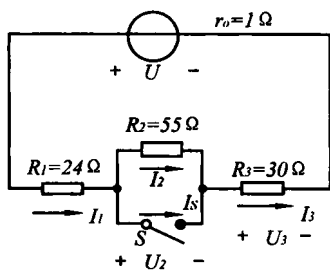


图 1-9 思考题 1.8 图

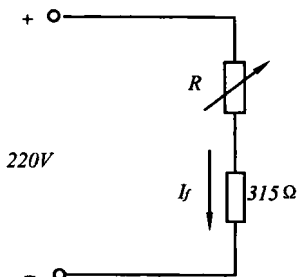


图 1-10 思考题 1.11 图

1.11 图 1-10 所示的是用变阻器 R 调节直流电机励磁电流 I_f 的电路。设电机励磁绕组的电阻为 315Ω , 其额定电压为 220V, 如果要求励磁电流在 $0.35 \sim 0.7A$ 的范围内变动, 试在下列三个变阻器中选用一个合适的: (1) $1000 \Omega, 0.5A$; (2) $200 \Omega, 1A$; (3) $350 \Omega, 1A$ 。

[答]:

(1) $I_1 = \frac{220}{1000 + 315} = 0.1673A, (R = 1000 \Omega)$

$I'_1 = \frac{220}{315} = 0.698A \quad (R = 0 \text{ 时}),$

(2) $I_2 = \frac{220}{200 + 315} = 0.43A \quad (R = 200 \Omega),$

$I'_2 = 0.698A \quad (R = 0 \text{ 时}),$

(3) $I_3 = \frac{220}{350 + 315} = 0.33A \quad (R = 350 \Omega),$

$I'_3 = 0.698A \quad (R = 0 \text{ 时}),$

比较上述结果可知: 使 $0.35 < I_f < 0.7A$ 的电阻只有 (2), 故应选 $200 \Omega, 1A$ 的电阻器。

1.12 图 1-11 所示的是用来测量电源的电动势 E 和内阻 r_0 的电路。图中 $R_1 = 2.6 \Omega$, $R_2 = 5.5 \Omega$ 。当将 S_1 闭合时, 安培计读数为 2A; 断开 S_1 , 闭合 S_2 后, 读数为 1A。试求 E 和 r_0 。

[答]:由题意分别列出 S_1 、 S_2 单独闭合时的电路方程式

$$S_1 \text{ 闭合: } I = 2\text{A}, \quad E = 2(r_0 + R_1) = 2(r_0 + 2.6) \quad (1)$$

$$S_2 \text{ 闭合: } I = 1\text{A}, \quad E = 1 \times (r_0 + R_2) = r_0 + 5.5 \quad (2)$$

联立(1)、(2)得 $r_0 = 0.3\Omega$, $E = 5.8\text{V}$

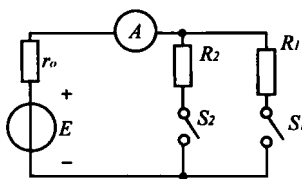


图 1-11 思考题 1.12 图

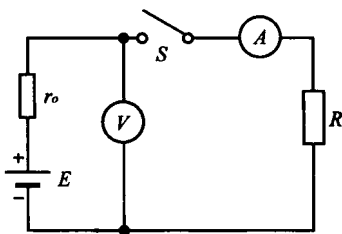


图 1-12 思考题 1.13 图

1.13 为了测量某电源的电动势 E 和内阻 r_0 , 采用了图 1-12 的实验电路, 图中 R 是一个阻值适当的电阻。当开关断开时, 伏特计的读数为 6V ; 当开关闭合时, 安培计的读数为 0.58A , 伏特计的读数为 5.8V 。求 E 和 r_0 。设伏特计的内阻远大于 r_0 , 而安培计的内阻远小于 r_0 。

[答]: 开关断开时, 由于伏特计的内阻远大于 r_0 , 可认为此时开路: $U \approx E$, 即 $E = 6\text{V}$ 。开关闭合时

$$\therefore I = \frac{E}{r_0 + R}, E = I(r_0 + R) = Ir_0 + U \quad \therefore r_0 = \frac{E - U}{I} = \frac{6 - 5.8}{0.58} = 0.345\Omega$$

即 $E = 6\text{V}$, $r_0 = 0.345\Omega$

1.14 试求图 1-13 所示电路 a、b 间的等效电阻 R_{ab} 。

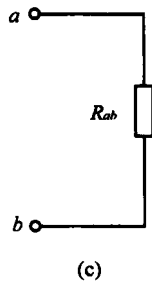
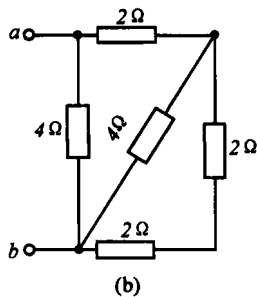
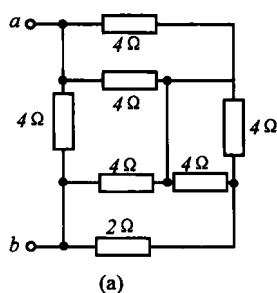


图 1-13 思考题 1.14 图

[答]: 利用串并联的结构特征将电路进行等效化简, 如图 1-13(b)、(c), 从而求得

$$R_{ab} = \frac{[(2+2) \parallel 4+2] \times 4}{[(2+2) \parallel 4+2] + 4} = \frac{16}{4+4} = 2\Omega$$

1.15 一无源二端电阻网络如图 1-14(a), 通过实验测得: 当 $U = 10\text{V}$ 时, $I = 2\text{A}$ 。已知该电阻网络由 4 个 3Ω 的电阻构成, 试问这 4 个电阻是如何联接的?

[答]: 先由题意计算等效电阻: $R = \frac{U}{I} = \frac{10}{2} = 5\Omega$

然后将 4 个 3Ω 的电阻进行合理布置如图 1-14(b)。

1.16 在图 1-15(a) 中, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 300\Omega$, $R_5 = 600\Omega$, 试求开关 S 断开和闭合时

a 和 b 之间的等效电阻。

[答]:画出 S 闭合与断开时的等效电路分别如图 1-15(b)、图 1-15(c) 所示。解得 a、b 之间的等效电阻如下:

$$(1) \quad S \text{ 闭合: } R_{1,2} = R_1 // R_2 = \frac{300}{2} = 150\Omega$$

$$R_{3,4} = R_3 // R_4 = \frac{300}{2} = 150\Omega$$

$$R_{ab} = (R_{12} + R_{34}) // R_5 = 300 // 600 = \frac{300 \times 600}{300 + 600} = 200\Omega$$

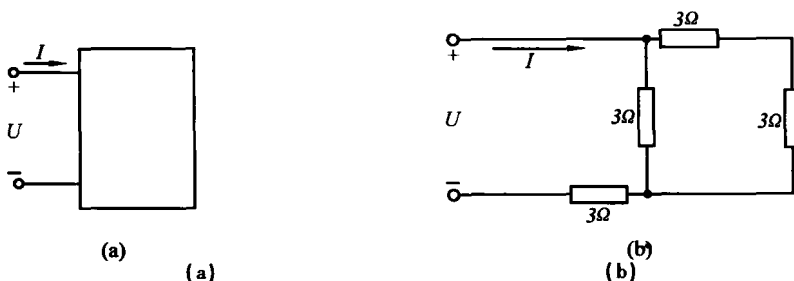


图 1-14 思考题 1.15 图

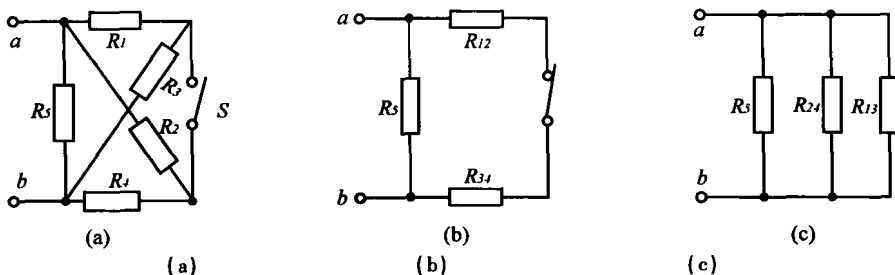


图 1-15 思考题 1.16 图

(2) S 断开:

$$\therefore R_{1,3} = R_1 + R_3 = 600\Omega, R_{2,4} = R_2 + R_4 = 600\Omega$$

$$\therefore R_{ab} = R_5 // R_{2,4} // R_{1,3} = \frac{600}{3} = 200\Omega$$

1.17 图 1-16 所示为直流电动机的一种调速电阻电路,由几个开关的开闭可以得到多种电阻值,设 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1\Omega$,求下述情况下 a、b 两点间的等值电阻:

(1) S_1 和 S_5 闭合,其他断开;

(2) S_2 、 S_3 和 S_5 闭合,其他断开;

(3) S_1 、 S_3 和 S_4 闭合,其他断开。

[答]:(1) S_1 、 S_5 闭合,将 R_4 短接,其他断开: R_1 、 R_2 、 R_3 串联,则

$$R_{ab} = R_1 + R_2 + R_3 = 3\Omega$$

(2) S_2 、 S_3 、 S_5 闭合使 R_2 、 R_3 、 R_4 并联,则

$$R_{ab} = R_2 // R_3 // R_4 + R_1 = 1 + \frac{1}{3} = 1.33\Omega$$

(3) S_3 闭合将 R_2 、 R_3 短接; S_1 、 S_4 闭合将 R_1 、 R_4 并联, 则
 $R_{ab} = R_1 \parallel R_4 = 0.5\Omega$ 。

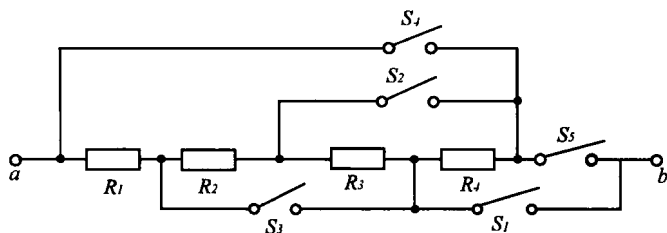


图 1-16 思考题 1.17 图

1.18 计算图 1-17 所示分压器电阻电路各档的输出电压 U_2 。已知输入电压 $U_1 = 16V$, 各电阻值如图上所标示。

[答]: (1) 在 a 档时 $U_{2a} = U_1 = 16V$

(2) 在 b 档时 先求 b 点右边的等效电阻 R'_b :

$$R'_b = [(5.0 + 45) \parallel 5.5 + 45] \parallel 5.5 \approx 5\Omega, \quad U_{2b} = \frac{16}{45 + 5} \times 5 = 1.6V$$

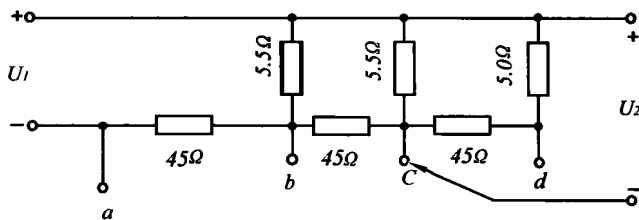


图 1-17 思考题 1.18 图

$$(3) \text{ 在 c 档时 } R'_c = (5 + 45) \parallel 5.5 \approx 5\Omega \quad U_{2c} = \frac{U_{2b}}{5 + 45} \times 5 = 0.16V$$

$$(4) \text{ 在 d 档时 } U_{2d} = \frac{U_{2c}}{5 + 45} \times 5 = 0.016V$$

1.19 在图 1-18 所示的分压电路中, 电位器的电阻 $R_p = 270\Omega$, $R_1 = 350\Omega$, $R_2 = 550\Omega$ 。设输入电压 $U_1 = 12V$, 求输出电压 U_2 的变化范围。

$$[\text{答}]: \quad U_2 = \frac{U_1}{R_1 + R_2 + R_p} (R'_p + R_2)$$

当 $R'_p = 0$ (滑动触头在下端) 时

$$U_2 = \frac{12}{270 + 350 + 550} \times 550 = 5.64V$$

当 $R'_p = 270V$ (滑动触头在上端) 时

$$U_2 = \frac{12}{270 + 350 + 550} \times (270 + 550) = 8.41V$$

因此, 输出电压 U_2 的变化范围是 $5.64V \sim 8.41V$

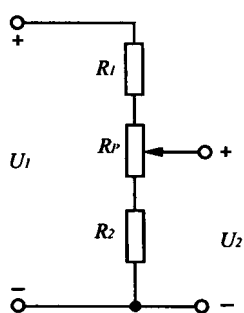


图 1-18 思考题 1.19 图

1.20 有一直流发电机, $E = 230V$, $r_0 = 1.2\Omega$, 当负载电阻 $R_L = 25\Omega$ 时, 用两种电源模型分别求电压 U 和电流 I , 并计算两种电源模型内部的功率损耗和内阻压降, 看是否也相等?

[答]:两种电路模型如图 1-1。

(1) 计算电压 U 和电流 I : 由图 1-1(a)

$$I = \frac{E}{R_L + r_0} = \frac{230}{25 + 1.2} \approx 8.78 \text{ A}, \quad U = IR_L = 8.78 \times 25 \approx 220 \text{ V}$$

由图 1-1(b)

$$I = \frac{r_0}{R_L + r_0} I_s = \frac{1.2}{25 + 1.2} \times \frac{230}{1.2} \approx 8.78 \text{ A}; \quad U = IR_L = 8.78 \times 25 \approx 220 \text{ V}$$

(2) 计算内阻压降和电源内部损耗功率:

$$\text{在图 1-1(a) 中, } Ir_0 = 8.78 \times 1.2 = 10.5 \text{ V}; \quad \Delta P_0 = I^2 r_0 = 8.78^2 \times 1.2 = 93 \text{ W}$$

$$\text{在图 1-1(b) 中, } \frac{U}{r_0} \times r_0 = U = 220 \text{ V}; \quad \Delta P_0 = \left(\frac{U}{r_0}\right)^2 \cdot r_0 = \frac{U^2}{r_0} = \frac{220^2}{1.2} = 40333 \text{ W}$$

上述计算进一步表明,电压源和电流源对外电路是等效的,而对于电源内部的功率损耗和内阻压降并不等效。

1.21 在图 1-19 所示电路中, R_{P1} 和 R_{P2} 是同轴电位器,试求当活动触点 a、b 移到左、右端和中间位置时的输出电压 U_{ab} ?

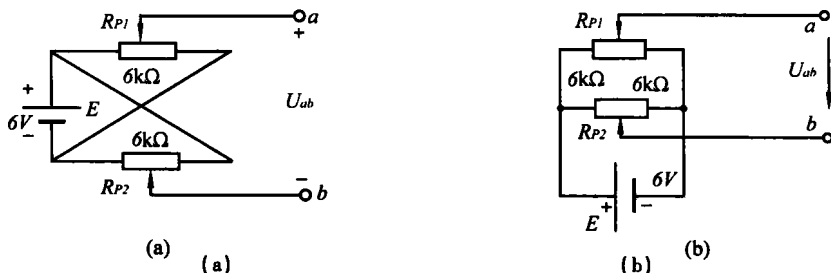


图 1-19 思考题 1.21 图

[答]: 移到最左端 $U_{ab} = E = 6 \text{ V}$
 移到最右端 $U_{ab} = -E = -6 \text{ V}$
 移到中间 $U_{ab} = 3 + (-3) = 0 \text{ V}$ (图 b)

1.22 试用两个 6V 的直流电源、两个 $1 \text{ k}\Omega$ 的电阻和一个 $10 \text{ k}\Omega$ 的电位器联成调压范围为 $-5 \sim +5 \text{ V}$ 的调压电路。

[答]: 由题意可将上述元件联成调压范围为 $-5 \text{ V} \sim +5 \text{ V}$ 的调压电路如图 1-20 (还有其他联结方式)。

1.23 试求图 1-21 所示电路中输出电压与输入电压之比, 即 U_2/U_1 。

[答]: 设输入端电流为 I

$$\therefore U_1 = IR = \left(\frac{R_2 R_3 + R_2 R_4}{R_2 + R_3 + R_4} + R_1 \right) I; \quad U_2 = I_4 R_4 = \frac{R_2 I}{R_2 + R_3 + R_4} \cdot R_4$$

$$\therefore \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2 R_4}{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_1 (R_2 + R_3 + R_4)}$$

* 1.24 计算图 1-22 所示电路中 a、b 两端之间的等效电阻。

[答]: 先进行 Δ -Y 等效变换, 如图 1-22(b)。再由串并联的结构特征, 有

$$R = (1 + 1) // \left(2 + \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{3} = \frac{13}{9} = 1.44 \Omega$$