

普通高等院校电工类“十二五”规划教材

电工技术基础

DIANGONG JISHU JICHU

主编 高文根



國防工業出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校电工类“十二五”规划教材

电工技术基础

主 编	高文根		
副主编	吴 慧	杨保华	
编 委	孙 辉	邱月友	
	杨保华	吴 慧	高文根

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是普通高等院校电工类“十二五”规划教材,全书共分7章,主要内容有直流电路、电路的暂态分析、正弦交流电路、三相交流电路、变压器、电动机、电气自动控制等。书后附录提供了常用电阻器、电容器的标称系列值以及部分习题参考答案。

本书可作为开设“电工技术”课程的授课教材,供普通高等工科院校非电类专业本科生使用,也可作为大专学生、工程技术人员系统学习电工技术的参考用书。

本书与诸志龙主编的《电子技术基础》配套,二者涵盖了电工电子技术的基本内容。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础 / 高文根主编. —北京:国防工业出版社, 2014. 1

普通高等院校电工类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-08948-6

I. ①电… II. ①高… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 229036 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 10 $\frac{1}{4}$ 字数 232 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 19.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书是国防工业出版社普通高等院校电工类“十二五”规划教材,是根据普通高校非电类专业电工电子技术教学的实际情况和课程改革的需要,并参照电工电子技术课程教学基本要求——“基础理论教学要以应用为目的,以必需、够用为度”编写的。

教材编写过程中,我们力求适用、通俗易懂、便于自学,重点介绍电工技术的基本概念、基本理论、基本分析方法。本教材有如下特点:

1. 在阐明物理概念和基本原理的前提下,采用工程近似方法进行计算,略去了一些复杂的数学推导。

2. 基尔霍夫定律不单独设一节,放在“支路电流法”一节中推出。

3. 在“动态电路的暂态分析”一章中,改变了以往根据电路的激励,列写和求解微分方程、得出电路响应的一贯套路,直接用三要素法分析所有问题,使繁杂的解题方法变得十分简单。

4. 删去了一些因学时有限而不可能选上的内容。近些年,为了适应市场需求,各高校都实行宽口径教育,开设的课程有所增多,使“电工技术”的授课学时有所减少。根据这一实际情况,我们删去了因学时有限而不可能选上的内容,如二阶电路的暂态分析、非正弦周期电路的计算、交流电路的频率特性、磁路及其分析方法等,这样,大大压缩了教材的篇幅。

5. 由于非电类专业甚多,对电工技术的要求不一,学时也不尽相同,为了使授课具有灵活性,我们将全书内容分为共同性内容和非共同性内容两类,对共同性内容不作标记,对非共同性内容以“*”标记。标“*”的内容可作为学时较多、对电工技术要求较高专业的选讲内容。

6. 为了便于读者自学,书后附录提供了常用电阻器、电容器的标称系列值,还提供了部分习题参考答案。

本教材由高文根主编,由赵秀华审阅。在本书编写过程中,得到了安徽工程大学、淮北师范大学、合肥师范学院、合肥学院、铜陵学院等多所院校的大力支持和帮助,在此,对相关院校表示衷心感谢。

尽管为了本书的编写,我们投入了大量的时间和精力,但书中错误和不妥之处肯定仍然难免,殷切期望使用本书的读者提出批评和建议,以便今后修订提高。

编 者
2013年5月

目 录

第1章 直流电路	1
1.1 电路的基本知识	1
1.1.1 电路的基本组成及作用	1
1.1.2 电路的基本物理量	2
1.1.3 电路基本元器件的模型	3
1.2 电源的工作状态	11
1.2.1 电源的有载状态	11
1.2.2 电源的开路状态	11
1.2.3 电源的短路状态	11
1.2.4 电气设备的额定值	12
1.3 电流和电压的方向	13
1.3.1 电流和电压的参考方向	13
1.3.2 电路中电源与负载的判断	14
1.4 电位的概念及计算	15
1.5 电源等效变换法	17
1.5.1 电压源	17
1.5.2 电流源	17
1.5.3 电压源与电流源的等效变换	18
1.5.4 电源等效变换法	19
1.6 支路电流法	21
1.6.1 电路分析中几个常用的名词术语	21
1.6.2 基尔霍夫电流定律(KCL)	22
1.6.3 基尔霍夫电压定律(KVL)	22
1.6.4 支路电流法	23
1.7 叠加定理	25
1.7.1 系统与线性的概念	25
1.7.2 叠加定理	25
1.8 戴维宁定理与诺顿定理	27
1.8.1 戴维宁定理	27
1.8.2 诺顿定理	29
1.9* 非线性电阻电路的分析	32
1.9.1 非线性电阻元件	32

1.9.2 非线性电阻电路的分析	33
习题	35
第2章 动态电路的暂态分析	39
2.1 动态电路的暂态过程	39
2.2 线性一阶电路的方程及其解	40
2.3 一阶电路暂态分析的三要素法	42
2.3.1 一阶电路响应的三要素公式	42
2.3.2 三要素的求解方法	42
2.3.3 一阶线性电路的三要素求解法	45
2.4 一阶电路响应的分解形式	46
2.4.1 一阶电路的零输入响应	46
2.4.2 一阶电路的零状态响应	46
2.4.3 一阶电路的全响应	48
2.4.4 一阶电路全响应的分解	48
2.5 微分电路与积分电路	50
2.5.1 微分电路	50
2.5.2 积分电路	52
习题	53
第3章 正弦交流电路	56
3.1 正弦交流电路及其基本物理量	56
3.1.1 幅值和有效值	56
3.1.2 频率和周期	57
3.1.3 相位和初相位	58
3.2 正弦量的相量表示法	59
3.2.1 复数	59
3.2.2 正弦量的相量表示法	60
3.3 单一参数的正弦交流电路	61
3.3.1 电阻元件的交流电路	61
3.3.2 电感元件的交流电路	63
3.3.3 电容元件的交流电路	65
3.3.4 交流电路的阻抗	67
3.4 RLC 串联交流电路	69
3.4.1 RLC 串联交流电路中电流和电压的关系	69
3.4.2 RLC 串联交流电路中的功率	70
3.5 功率因数的提高	72
3.6* 电路谐振	74
3.6.1 串联谐振	74
3.6.2 并联谐振	75
3.7* 交流电路的频率特性	76

3.7.1	低通滤波电路	77
3.7.2	高通滤波电路	78
3.7.3	带通滤波电路	78
习题		79
第4章	三相交流电路	82
4.1	三相电源	82
4.1.1	三相电源的基本概念	82
4.1.2	三相电源的星形连接	83
4.1.3	三相电源的三角形连接	84
4.2	三相负载	85
4.2.1	三相负载的星形连接	85
4.2.2	三相负载的三角形连接	89
4.3	三相电路的功率	90
4.4	供配电及安全用电	92
4.4.1	电力系统概述	92
4.4.2	安全用电	93
习题		95
第5章	变压器	97
5.1	变压器的结构与原理	97
5.1.1	变压器的结构	97
5.1.2	变压器的工作原理	98
5.1.3	变压器的特性和额定值	101
5.1.4	三相变压器	103
5.2	特殊变压器	104
5.2.1	自耦变压器	104
5.2.2	仪用互感变压器	105
5.2.3	变压器绕组极性的判断	107
习题		108
第6章	异步交流电动机	110
6.1	三相异步电动机的结构	110
6.1.1	定子	110
6.1.2	转子	111
6.2	三相异步电动机的工作原理	112
6.2.1	旋转磁场	113
6.2.2	异步电动机的转动原理	115
6.2.3	转差率	115
6.3	三相异步电动机的电路分析	116
6.3.1	定子电路	117
6.3.2	转子电路	117

6.4 三相异步电动机的转矩与机械特性	118
6.4.1 转矩公式	118
6.4.2 机械特性曲线	119
6.5 三相异步电动机的使用	121
6.5.1 三相异步电动机的铭牌数据	121
6.5.2 三相异步电动机的启动	123
6.5.3 三相异步电动机的调速	125
6.5.4 三相异步电动机的制动	127
6.6 单相异步电动机	129
6.6.1 单相电动机的转动原理	129
6.6.2 单相电动机的启动方法	129
习题	130
第7章* 电气自动控制	132
7.1 常用低压电器	132
7.1.1 开关和按钮	132
7.1.2 交流接触器	133
7.1.3 中间继电器	134
7.1.4 热继电器	135
7.1.5 断路器	135
7.2 三相异步电动机的控制	137
7.2.1 基本控制	137
7.2.2 正、反转控制	139
7.2.3 顺序控制	140
7.2.4 行程控制	142
7.2.5 时间控制	143
7.2.6 多地控制	145
7.3 可编程序控制器	146
7.3.1 可编程序控制器的基本结构	146
7.3.2 可编程序控制器的工作原理	147
7.3.3 可编程序控制器步进指令应用举例	149
习题	151
附录 I 电阻器、电容器的标称系列值	152
附录 II 部分习题参考答案	153
参考文献	156

第1章 直流电路

1.1 电路的基本知识

1.1.1 电路的基本组成及作用

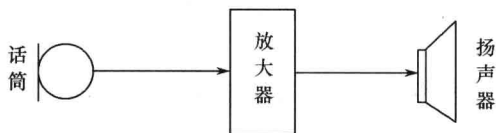
电路是电工电子技术的基本组成单位,复杂的电路呈网状,又称网络。电路和网络这两个术语是通用的。

电路的组成形式多种多样,简单地说,电路由电源、负载、控制装置及导线等构成。电路所能完成的任务也是多种多样的,图 1.1.1(a)所示为一强电电路的典型电路——电力传输系统,它的作用是能量的传输和转换。其中,发电机是电源,是产生电能的设备;电动机、电炉等是负载,是取用电能的设备,它们分别把电能转换为机械能、热能等;变压器和输电线路是中间环节,是连接电源和负载的部分,它们起传输和分配电能的作用。

图 1.1.1(b)所示为一弱电电路的典型电路——扩音系统,它的作用是信号的传递和处理。其中,话筒是产生电信号的装置,它把声音(即信息)转换为相应的电压和电流(即电信号);由于话筒输出的电信号比较微弱,不足以推动扬声器发声,因此中间环节用放大器将微弱信号放大;扬声器是负载,把电信号还原为声音。



(a) 电力传输系统 (电能的转换与传输)



(b) 扩音系统 (信号的传递与处理)

图 1.1.1 电路示意图

实际电路是由一些按需要起不同作用的实际电路元器件组成的,这些元器件包括发电机、变压器、电动机、电池、晶体管、电感线圈、电容器等,它们都是物理实体。这些物理实体的电磁性质很复杂,尤其在高频情况下,但在低频范围分析电路时,可将实际电路元器件理想化,即突出其主要的电磁性质,忽略次要因素。例如,一盏白炽灯,当通有电流时,它除具有消耗电能的性质(电阻性)以外,还会产生磁场,具有电感性,但电感量微小,可忽略不计,于是可认为白炽灯是一电阻元件。再如一个电容器,在储存电场能的同时,

又由于绝缘介质有一定的漏电而消耗电能表现为一定的电阻性,但由于消耗的电能很小可以忽略不计,故认为电容器为一理想电容。而通常所说的电源则可抽象成具有恒定电压的电压源或具有恒定电流的电流源。

由一些理想电路元器件所组成的电路,就是实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的抽象和概括。例如,手电筒的实际电路元器件有干电池、灯泡、开关和筒体,就可用如图 1.1.2 所示的电路模型来描述。干电池是电源, E 表示电源电压, R_s 是电源内阻;灯泡 R 是电阻元件;开关 S 、筒体(导线)是连接干电池和灯泡的中间环节。

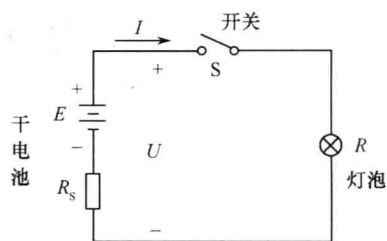


图 1.1.2 手电筒电路模型

1.1.2 电路的基本物理量

在学习电路之前,必须掌握电路中一些基本物理量的定义。在下面的介绍中,按国家规定的标准,不随时间变化的物理量用大写字母表示,如电荷用 Q 、电流用 I 、电压用 U ;随时间变化的物理量用小写字母表示,如电荷用 q 、电流用 i 、电压用 u 。

1. 电流

电荷的定向运动形成电流。习惯上将正电荷运动的方向定义为电流的方向。在电场力的作用下,电流从高电位流向低电位。电流的强弱用电流强度来衡量,电流强度简称为电流。电流强度为单位时间内通过导线横截面的电量,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1.1)$$

2. 电位

电路中某点的电位为将单位正电荷 q 从该点移到零参考点时电场力所做的功(或所消耗的电能)。例如, a 点的电位为

$$v_a = \frac{dw_a}{dq} \quad (1.1.2)$$

只有在选定参考点以后,某点的电位才有确定值。参考点将在 1.3 节中介绍。

3. 电压

电路中某两点(如 a 、 b 两点)间的电压为将单位正电荷从 a 点移到 b 点时电场力所做的功(或所消耗的电能),即

$$u_{ab} = \frac{dw_{ab}}{dq} \quad (1.1.3)$$

电压的另一种定义是,电路中某两点(如 a 、 b 两点)间的电压为 a 、 b 两点的电位之差,即

$$u_{ab} = v_a - v_b \quad (1.1.4)$$

4. 电动势

电源电动势为非静电力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功,即

$$e = \frac{dw}{dq} \quad (1.1.5)$$

5. 电功率

电功率为单位时间内电场力所做的功。电功率表示了电路中单位时间内电能转换的速度,即

$$p = \frac{dw}{dt} = ui \quad \text{或} \quad P = \frac{W}{t} = UI \quad (1.1.6)$$

6. 电能

电能是电荷运动所做的功。将电荷 q 在时间 t 范围内,从 a 点移到 b 点所做的功为

$$W = \int_0^t u_{ab} i dt = \int_0^t u_{ab} dq \quad \text{或} \quad W = U_{ab} It = U_{ab} q \quad (1.1.7)$$

1.1.3 电路基本元器件的模型

为便于对实际电路进行数学描述和计算,通常将电路元器件的实体用它的模型来代替,元器件的模型只表征元器件理想化的单一物理性质。理想电路元器件模型有图 1.1.3 所示的 5 种,这 5 种理想电路元器件又可分为无源元器件和有源元器件两大类。无源元器件有电阻元件、电感元件和电容元件,它们分别反映电路将电能转换成其他形式能量(如热能、磁场能、电场能)的性能;有源元器件有恒压源和恒流源,它们反映电路的能源形式和对电路的作用。

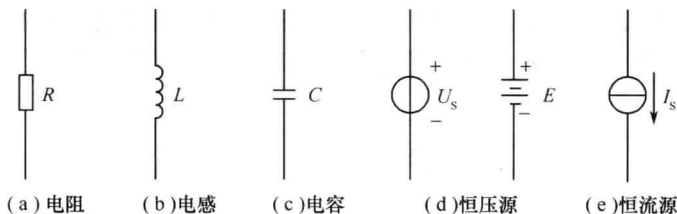


图 1.1.3 理想电路元件

本书分析的电路都是理想电路元器件构成的电路,连接元器件的导线认为是电阻为零的导体。下面对各理想电路元器件(简称电路元器件)的物理性质作进一步介绍。

1. 电路基本元器件模型及伏安特性

1) 电阻元件 R

理想电阻元件 R 的模型(也称电路符号)与伏安特性如图 1.1.4 所示。电阻两端的电压为 u ,流过电阻的电流为 i ,其伏安特性曲线为通过坐标原点的一条直线。

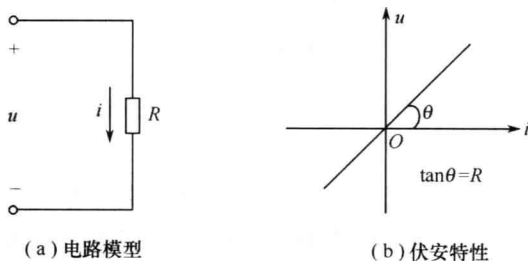


图 1.1.4 电阻元件

理想电阻也称为线性电阻,线性电阻的伏安特性用欧姆定律表示,即

$$R = \frac{u}{i} \text{ 或 } R = \frac{U}{I} \quad (1.1.8)$$

国际单位制中,电阻的单位为欧姆,简称欧(Ω)。计算中还常用千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等。 $1k\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$; $1M\Omega = 10^6\Omega$ 。

电阻的倒数

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.1.9)$$

称为电导,单位为西门子,简称西(S)。

电阻元件将电能转换成热能,其消耗的电能(电功率)为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1.1.10)$$

式中,电压的单位为伏特,简称伏(V),电流的单位为安培,简称安(A),电阻的单位为欧姆,简称欧(Ω),功率的单位为瓦特,简称瓦(W)。

电阻元件的物理性质可归纳为以下两点:

- (1) 电阻电压正比于电阻电流。
- (2) 电阻是耗能元件,它消耗电能转变为热能,其过程不可逆。

2) 电感元件 L

磁场伴随着电流而存在,电流的周围会产生磁通,磁通是描述磁场的一个物理量。电流 I 的方向与其产生的磁通 ϕ 的方向遵从右手螺旋定则,如图 1.1.5 所示。

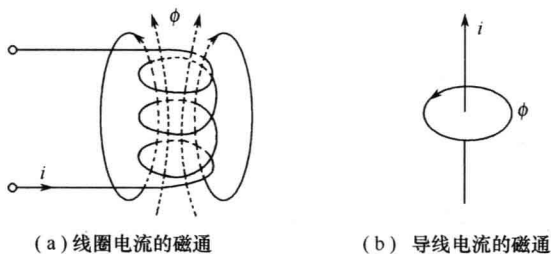


图 1.1.5 电流与磁通的关系

设线圈有 N 匝,全部被所产生的磁通 ϕ 链绕,则线圈的磁链 ψ 为

$$\psi = N\phi \quad (1.1.11)$$

磁链 ψ 与电流 i 的比值称为线圈的电感 L ,即

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1.1.12)$$

国际单位制中,电感的单位为亨利,简称亨(H)。计算中还常用毫亨(mH), $1mH = 10^{-3}H$ 。

若线圈中的介质为真空和空气等非磁性物质,则 L 是常数,即为线性线圈;带有铁磁材料的线圈是非线性线圈。理想线性线圈(线圈电阻可忽略)的模型与其韦安特性如图 1.1.6 所示,韦安特性曲线在 $i-\psi$ 平面上为通过原点的直线。

当通过电感线圈的电流 i 发生变化时,线圈中的磁通 ϕ 也随之变化,线圈内将产生自

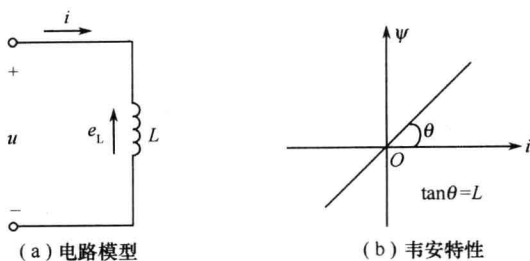


图 1.1.6 电感元件

感电动势 e_L 。通常规定, e_L 的参考方向和磁通 ϕ 的参考方向符合右手螺旋关系, 即 e_L 和 i 的参考方向相同, 于是

$$e_L = -N \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(N\phi)}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1.1.13)$$

对于线圈电阻可以忽略的纯电感电路, 如图 1.1.6(a) 所示, 根据基尔霍夫电压定律, 可得电感端电压为

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1.1.14)$$

电感吸收的功率为

$$p = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1.1.15)$$

当 i 的绝对值增大时, $i \frac{di}{dt} > 0, p > 0$, 说明此时磁通增长, 电感的磁场增强, 电感从电源吸取电能, 转换为磁场能; 反之, 当 i 的绝对值减小时, $i \frac{di}{dt} < 0, p < 0$, 说明此时磁通减少, 电感将磁场能转换为电能送回电源。

如果在 $0 \sim t_1$ 时间内, 电流从 0 增长到 I_1 , 则电感将电能转换的磁场能为

$$W_1 = \int_0^{t_1} p dt = \int_0^{t_1} \left(Li \frac{di}{dt} \right) dt = \int_0^{I_1} Li di = \frac{1}{2} LI_1^2 \quad (1.1.16)$$

所以一般地, 当电感电流为 I 时, 电感储存的磁场能即为

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1.1.17)$$

式中, 电感的单位为亨 (H), 电流的单位为安 (A), 磁场能的单位为焦耳, 简称焦 (J)。

电感元件的物理性质可归纳为以下两点:

- (1) 电感电压正比于电感电流的变化率。
- (2) 电感是储能元件, 它将电能与磁场能相互转换, 其过程可逆。

3) 电容元件 C

一般地, 电容器都由间隔着绝缘介质的两组金属板或箔片做成, 当极板间加电压时, 极板上将充有电荷, 介质内就出现电场, 储存电场能量。

绝大多数电容器都是线性的, 线性电容的模型与其库伏特性如图 1.1.7 所示。库伏特性曲线在 $u-q$ 平面上为通过原点的直线。

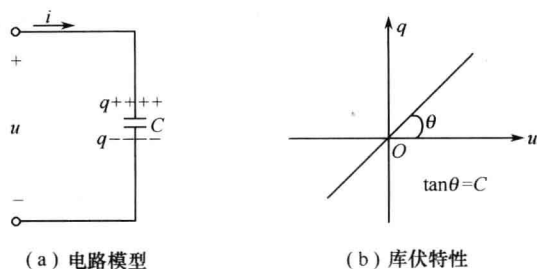


图 1.1.7 电容元件

电容器存储的电荷 q 与两极板间电压 u 的比值称为电容 C , 即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1.1.18)$$

电容 C 即电容器的电容量, 它代表一个电容器存储电荷的能力。国际单位制中, 电容的单位为法拉, 简称法 (F)。计算中还常用毫法 (mF)、微法 (μF) 等。 $1\text{mF} = 10^{-3}\text{F}$, $1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$ 。当电容器两端的电压不断发生变化时, 电容支路中将不断流过充电或放电电流。由于导线电流 i 取决于单位时间内通过导线的电荷量, 所以, 电容电流为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.1.19)$$

电容吸收的功率为

$$p = ui = uC \frac{du}{dt} \quad (1.1.20)$$

当 u 的绝对值增大时, $u \frac{du}{dt} > 0, p > 0$, 说明此时电荷增加, 电容两极板间的电场增强, 电容从电源吸取电能, 转换为电场能; 反之, 当 u 的绝对值减小时, $u \frac{du}{dt} < 0, p < 0$, 说明此时电荷减少, 电容将电场能转换为电能送回电源。

如果在 $0 \sim t_1$ 时间内, 电压从 0 增长到 U_1 , 则电容将电能转换的电场能为

$$W_1 = \int_0^{t_1} p dt = \int_0^{t_1} \left(Cu \frac{du}{dt} \right) dt = \int_0^{U_1} C u du = \frac{1}{2} C U_1^2 \quad (1.1.21)$$

所以一般地, 当电容电压为 U 时, 电容储存的电场能即为

$$W = \frac{1}{2} C U^2 \quad (1.1.22)$$

式中, 电容的单位为法 (F), 电压的单位为伏 (V), 电场能的单位为焦 (J)。

电容元件的物理性质可归纳为以下两点:

- (1) 电容电流正比于与电容电压的变化率。
- (2) 电容是储能元件, 它将电能与电场能相互转换, 其过程可逆。

4) 恒压源

恒压源也被称为理想电压源, 其电路模型如图 1.1.8(a) 所示。恒压源输出端的电压 U 是恒定不变的, 即 $U \equiv U_s$, 伏安特性如图 1.1.8(b) 所示。恒压源输出端的电流 I 由外电路 (即负载 R_L) 来决定, 由图 1.1.8(c) 可知, $I = \frac{U_s}{R_L}$ 。

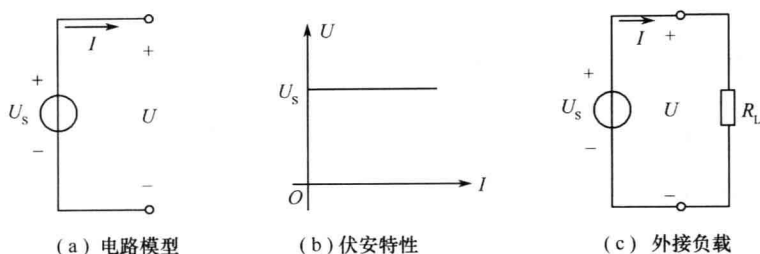


图 1.1.8 恒压源

恒压源的特点可归纳为以下两点：

- (1) 恒压源的端电压与流过电源的电流无关。
- (2) 恒压源输出电流的大小由所连接的外电路决定。

5) 恒流源

恒流源也被称为理想电流源,其电路模型如图 1.1.9(a)所示。恒流源输出端的电流 I 是恒定不变的,即 $I \equiv I_s$,伏安特性如图 1.1.9(b)所示。恒流源输出端的电压 U 由外电路(即负载 R_L)来决定,由图 1.1.9(c)可知, $U = I_s R_L$ 。

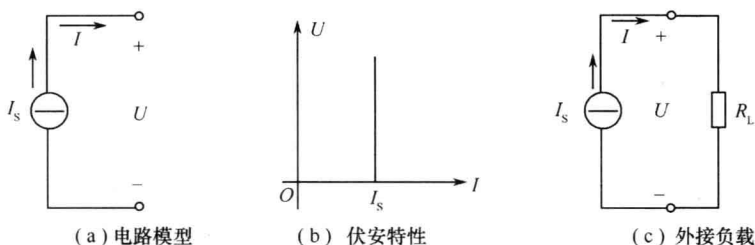


图 1.1.9 恒流源

恒流源的特点可归纳为以下两点：

- (1) 恒流源的端电流与其端电压无关。
- (2) 恒流源端电压的大小由所连接的外电路决定。

2. 电路元器件的串联与并联

1) 电阻的串联与并联

两个电阻 R_1 、 R_2 串联的直流电路如图 1.1.10 所示。电阻串联时,流过每个电阻的电流相等,均为总电流 I 。

此时,电路的总电阻 R 、总电压 U 、总电流 I 分别为

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.1.23)$$

$$U = U_1 + U_2 \quad (1.1.24)$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (1.1.25)$$

两个电阻上的电压分别为

$$U_1 = IR_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad (1.1.26)$$

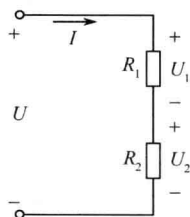


图 1.1.10 电阻串联电路

$$U_2 = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}U \quad (1.1.27)$$

式(1.1.26)和式(1.1.27)是分压公式,它们表征 R_1 、 R_2 串联后分总电压 U 的情况。

两个电阻 R_1 、 R_2 并联的电路如图 1.1.11 所示。电阻并联时,每个电阻的端电压相等,均为总电压 U 。

此时,电路的总电流 I 为

$$I = \frac{U}{R} = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} \quad (1.1.28)$$

从而得

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ 或 } R = R_1 // R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.1.29)$$

由式(1.1.28)和式(1.1.29)可推出两个电阻 R_1 、 R_2 并联后的分流公式为

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}I \quad (1.1.30)$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}I \quad (1.1.31)$$

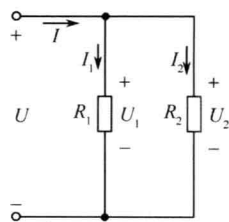


图 1.1.11 电阻
并联电路

2) 电感的串联与并联

两个电感 L_1 、 L_2 串联和并联的交流电路分别如图 1.1.12 和图 1.1.13 所示。

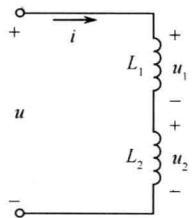


图 1.1.12 电感串联电路

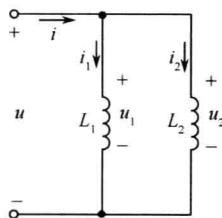


图 1.1.13 电感并联电路

两个电感串联时,总电感 L 为

$$L = L_1 + L_2 \quad (1.1.32)$$

两个电感并联时,总电感 L 为

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \text{ 或 } L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad (1.1.33)$$

3) 电容的串联与并联

两个电容 C_1 、 C_2 串联和并联的交流电路分别如图 1.1.14 和图 1.1.15 所示。

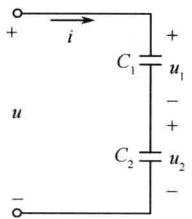


图 1.1.14 电容串联电路

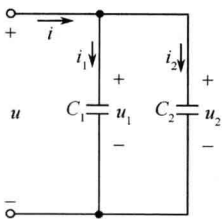


图 1.1.15 电容并联电路

两个电容串联时,总电容 C 为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{或} \quad C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (1.1.34)$$

两个电容并联时,总电容 C 为

$$C = C_1 + C_2 \quad (1.1.35)$$

4) 电压源串联

若两个电压源 U_{S1} 、 U_{S2} 串联,当电压极性相同时,总电压 $U = U_{S1} + U_{S2}$;当电压极性相反时,总电压 $U = |U_{S1} - U_{S2}|$, U 的极性与 U_{S1} 、 U_{S2} 中数值较大的相同。

5) 电流源并联

若两电流源 I_{S1} 、 I_{S2} 并联,当电流方向相同时,总电流 $I = I_{S1} + I_{S2}$;当电流极性相反时,总电流 $I = |I_{S1} - I_{S2}|$, I 的方向与 I_{S1} 、 I_{S2} 中数值较大的相同。

【例 1.1.1】有一只最大量程为 100mA 的表头,内阻 $R_s = 1\text{k}\Omega$,如果要将其最大量程改装为 10mA,问分流电阻为多少?

【解】已知 $I_s = 100\text{mA}$, $R_s = 1\text{k}\Omega$,设分流电阻为 R ,与表头并联,依题意 R 支路的分流电流应为 $I_R = 90\text{mA}$,根据分流公式,可得

$$I_R = \frac{R_s}{R + R_s} I_s = \frac{1000}{R + 1000} 100 \times 10^{-3} \text{A} = 90 \times 10^{-3} \text{A}$$

求得,分流电阻 $R \approx 111\Omega$ 。

【例 1.1.2】在图 1.1.16 所示的电路中, $I_1 = 3\text{mA}$,求电源电压 U_s 和它提供的功率。

【解】将电路右边的 3 只电阻用电阻的串、并联方法合并后,为一只 $(10/3)\text{k}\Omega$ 的电阻,并设各支路电流如图 1.1.17 所示,则可得

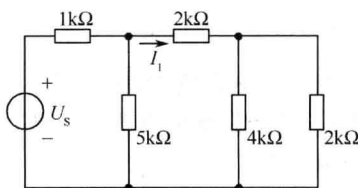


图 1.1.16 例 1.1.2 题图

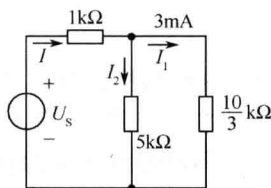


图 1.1.17 例 1.1.2 解图

$\frac{10}{3}\text{k}\Omega$ 上的电压为 10V; $5\text{k}\Omega$ 上的电压也为 10V;

$$I_2 = \frac{10}{5000} = 2\text{mA};$$

$$U_s = 1 \times (3 + 2) + 10 = 15\text{V};$$

$$P_s = U_s \times I = 75\text{mW}.$$

3. 受控电源

以上讨论的电压源和电流源都是独立电源。所谓独立电源,就是电压源的电压或电流源的电流不受外电路电压或电流的控制,是独立存在的。除此之外,电路中还有另一种类型的电源——受控电源。受控电源(简称受控源)是把某些电路元器件抽象表示的一种电路模型,用以说明这类元器件内部的物理作用。例如,晶体三极管就可以用受控源作模型(在后续基本放大电路一章中介绍),再用电路分析的方法分析它在电路中的作用。