

21 世纪电工学系列教材

电 路 基 础

李 益 民 主 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目(CIP)数据
电路基础/李益民主编. —成都:西南交通大学出版社, 2000.2 (2001.7 重印)
ISBN 7-81057-411-6

.电... .李... .电路理论 .TM13

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第12041号

21世纪电工学系列教材

电 路 基 础

李益民 主编

*

出 版 人 宋绍南

责任编辑 唐 晴

封面设计 肖 勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码:610031 发行科电话:7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787 mm × 960 mm 1/16 字数: 220千字 印张: 14

2000年2月第1版 2001年7月第2次印刷

ISBN 7-81057-411-6 / TM · 188

定价: 18.00元

内 容 提 要

本书是根据 1998 年 7 月在北京召开的铁道部高等工科院校关于《面向 21 世纪电工电子系列课程教学改革》会议的精神编写的。

本书共分六章，主要讨论了直流电路和交流电路的基本概念、基本定律和基本分析方法，以及简要介绍了将计算机辅助分析与设计 (CAD) 技术应用于电路分析中的一种较好的软件——PSPICE 软件，并举例说明了 PSPICE 软件进行电路分析的功能及应用。

对于第一、二章的直流电路部分，我们从建立电路模型并根据电路基本规律介绍了线性网络的基本稳态求解方法和非线性网络的基本知识；对于第三、四章交流电路部分，我们主要介绍了采用相量分析法和运用复数工具求解单相和三相正弦交流电路的稳态响应；第五章对电路的暂态分析介绍了两种求解方法；第六章简要介绍了 PSPICE 软件应用于电路的计算机辅助分析的功能及应用举例。

本书的特点是内容新颖，立论严谨，体系完整，例题丰富，分析过程详细、易懂，便于自学。

本书可作为高等院校、职工大学、函授大学、电视大学等非电专业的电技术基础课的教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书内容的教学时数约为 40 学时，各任课老师可根据具体情况自行增删。

前 言

1998年7月在北方交通大学召开的铁道部高等工科院校《面向21世纪电工电子系列课程教学改革》研讨会上,与会同志对非电专业电技术基础系列教材的内容进行了认真地审定和讨论,强调了电技术基础课程对各专业的学科建设和发展起着十分重要的作用,并明确提出了电工电子系列课程教学改革必须以面向21世纪电技术的迅速发展为宗旨。本书就是根据此次会议精神而重新编写的。

本书的特点是内容新颖、立论严谨、体系完整、例题丰富。书中所述内容既包括了原有的经典电路理论又包括了近几年来以计算机作为辅助工具对电路理论及其分析方法所取得的新成就。电路理论是一门重要的且处于不断发展中的学科领域,在编写本书的过程中,我们力求做到将电路传统内容和现代新理论成果的有机结合,努力探索和揭示电路理论这一学科的内在发展规律,以期使之适应时代发展的需要。

我们在教材中编入了较多的例题和习题,书末还附有习题参考答案,以便读者能较好地掌握基本内容,培养和提高分析问题、解决问题的能力,并为学习后续课程打好扎实的理论基础。

本书第一章、第二章、第三章及第六章由长沙铁道学院李益民编写,第四章及第五章由上海铁道大学罗晓峥编写。

本书由长沙铁道学院吕天祥主审,参加校审的有余明扬、宋学瑞、黄桂生、刘曼玲、黄定徽、谢平凡等同志。此外,在编写本书的过程中,我们还得到了北方交通大学李守成、冯民昌、西南交通大学出版社张雪、唐晴及其他兄弟院校的有关同志的大力支持,并提出了许多宝贵意见,在此我们表示衷心地感谢!

由于我们水平有限,书中可能存在一些缺点和错误,恳请广大读者积极提出批评和改进意见。

编 者

1999年12月

目 录

1 电路模型和基本定律

1.1 电路和电路模型	1
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	4
1.3 无源元件	12
1.4 有源元件	19
1.5 电路的工作状态	24
1.6 基尔霍夫定律	27
1.7 电路中电位的概念	32
习 题	35

2 电路的分析方法

2.1 电阻的串联、并联及等效变换	41
2.2 电阻的 Y 形联结与 Δ 形联结及等效变换	45
2.3 电压源与电流源的等效变换	49
2.4 支路电流法	52
2.5 结点法	56
2.6 叠加原理	60
2.7 戴维南定理与诺顿定理	64
2.8 含非线性电阻电路的分析	70
习 题	76

3 正弦交流电路

3.1 正弦交流电路的基本概念	81
3.2 正弦交流电的基本参数	82
3.3 正弦量的相量表示法	87
3.4 R 、 L 、 C 元件的正弦交流电路	96
3.5 RLC 串联与并联交流电路	107
3.6 复阻抗电路	112

3.7	正弦交流电路的功率	115
3.8	电路中的谐振	122
3.9	复杂正弦交流电路的稳态分析	129
	习 题	132
4	三相正弦交流电路	
4.1	对称三相正弦交流电源	139
4.2	对称三相正弦交流电路的计算	144
4.3	对称三相正弦交流电路的功率	150
4.4	不对称三相正弦交流电路的分析	154
4.5	三相正弦交流电路中功率的测量	159
4.6	安全用电	161
	习 题	167
5	电路的暂态分析	
5.1	元件特性和换路定则	171
5.2	初始值和稳态值的确定	173
5.3	一阶电路的零输入响应	176
5.4	一阶电路的零状态响应	182
5.5	一阶电路的全响应及三要素法	184
5.6	RC 微分电路和积分电路	189
	习 题	192
*6	电路的计算机辅助分析	
6.1	PSPICE 的简要介绍	196
6.2	PSPICE 的电路描述文件	198
6.3	常用元器件描述语句	202
6.4	使用 PSPICE 分析电路	206
	部分习题参考答案	212
	参考文献	217

1 电路模型和基本定律

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的组成及作用

1. 电路的组成

电路是为了某种需要由若干电工设备或元件按一定方式组成的总体，是电流的通路。我们在生产实践中所使用的各种电路都是由实际的电气元器件组成的，这些电气元器件泛指实际的电路部件，如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器等。

电路一般由电源、负载及中间环节三部分组成。

(1) 电源

它是将其他形式的能量转换成电能的装置，如发电机、电池、各种信号源等。发电机将机械能转换成电能、电池将化学能转换成电能，随着科学技术的日益发展和各种能源的充分开发，如水力资源、原子能、太阳能、地热、潮汐、风能等都已成为电能的来源。

(2) 负载

它是用电设备的统称。它是将电能转换成其他形式能量的装置，如日光灯、电动机、电炉、扬声器等。

(3) 中间环节

指联结电源和负载的部分，它起着传输、控制和分配电能的作用。如输电线、变压器、配电装置、开关、熔断器及各种保护和测量装置等。

电路中由负载和联结导线等中间环节组成的部分称为外电路，而电源内部的通路则称为内电路。

手电筒的电路就是一个最简单的实际电路，它由电池、电珠、开关和筒体组成。电池中储存的化学能转变为电能后，经过开关和筒体传输给电珠使之发光。在这里，电池就是电源，电珠是负载，而开关和筒体（传输

导体)就是中间环节。又如收音机的电路,它由天线、晶体管、电阻器、电容器和扬声器等组成。它把天线接收到的信号经过中间电路的处理和放大,然后推动扬声器工作使之播放出声音。在这个电路里,天线就可看作是一种电源(信号源),扬声器把电能转换为声能,就是一种负载,而各种中间的处理和放大电路等就可看作是中间环节。

2.. 电路的作用

在现代化的生产和科学技术领域中,电路用来完成控制、计算、通信、测量以及发电、配电等各方面的任务。虽然实际电路种类繁多、功能各异,但从抽象和概括的角度来看,电路的作用主要体现在以下两个方面。

(1) 实现电能的输送和变换

例如在电力系统组成的电路中,如图 1.1.1 所示,这时电路主要是用来传送、分配和变换电能。发电厂的发电机将热能、水能和核能等转换成电能,通过输电导线和各级变电所中的升压或降压变压器将电能输送到各用电设备,再根据需要将电能转换成机械能、热能和光能等其他形式的能量。

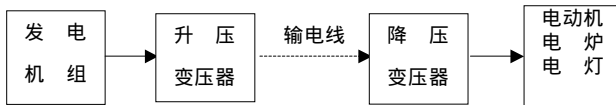


图 1.1.1 电力系统电路示意图

(2) 实现信号的传递和处理

常见的如电视机组成的电路,如图 1.1.2 所示,通过接收装置把载有语言、文字、音乐、图像的电磁波接收后转换为相应的电信号,然后通过多种中间电路环节将信号进行传递和处理,送到显像管和扬声器后还原为原始信息。

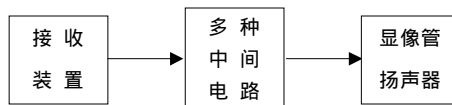
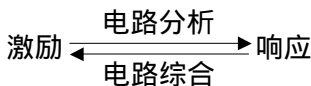


图 1.1.2 电视机电路示意图

无论一个具体电路的作用怎样,我们把其中电源或信号源的电压或电流称为电路的激励,它推动电路工作;由激励在电路中各部分产生的电压或电流称为电路的响应。已知激励求响应,称为电路的分析;已知响应求激励,称为电路的综合或设计。



总之，在电路中，随着电流的通过，进行着从其他形式的能量转换成电能、电能的传输和分配以及又把电能转换成所需要的其他形式能量的过程。

1.1.2 电路模型

实际电路中的元器件是多种多样的，它们在工作中表现出较为复杂的电磁性质。一种电路元件往往兼具两种以上的电磁特性，例如一个白炽灯，它除具有消耗电能的电阻特性外，还具有一定的电感性，但其电感很微小；电池工作时除将化学能转变为电能产生电动势外，在它的内阻上也消耗一部分电能因而又具有一定的电阻特性。

为了便于对实际电路进行数学描述和分析，我们需将实际元件理想化（或称为模型化），即在一定条件下突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件。因此，理想电路元件也就是具有某种确定的电磁性质的假想元件，它是一种理想化的模型并具有精确的数学定义。

理想电路元件包括理想无源元件和理想有源元件。前者包括理想电阻、理想电感和理想电容元件；后者包括理想独立电源和理想受控电源元件。这些元件分别由相应的符号和参数来表征。

对于一个实际的元器件，它可能具有几种不可忽略的电磁性质，这时可用多个理想电路元件及其组合来近似地代替这个实际的元器件，例如一个实际电池就可由一个理想电源元件和一个理想电阻元件串联而成。

同样，对于一个实际电路，其电路模型就是由一些相关的理想电路元件组成的电路。例如我们前面已提到的手电筒电路，它的电路模型如图 1.1.3 所示。其中电珠是电路的负载，可理想化为电阻元件，其参数为电阻 R ；干电池是电源元件，可化为理想电压源 U_S 和内阻 R_S 串联的组合模型；筒体和开关是联结于干电池和电珠的中间环节，其电阻可忽略不计，认为是一无电阻的理想导体。

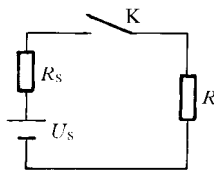


图 1.1.3 手电筒的电路模型

为了叙述简便，在以后的章节中常把“理想”二字省略，如无特殊说明，“元件”就是“理想元件”的简称。

需要说明一点的是，在不同的条件下，同一实际器件可能要用不同的电路模型来模拟。例如当频率较高时，线圈绕线之间的电容效应就不容忽视，这种情况下表征这个线圈的较精确的电路模型还应当包含电容元件。实践证明，只要电路模型选取得恰当，这样按照模型电路分析计算所得结果与对应的实际电路中测量所得结果基本上是一致的，不会造成较大的误差。本书将不涉及如何建立模型的问题。

1.2 电路的基本物理量及其参考方向

无论哪一种电路，在实现它的能量转换时，都要涉及电流、电压、电动势和电功率等物理量。我们对电路进行分析和计算，也就是对这些量的分析和计算，所以有必要首先掌握这些基本物理量的概念及有关参考方向的含义。

1.2.1 电流及其参考方向

1.. 电流

电荷在电场力作用下进行的定向移动形成电流。正电荷移动的方向（或负电荷移动的反方向）规定为电流的实际方向。电流的大小（强弱）用电流强度来衡量，它定义为单位时间内通过导体某横截面的电荷量。电流强度通常简称为电流，用字母 i 表示，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

式中， dq 为在极短时间 dt 内通过导体某横截面的电荷量。电路中经常遇到各种类型的电流，若上式中 dq/dt 为一常数，即表示电流的大小和方向都不随时间变化，这时称之为恒定电流，简称直流，一般用大写字母 I 表示；而随时间变化的电流则用小写字母 i 表示，例如正弦电流就是其中的一种。

直流电流 I 的表达式可以写为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.2.2)$$

在国际单位制中， Q 为电荷量，其单位为库仑（C）； t 为时间，单位为秒（s）； I 为电流，其单位为安培，简称安（A）。当计量微小的电流时，常以毫安（mA）或微安（ μ A）为单位。

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu \text{ A}$$

2. 电流的参考方向

电流的方向是客观存在的。在简单电路中，电流的实际方向是很容易判别的，但在分析和计算较为复杂的电路时，往往事先难于判断某支路中电流的实际方向，有时电流的方向还随时间而变（如正弦电流），在电路图中也无法用一个固定的箭标来表示它的实际方向，因此，我们在分析和计算电路时，常可任意选定某一方向为电流的参考方向，或称为正方向，如图 1.2.1 所示。

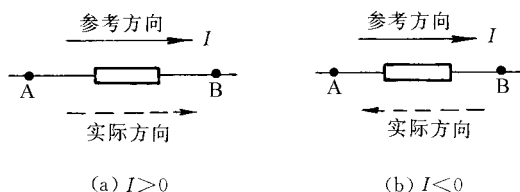


图 1.2.1 电流的参考方向

需要强调的是，所选的电流参考方向并不一定与电流的实际方向相同。如果电流的参考方向与实际方向相同，这里电流 I 的值为正；若电流的参考方向与实际方向相反时，电流 I 就定为负值，如图 1.2.1 所示。因此，只有当参考方向选定以后，电流才可成为一个代数数量，这时讨论电流的正负才有意义，而后根据电流的正负就可以确定电流的实际方向。

电流的参考方向除用箭标表示外，还可以用双下标表示，图 1.2.1 中就可由 I_{AB} 表示电流的参考方向是由 A 流向 B，这和图中的示意是相同的；若选参考方向为由 B 流向 A，则为 I_{BA} 。 I_{AB} 和 I_{BA} 两者间相差一个负号，即

$$I_{AB} = -I_{BA} \quad (1.2.3)$$

本书电路图中所标的电流方向均是指参考方向。对于电路的分析和计算来说，注明参考方向是非常重要的，我们必须养成在分析电路时首先标出有关电量的参考方向的习惯。

1.2.2 电压、电动势及其参考方向

1. 电压和电动势

在图 1.2.2 中，设 a 和 b 是电源的两个电极， a 带正电、 b 带负电，则在 a 、 b 间产生电场，其方向由 a 指向 b 。若用导体（联结线和负载）将 a 、 b 联结起来，则在电场力的作用下，正电荷由 a 经外电路流向 b ，电场力

对正电荷做了功。为了表明电场力对电荷做功的能力，我们引入了电压这一物理量，它可表述为： a 、 b 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从电场内的 a 点移动到 b 点所做的功。另外我们还规定电场力对单位正电荷从电场内的 a 点移动至无限远处所做的功称为 a 点的电位 V_a ，因为在无限远处的电场为零，故其电位也为零。由此可见， a 、 b 两点间的电压也就是 a 、 b 两点间的电位差，即有

$$U_{ab} = V_a - V_b \tag{1.2.4}$$

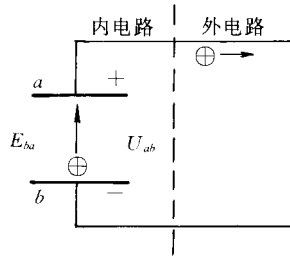


图 1.2.2 电荷的回路

为了维持恒定的电流不断地在电路中通过，则必须使 a 、 b 两点间的电压保持恒定，因此就需要有一种外力来克服电场力的阻碍，使得通过外电路不断到达 b 极上的正电荷经内电路而流向 a 极。电源就能产生这种外力，我们有时称之为电源力。电动势 E 这个物理量就是用来衡量电源力对电荷做功的能力，电源的电动势 E_{ba} 在数值上就等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经过电源内部移到高电位端 a 所做的功。在电源力的作用下，电源不断地把其他形式的能量转换为电能。

在国际单位制中，若电场力将 1 C 的正电荷从电场内 a 点移动到 b 点所做的功为 1 焦耳 (J) 时，则定义 a 、 b 间的电压为 1 伏特 (V)。

电压、电位和电动势的单位都是伏特，简称伏 (V)，有时还需用千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 (μV) 作单位。

2.. 电压和电动势的参考方向

对于电压、电动势的实际方向，我们首先作如下的规定：

电压的实际方向规定为由高电位端指向低电位端，即为电位降低的方向；而电动势的实际方向是指在电源内部由低电位端指向高电位端，即为电位升高的方向。

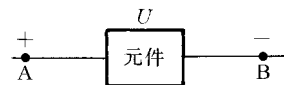


图 1.2.3 电压的参考方向

在电路图中所标的电压 U 和电动势 E 的方向都是指它们的参考方向。电压的参考方向是

任意指定的，在电路图中，电压的参考方向用 +、- 极性来表示，正极指向负极的方向就是电压的参考方向，如图 1.2.3 所示。

有时为了图示方便起见，也可以用双下标表示，如 U_{AB} 就表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B 。

对于电动势 E 的参考方向,它也可以分别用 +、- 极性、双下标来表示。由于我们在前面对电压和电动势的实际方向作过一些规定,因此,在电路中标明电动势 E 的参考方向时,我们要注意区别它和电压 U 的参考方向间的不同的内在含义。例如在图 1.2.4 中,电压 U 的参考方向和实际方向一致,故为正值;电压 U' 的参考方向与实际方向相反,故 U' 为负值;在电源内部,由于此时电动势 E 的参考方向是由低电位端指向高电位端,这和规定的电动势的实际方向相同,故 E 的值为正值。

在图示的闭合电路中,当电流流通时会在电源的内阻 R_S 上产生 0.2 V 的电压降,故这时端电压 U 为 2.8 V 。

我们今后在列写电路方程时,一定要弄清电压和电动势的不同概念,不要造成混淆和错误。

在分析电路中,电压和电流的参考方向的选定本是独立无关的,但有时为了分析问题方便起见,我们常把两者的参考方向取为一致,如图 1.2.5 所示。

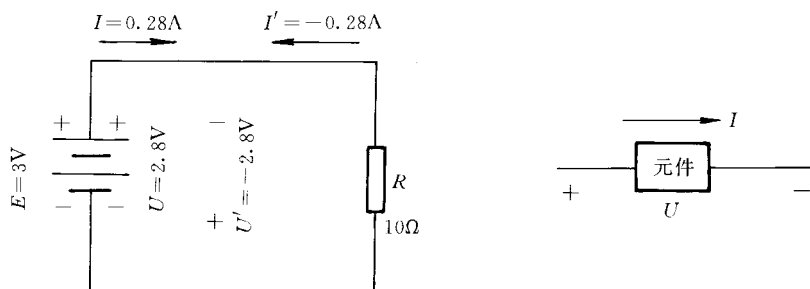


图 1.2.4 电流、电压及电动势的参考方向 图 1.2.5 电压和电流的关联参考方向

我们把电压 U 和电流 I 的这种参考方向称为关联参考方向。如果 U 和 I 的参考方向选得相反时,则称为非关联参考方向。

1.2.3 功率与能量

功率和能量是电路中的两个重要的物理量。下面我们以直流电流为例,简单讨论一下这两个物理量的基本概念。

1. 功率

功率定义为单位时间内能量的变化,也就是能量对时间的导数。即

$$p = \frac{dW}{dt} \quad (1.2.5)$$

在直流电路中，若电路中某元件两端电压和其中的电流已求得，则此元件的功率就可以计算出来，此时功率用大写字母 P 表示。

当电压 U 和电流 I 采用关联参考方向时，有

$$P = UI \quad (1.2.6)$$

若算得 $P > 0$ ，这说明是电场力对电荷做功，表明元件此时是在吸收或者说是消耗功率，它在实际电路中起负载作用；如果 $P < 0$ ，则说明是外力对电荷做功，这时元件是在产生或者说是释放功率，它在实际电路中起电源作用。

反之，当 U 和 I 取非关联参考方向时，如果仍然规定元件消耗功率时 $P > 0$ ，产生功率时 $P < 0$ ，则功率的计算公式应相应改为

$$P = -UI \quad (1.2.7)$$

关于这个问题，我们也可直观地根据电压和电流的实际方向来确定某一电路元件是电源还是负载：

如 U 和 I 的实际方向相反，电流从电压实际极性的高电位端流出，则表明是产生功率，此元件为电源。

如 U 和 I 的实际方向相同，电流从电压实际极性的高电位端流入，则表明是消耗功率，此元件为负载。

若电压的单位为伏，电流的单位为安，则功率的单位为瓦特，简称瓦 (W)，有时还可用千瓦 (kW)、毫瓦 (mW) 作单位。

2.. 电能

从前面的分析可看出，功率 P 是能量的平均转换率，有时我们也称之为平均功率。对于发电设备（电源）来说，功率是单位时间内所产生的电能；对于用电设备（负载）来说，功率就是单位时间内所消耗的电能。

如果用电设备功率为 P ，使用的时间为 t ，则该设备消耗的电能

$$W = PT = UIt \quad (1.2.8)$$

若功率的单位为瓦 (W)，时间的单位为秒 (s)，则电能的单位就为焦耳 (J)。当功率的单位为千瓦 (kW)，时间的单位为小时 (h)，则电能的单位就是千瓦·小时 (kW·h)，俗称“度”。一度电就相当于一千瓦小时的电能。

$$\begin{aligned} 1 \text{度} &= 1 \text{kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{W} \times 3600 \text{s} \\ &= 3600000 \text{J} = 3.6 \times 10^6 \text{J} \end{aligned}$$

我们在前述已陆续提到了电路中的一些基本物理量及其单位，但在实际应用中有时感到这些单位太大或太小，使用不便，因此，我们常在这些单位前加上表 1.2.1 所示的词头，用来表示这些单位乘以 10^n 后所得的辅助

单位，例如

$$1 \text{ 毫安 (mA)} = 1 \times 10^{-3} \text{ 安 (A)}$$

$$1 \text{ 微秒 } (\mu\text{s}) = 1 \times 10^{-6} \text{ 秒 (s)}$$

$$1 \text{ 兆瓦 (MW)} = 1 \times 10^6 \text{ (W)}$$

部分国际制词头

表 1.2.1

词 头		皮 可	纳 诺	微	毫	千	兆	吉 咖	太
符 号	中 文	皮	纳	微	毫	千	兆	吉	太
	国 际	p	n	μ	m	k	M	G	T
因 数		10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}

3. 功率的平衡

电路在实际工作时，各电源元件产生或发出的功率之和必定等于各负载元件吸收或消耗的功率之和，这就是功率的平衡。从能量的角度来看，也可以说各电源元件产生或发出的电能之和必定等于各负载元件吸收或消耗的电能之和，这就是电能量的守恒。电能不可能自生自灭，电源产生或发出的电能必定可以通过其他的元件和途径加以吸收或消耗。因此，当我们分析一个电路时，可以根据电路中各元件的电压和电流的参考方向计算出它们的电压和电流的数值，而后根据这些数值来判别电路中哪些元件是电源，哪些元件是负载，最后检验是否满足功率的平衡。

功率平衡的检验是判断计算结果正误的一个很重要的过程。

值得注意的是，我们今后在分析电路时可能会遇到多个相同或不同的电源形式，那么这多个“电源”元件是否在这个实际电路中就一定起电源作用呢？不一定，这同样要借助这些“电源”元件的电压和电流的值来判定。可能这多个“电源”元件在电路中全部实际起电源作用；也可能其中部分实际起电源作用，另外一些实际起负载作用；但决不可能全部都起负载作用，对这一点，大家要有明确的概念。

例 1.2.1 图 1.2.6 所示电路，五个元件代表电源或负载，有关元件的电压和电流的参考方向如图中所示，今通过测量已知：

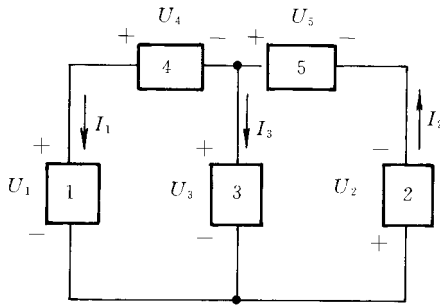


图 1.2.6

$$I_1 = -2 \text{ A}, I_2 = 3 \text{ A}, I_3 = 5 \text{ A}, U_1 = 70 \text{ V}$$

$$U_2 = -45 \text{ V}, U_3 = 30 \text{ V}, U_4 = 40 \text{ V}, U_5 = -15 \text{ V}$$

试计算各元件的功率，判断是电源还是负载，并检验功率的平衡。

解 对于元件 1、2、3，电压和电流为关联参考方向，则它们的功率分别为

$$P_1 = U_1 I_1 = 70 \times (-2) = -140 \text{ (W)}$$

$$P_2 = U_2 I_2 = (-45) \times 3 = -135 \text{ (W)}$$

$$P_3 = U_3 I_3 = 30 \times 5 = 150 \text{ (W)}$$

对于元件 4、5，电压和电流为非关联参考方向，则有

$$P_4 = -U_4 I_1 = -40 \times (-2) = 80 \text{ (W)}$$

$$P_5 = -U_5 I_2 = -(-15) \times 3 = 45 \text{ (W)}$$

由计算结果可知：

元件 1、2 功率为负，表示这两个元件产生功率，为电源；

元件 3、4、5 功率为正，表示这三个元件消耗功率，为负载。

电源发出的功率为： $140 + 135 = 275 \text{ (W)}$

负载消耗的功率为： $150 + 80 + 45 = 275 \text{ (W)}$

可见在一个电路中，电源产生的功率和负载消耗的功率总是平衡的。

1.2.4 基本物理量的额定值

各种电气设备的电流、电压及功率等物理量都有一个额定值，例如一盏电灯的电压是交流 220 V、功率为 60 W，这就是该灯泡的额定值。

额定值是设计和制造单位为了使产品在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值，是对产品的使用规定。只有按照额定值使用电气设备才能保证该设备安全可靠、经济合理地运行。额定值通常以下标 N 表示，

如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 、额定功率 P_N 等等。

1. 额定电流 I_N

大多数电气设备如电机、变压器等的寿命与其绝缘材料的耐热性能及绝缘强度有关。当电流过大时，由于电流的热效应过剧使得电气设备温度太高，就会加速绝缘材料的老化变质，如橡皮硬化、绝缘纸和纱带烧焦、漆包线的漆层脱落等，因而引起漏电或线圈短路，甚至烧坏设备。为了使电气设备在工作中的温度不超过规定的最高工作温度，就对其最大容许电流作了限制，通常把这个限定的电流值称为该电气设备的额定电流 I_N 。

2. 额定电压 U_N

电气设备的绝缘材料如果承受的电压过高，其绝缘性能也会受到损害，有可能产生绝缘击穿现象从而毁坏电气设备；另一方面，电压过高时，也会引起电流较大的增加，对于电气设备同样很不利。为了限制绝缘材料所承受的电压，对每一电气设备规定了限定的工作电压值，称之为电气设备的额定电压，用 U_N 表示。

当我们使用电气设备时，首先要看清楚电气设备的额定电压与电源电压是否相符。如果把 220 V 的灯泡接在 380 V 的线路上，因电压过高、电流过大就会立即将灯泡烧毁。当然，如果电气设备使用时的电压和电流低于其额定值，这也不能正常合理地工作，或者不能充分利用设备达到预期的工作效果。如接触器线圈的电压太低，衔铁就不能吸合；电动机电压太低则不能起动等等。

3. 额定功率 P_N

综合考虑到电气设备的额定电流和额定电压，我们对电气设备也规定了最大允许功率，称之为额定功率 P_N 。

电气元件或设备的额定值常标在铭牌上或写在说明书中，我们在使用前一定要认真看清并核对铭牌数据。

值得说明的是，电气设备在工作时的实际值尤其是电流及功率值不一定等于额定值，这要由电气设备及其负载的性质及大小而定。一般来说，对于诸如白炽灯、电阻炉之类的用电设备，只要在额定电压下使用，其电流和功率都将达到额定值，我们把电气设备工作在额定情况下的状态称为额定工作状态，简称为满载。但是对于另一类电气设备，如电动机、变压器等，虽然在额定电压下工作，但其电流和功率可能达不到额定值，我们称之为欠载，也可能超过额定值，简称过载。这是因为电动机的电流和输