

高等专科学校教材

电 工 学

郭联梅 李晋生 主编



兵器工业出版社

TM1
126

电 工 学

郭联梅 李晋生 主编



#IB0315049

兵器工业出版社

内容简介

本书是根据《高等学校工程专科电工学课程教学基本要求》编写的,适用于高等学校工程专科非电类专业。

本书包括“电工技术”和“电子技术”两部分内容。根据高等学校工程专科是培养技术应用型人才的特点和国家教委对工程专科基础理论教学以应用为目的,以必须够用为度的要求,本书尽量减少数理论证,以掌握概念、强化应用、培养技能为教学重点。

书中有较多的例题,每章后有小结和习题,书末附有部分习题答案以供参考。

图书在版编目(CIP)

电工学/郭联梅,李晋生主编. —北京:兵器工业出版社,1997.6

ISBN 7-80132-169-3

I. 电… II. 郭… III. 电工学-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97) 第 03855 号

电 工 学

郭联梅 李晋生 主编

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

华北工学院印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.687 字数492千字

1997年3月第1版 1997年3月第1次印刷

印数:1—2000册 定价:18.5元

前 言

目前《电工学》教材大多适用于本科教学,而用于专科的教材较少。对高等学校工程专科而言,本科教材学时较多,理论验证较多,不适合专科教学,在这种情况下,我们编写了适合工程专科使用的《电工学》教材。

本书内容包括电路、电机与继电—接触器控制,安全用电及电子技术等五部分。电工测量部分的内容放在实验指导书中介绍,根据高等学校工程专科是培养技术应用型人才的特点,本书内容的基本理论以必须、够用为度,尽量减少数理论证,以掌握概念、突出应用、培养技能为教学重点。如电路部分重点介绍电路的基本概念,基本定律和基本分析方法;电机与控制及安全用电部分主要讨论变压器与异步电动机的外部特性、控制和使用及安全用电的基本常识。电子技术部分重点介绍电子器件的外部特性与功能及电子电路的定性分析与应用,如模拟电路以集成运算放大器的应用为核心;数字电路以实际的中规模数字集成部件的应用为主干。全书概念叙述清楚,深入浅出,通俗易懂。书中理论联系实际编写了较多的工程实例和例题。每章之后有小结和习题,书末附有部分习题答案,便于教学和自学。

本书的图形符号和文字均采用最新颁布的国家标准。考虑到不同专业对教材内容要求的差异及各校实际学时的不同,本书编写了少量加深拓宽的内容可供选学。

本书由华北工学院专科学校郭联梅编写第一、二、三、四、五、六、七、八章,李晋生编写第九、十、十一、十二、十三、十四章。

由于编者水平有限,缺点错误在所难免,殷切希望使用本书的老师和同学们批评、指正,以便今后修订提高。

编者

1996年6月

目 录

第一章 直流电路

§1 电路及其基本物理量	1
§2 电路模型	4
§3 电路的有载工作状态、开路与短路	9
§4 基尔霍夫定律	11
§5 叠加原理	14
§6 戴维南定理	16
§7 电路中电位的计算	17
§8 电路的暂态分析(简介)	18
小结	23
习题	24

第二章 正弦交流电路

§1 正弦电压和电流	27
§2 正弦量的相量表示法	30
§3 电阻、电感、电容元件的正弦交流电路	34
§4 基尔霍夫定律的相量形式	40
§5 电阻、电感、电容串联的正弦交流电路	41
§6 阻抗串联与并联的交流电路	46
§7 功率因数的提高	49
§8 谐振电路	51
小结	55
习题	57

第三章 三相电路

§1 三相电源	60
§2 三相负载的联接	63
§3 三相负载的功率	68
小结	69
习题	69

第四章 磁路与变压器

§1 磁路的基本概念	71
§2 交流铁心线圈	75
§3 变压器的用途和基本结构	77
§4 变压器的工作原理	78
§5 变压器的运行特性和额定值	82
§6 特殊变压器	84
小结	86

习题	87
第五章 异步电动机	
§1 三相异步电动机的基本结构	89
§2 三相异步电动机的工作原理	91
§3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	94
§4 三相异步电动机的使用	99
§5 单相异步电动机	106
小结	108
习题	109
第六章 直流电机简介	
§1 直流电机的结构	111
§2 直流电机的工作原理	112
§3 直流电动机的分类和机械特性	113
§4 并(他)励电动机的起动、反转与调速	115
§5 直流测速发电机	118
小结	119
习题	119
第七章 异步电动机的继电接触器控制电路	
§1 常用低压控制电器	121
§2 鼠笼式异步电动机直接起动控制电路	126
§3 鼠笼式异步电动机的正反转控制电路	128
§4 鼠笼式异步电动机的行程控制和时间控制	129
小结	131
习题	131
第八章 安全用电	
§1 电流对人体的伤害及触电方式	133
§2 电气设备的接地与接零	134
§3 安全用电常识	137
小结	138
第九章 半导体二极管及整流电路	
§1 半导体的基本知识	139
§2 PN 结和半导体二极管	140
§3 单相整流电路	145
§4 滤波电路	151
§5 硅稳压管及其稳压电路	156
小结	158
习题	159
第十章 晶体管基本放大电路	
§1 晶体管	163

§ 2 共发射极放大电路	170
§ 3 静态工作点的稳定	182
§ 4 共集电极放大电路(射极输出器)	185
§ 5 功率放大电路	188
§ 6 多级放大电路	193
§ 7 放大电路中的负反馈	197
§ 8 差动放大电路	205
小结	210
习题	211
第十一章 集成运算放大器及其应用	
§ 1 概述	216
§ 2 集成运放的主要参数和特性	218
§ 3 运算放大器在信号运算方面的应用	220
§ 4 正弦波信号发生器	226
§ 5 使用运算放大器应注意的几个问题	232
小结	233
习题	234
第十二章 晶闸管和可控整流电路	
§ 1 晶闸管	238
§ 2 可控整流电路	241
§ 3 晶闸管的保护	244
§ 4 单结晶体管触发电路	246
小结	250
习题	250
第十三章 门电路与组合逻辑电路	
§ 1 分立元件门电路	252
§ 2 集成门电路	256
§ 3 组合逻辑电路	259
§ 4 编码器	265
§ 5 译码显示和数字显示	267
小结	270
习题	271
第十四章 触发器和时序逻辑电路	
§ 1 触发器	274
§ 2 寄存器	281
§ 3 计数器	283
§ 4 数字电路的应用	288
小结	291
习题	291

附录	295
附录一 常用电气图形符号和文字符号	295
附录二 常用电阻器、电容器的标称系列值	296
附录三 部分 S7 型 10kV 电力变压器技术数据表	297
附录四 部分 Y 系列三相异步电动机的技术数据	298
附录五 国产半导体器件型号命名法(国家标准 GB249-64)型号组成部分的符号及其意义	298
附录六 部分半导体器件的参数	299
附录七 集成电路型号命名法	301
附录八 部分集成运放的主要参数 ^①	302
部分习题答案	303
参考文献	308
208	298
209	299
210	301
211	302
212	303
213	308
214	308
215	308
216	308
217	308
218	308
219	308
220	308
221	308
222	308
223	308
224	308
225	308
226	308
227	308
228	308
229	308
230	308
231	308
232	308
233	308
234	308
235	308
236	308
237	308
238	308
239	308
240	308
241	308
242	308
243	308
244	308
245	308
246	308
247	308
248	308
249	308
250	308
251	308
252	308
253	308
254	308
255	308
256	308
257	308
258	308
259	308
260	308
261	308
262	308
263	308
264	308
265	308
266	308
267	308
268	308
269	308
270	308
271	308
272	308
273	308
274	308
275	308
276	308
277	308
278	308
279	308
280	308
281	308
282	308
283	308
284	308
285	308
286	308
287	308
288	308
289	308
290	308
291	308
292	308
293	308
294	308
295	308
296	308
297	308
298	308
299	308
300	308
301	308
302	308
303	308
304	308
305	308
306	308
307	308
308	308
309	308
310	308
311	308
312	308
313	308
314	308
315	308
316	308
317	308
318	308
319	308
320	308
321	308
322	308
323	308
324	308
325	308
326	308
327	308
328	308
329	308
330	308
331	308
332	308
333	308
334	308
335	308
336	308
337	308
338	308
339	308
340	308
341	308
342	308
343	308
344	308
345	308
346	308
347	308
348	308
349	308
350	308
351	308
352	308
353	308
354	308
355	308
356	308
357	308
358	308
359	308
360	308
361	308
362	308
363	308
364	308
365	308
366	308
367	308
368	308
369	308
370	308
371	308
372	308
373	308
374	308
375	308
376	308
377	308
378	308
379	308
380	308
381	308
382	308
383	308
384	308
385	308
386	308
387	308
388	308
389	308
390	308
391	308
392	308
393	308
394	308
395	308
396	308
397	308
398	308
399	308
400	308

第一章 直流电路

本章介绍电路的基本概念,包括电路的组成和作用、电路的基本物理量等,讨论电路的基本定律、定理和电路的工作状态以及常用的电路分析方法;对电路的暂态分析作了简要的介绍。这些内容都是分析与计算电路的基础。

§ 1 电路及其基本物理量

1.1 电路的组成和作用

电路是电流的通路。它是为了某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。电源、负载和中间环节是电路的组成部分。电路的结构形式和所完成的任务是多种多样的,按其功能不同,可分为电力电路(或称强电电路)和信号电路(或称弱电电路)。

电力电路主要用来实现电能的传输和转换,如发电、供电系统、电力拖动、电气照明等。电路中发电机和电池是电源,是供应电能的设备。电源将非电形式的能量转换为电能,如发电机将热能、机械能或电子能转换为电能。电池将化学能转换为电能。电灯、电动机、电炉等都是负载,是取用电能的设备,它们分别将电能转换成光能、机械能、热能等。变压器、输电线、开关等是中间环节,用来联接电源和负载,起传输、控制和分配电能的作用。手电筒就是一个最简单的电力电路,如图 1-1(a)所示。

电路的另一种作用是传递和处理信号。常见的例子如扩音机,其电路示意图如图 1-1(b)所示,它由话筒、放大器和扬声器三部分组成。话筒是信号源(是另一类电源),它将声音转换成电信号;放大器是中间环节,用来放大电信号;扬声器是负载,它将放大后的电信号还原成声音。信号的这种转换和放大,称为信号的处理。

根据电路中电源的种类不同,电路可分为直流电路和交流电路。直流电路由直流电源供电,理想直流电源的特点是其输出电压的大小和方向都不随时间变化。交流电路由交流电源供电,其电压、电流的大小和方向都是随时间而交变的。

1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电流是由电荷(带电粒子)有规则的定向运动而形成的。电流在数值上等于单位时间内通

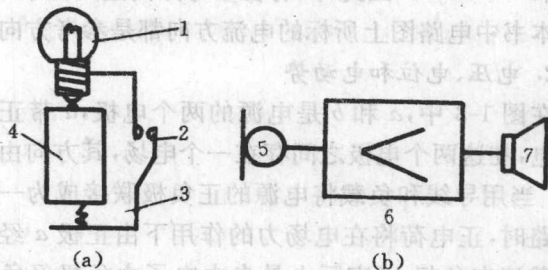


图 1-1 电路示意图

1—灯泡;2—开关;3—导线;4—干电池;
5—话筒;6—放大器;7—扬声器

过某一导体横截面的电荷量。

设在极短的时间 dt 内通过导体横截面 S 的微小电荷为 dq , 如图 1-2 所示, 则电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

上式表示电流是随时间而变化的, 是时间的函数。

如果电流不随时间而变化, 即 $\frac{dq}{dt}$ 是一常数, 则这种电流称为恒定电流, 简称直流。常用大写字母 I 表示, 即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 Q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

电流的计量单位是安培, 简称安(A)。当 1s 时间内通过导体横截面的电荷量为 1C(库仑)时, 则电流为 1A。在计量微小的电流时, 以毫安(mA)或微安(μA)为单位。1 mA 是千分之一安($10^{-3} A$), $1 \mu A$ 是百万分之一安($10^{-6} A$)。

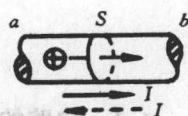


图 1-2 导体中的电流

我们习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向(实际方向)。在分析与计算较为复杂的直流电路时, 往往事先不能确定电流的实际方向; 对交流电, 其电流的方向是随时间而交变的, 在电路图上也无法用一个箭标来表示其实际方向。为此, 我们在分析与计算电路时, 常可任意选定某一方向作为电流的参考方向(在电路图中用箭标表示), 这时电流就成为一个代数量。如果电流的实际方向和所选电流的参考方向一致, 则此电流为正值; 如与所选电流参考方向相反, 则电流为负值。例如在图 1-2 所示导体 ab 中, 每秒钟有 5C 正电荷由 a 移到 b , 如我们选定实箭标所指方向为参考方向, 则 $I = 5A$; 如选定虚箭标所指方向为参考方向, 则 $I' = -5A$ 。因此, 只有在参考方向选定之后, 电流值才有正负之分。

本书中电路图上所标的电流方向都是参考方向。

2. 电压、电位和电动势

在图 1-3 中, a 和 b 是电源的两个电极, a 带正电, b 带负电, 在这两个电极之间存在一个电场, 其方向由 a 指向 b 。当用导线和负载将电源的正负极联接成为一个闭合电路时, 正电荷将在电场力的作用下由正极 a 经导线和负载流向负极 b (实际上是自由电子由负极经负载流向正极), 从而形成电流, 这就是电场力对电荷做了功。电压是衡量电场力做功能力的物理量。 ab 两点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点经外电路移到 b 点所做的功。

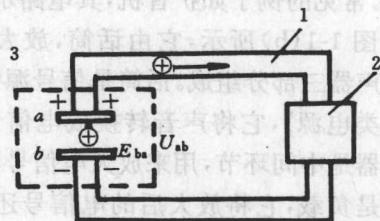


图 1-3 电压与电动势

1—导线; 2—负载; 3—电源

为了分析电路方便, 常指定电路中任意一点为参考点, 则电场力把单位正电荷从电路中某一点移到参考点所做的功, 称为该点的电位, 用大写字母 V 表示。电路中某点的电位, 即该点与参考点之间的电压。

根据上述电压、电位的定义, 可以证明, 电路中任意两点之间的电压就等于这两点间的电位之差, 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

式中 V_a 为 a 点的电位, V_b 为 b 点的电位。

在图 1-3 中电源的作用是维持负载中的电流, 保持 a 、 b 两极之间的电位差。电源中存在电源力。在正电荷由低电位端移到高电位端的过程中, 电源力做了功, 把非电能量转变为电能。

电动势是衡量电源力对电荷做功能力的物理量。电源的电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从低电位的 b 端经电源内部移到高电位 a 端所做的功。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。

电压的方向规定为由高电位端指向低电位端, 即电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端, 即电位升高的方向。

和电流一样, 电压和电动势也引入参考方向或参考极性的概念。在电路图中, 其参考极性用正负号或双下标表示, 如图 1-3 所示。

电压的单位是伏特(V)。当电场力把 1C 的电荷量从一点移到另一点所做的功为 1J 时, 则该两点间的电压为 1V, 计量微小的电压时, 则以毫伏(mV)或微伏(μ V)为单位。计量高电压时, 则以千伏(kV)为单位。

电动势和电位的单位也是伏特(V)。

3. 功和功率

图 1-4 是按图 1-3 画出的电路图, a 点和 b 点之间的电压为 U , 在时间 t 内电荷受电场力作用从 a 点经负载移到 b 点, 电场力所作的功 $W_{ab}=UQ$

因 $Q=It$, 故 $W_{ab}=UI t$

对应的电功率(简称功率)为

$$P_{ab} = \frac{W_{ab}}{t} = UI \quad (1-4)$$

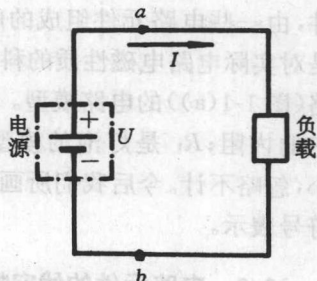


图 1-4 电路的功率

当电压的单位为伏(V), 电流的单位为安(A), 时间的单位为秒(s)时, 功的单位为焦耳(J), 功率的单位为瓦特, 简称瓦(W), $1\text{kW}=10^3\text{W}$ 。

电场力做功所消耗的电能是由电源提供的。在时间 t 内, 电源力将电荷 Q 从电源负极经电源内部移到电源正极。它所做的功和功率为

$$\begin{aligned} W_{ba} &= EQ = EIt \\ P_{ba} &= \frac{W_{ba}}{t} = EI \end{aligned} \quad (1-5)$$

根据能量守恒的观点, 在忽略电源内部能量损耗的条件下:

$$W_{ab}=W_{ba} \quad (\text{即 } U=E)$$

但端电压 U 和电动势 E 的作用方向相反。

从以上分析可以看出, 根据电压和电流实际方向可以确定电路元件的功率性质:

当 U 和 I 的实际方向相同, 电流从“+”端流入, 表明该元件取用(消耗)了功率, 是负载性质。

当 U 和 I 的实际方向相反, 电流从“+”端流出, 表明该元件发出了功率, 是电源性质。

如果电路图上所标电压和电流方向是参考方向, 则当同一元件上, U 、 I 参考方向一致时, $P>0$, 表示 U 、 I 的实际方向相同, 故该元件是负载性质, 消耗功率; 若 $P<0$, 表示 U 、 I 的实际方向相反, 故该元件是电源性质, 发出功率。如果 U 、 I 的参考方向选的不一致, 则 $P<0$, 表示

该元件是负载性质, $P > 0$, 表示该元件是电源性质。

§ 2 电路模型

2.1 电路模型

实际电路是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件组成的, 如发电机、变压器、电动机、电灯、电池、半导体器件及各种电阻器、电容器等, 它们的电磁性能都比较复杂。例如白炽灯, 它在通电工作时把电能转变成热能, 具有消耗电能的性质, 同时还会产生电场和磁场, 故也具有贮存电场能量和磁场能量的性质, 即电容和电感性。但由于电容和电感微小, 可忽略不计, 于是可以认为白炽灯是一电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和用数学描述, 将实际元件理想化(或称模型化), 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, 简称电路元件, 由一些电路元件组成的电路, 就是实际电路的电路模型, 它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。图 1-5 是手电筒电路(图 1-1(a))的电路模型。

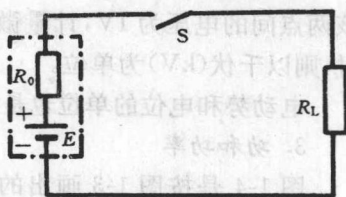


图 1-5 手电筒的电路模型

图中 E 是电池模型的电动势; R_0 是它的内阻; R_L 是灯泡的模型; S 表示手电筒的开关, 其电阻很小, 忽略不计。今后我们所画的电路图都是电路模型, 在电路图中, 各种电路元件用规定的图形符号表示。

2.2 电路元件的伏安特性

通常采用的电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源。前三种元件均不产生能量, 称为无源元件; 后两种元件是电路中提供能量的元件, 称为有源元件。

下面, 我们分析各电路元件的伏安特性。

1. 电阻元件

电阻元件是反映电流热效应这一物理现象的理想电路元件。在图 1-6(a)中电压 U 和电流 I 的参考方向相同, R 是线性电阻元件, 其电压电流之间的关系(简称伏安特性)是

$$U = RI \quad (1-6)$$

这个关系称为欧姆定律, 它表示线性电阻元件的端电压和流过它的电流成正比。比例常数 R 称为电阻。 R 是表示电阻元件特性的参数。图 1-6(b)是电阻的伏安特性曲线。

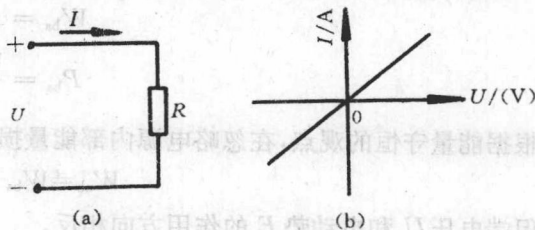


图 1-6 电阻元件

(a) 电路图; (b) 伏安特性

R 的计量单位是欧姆, 简称欧(Ω), 较大的计量单位有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)。习惯上我们称电阻元件为电阻, 故“电阻”这个名词既表示电路元件, 又表示元件的参数。

电阻元件取用的功率为

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

上式说明:不论 U 、 I 是正值或负值, P 总是大于零,电阻元件总是取用电功率,与电压、电流的实际方向无关。因而电阻是一种消耗电能、并把电能转变为势能的元件。

工程上常利用电阻器来实现限流、分压。对各种电热器件如电阻炉、电烙铁、白炽灯等,由于其电感、电容很小,而认为它们是只具有消耗电能特性的电阻元件。

2. 电感元件

电感元件是反映电流周围存在磁场,贮存磁场能量这一物理现象的理想电路元件。

根据电磁感应定律,电流 i 通过电感元件 L 时,将在线圈周围产生磁场。当电流 i 变化时,磁场也随之变化,并在线圈中产生自感电动势 e_L ,如图 1-7 所示。

在各电量参考方向一致的情况下

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

由于
故

$$u = -e_L$$

$$u = L \frac{di}{dt} \quad (1-8)$$

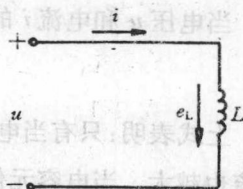


图 1-7 电感元件

上式表明:电感元件两端的电压,与它的电流对时间的变化率成正比。比例常数 L 称为电感,它是表征元件特性的参数。当 u 的单位为伏(V), i 的单位为安(A)时, L 的计量单位为亨利,简称亨(H),较小的计量单位有毫亨(mH)、微亨(μ H)。习惯上我们常把电感元件称为电感,故“电感”这个名词既表示电路元件,又表示元件的参数。

由式(1-8)可知,当 L 中流过稳定的直流电流 I 时, $\frac{dI}{dt} = 0$,故 $u = 0$,这时电感元件相当于短路,这是因为直流电流 I 产生的磁场是恒定不变的,不会在线圈中产生自感电动势, $e_L = 0$ 。

从式(1-8)还可看到,电感元件中的电流 i 不能跃变,因为如 i 跃变,则 $\frac{di}{dt}$ 为无穷大,电压 u 也应为无穷大,而这实际上是不可能的。

当 u 、 i 参考方向一致时,电感元件的功率

$$p = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-9)$$

在 t 时刻电感元件中贮存的磁场能量为

$$W_L = \int_0^t p dt = \int_0^t u i dt = \int_0^i L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1-10)$$

当电流为直流时

$$W_L = \frac{1}{2} L I^2 \quad (1-11)$$

式中 W_L (W_i) 的单位是焦耳(J)。

上式说明:电感元件在某时刻贮存的磁场能量与该时刻流过元件的电流的平方成正比。电感元件不消耗能量,是一种具有贮存磁场能量的元件。

在工程上,各种实际的电感线圈如日光灯上用的镇流器,电子线路中的扼流线圈等,当忽略其线圈导线的电阻及匝间电容时,便可认为它们是只具有贮存磁场能量特性的电感元件。

3. 电容元件

电容元件是反映存储电荷产生电场、贮存电场能量这一物理现象的理想电路元件。在图 1-8 中, 电容器 C 是由绝缘介质分隔的两块金属极板构成。当在电容元件两端施加电压时, 两块极板上将出现等量的异性电荷, 并在两极板间形成电场。电容器极板上所存储的电量 q , 与外加电压 u 成正比, 即

$$q = Cu \quad (1-12)$$

式中比例常数 C 称为电容, 它是表征电容元件特性的参数。当电压的单位为伏(V), 电量的单位为库仑(C), 则电容的计量单位为法拉(F), 较小的计量单位为微法(μF)或皮法(pF)。电容元件简称电容。“电容”这个名词既表示电路元件, 又表示元件的参数。

当电压 u 和电流 i 的参考方向一致时

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-13)$$

图 1-8 电容元件

上式表明: 只有当电容元件两端的电压发生变化时, 电路中才有电流流过, 电压变化越快, 电流也越大。当电容元件两端施加直流电压 u 时, 因 $\frac{du}{dt} = 0$, 故电流 $i = 0$, 因此, 电容元件对于直流稳态电路相当于断路, 即电容有隔断直流的作用。

从式(1-13)可以看到, 电容两端的电压不能跃变, 因为如果电压跃变, $\frac{du}{dt}$ 为无穷大, 电流 i 也为无穷大, 对实际电容器来说, 这是不可能的。

在 u, i 参考方向一致时, 电容元件的功率

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

在 t 时刻电容元件存储的电场能量为

$$W_c = \int_0^t p dt = \int_0^t u i dt = \int_0^t C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-15)$$

当电压为直流电压 U 时

$$W_c = \frac{1}{2} C U^2 \quad (1-16)$$

式中 W_c (W_c) 的单位是焦耳(J)。

上式说明: 电容元件在某时刻存储的电场能量与元件在该时刻所承受的电压的平方成正比。故电容元件不消耗能量, 是一种贮存电场能量的元件。

在工程上, 各种实际的电容器常以空气、云母、绝缘纸、陶瓷等材料作为极板间的介质。当忽略其漏电阻和引线电感时, 可以认为它是只具有贮存电场能量特性的电容元件。

4. 理想电压源

理想电压源又称恒压源, 它是一种能维持恒定输出电压的理想的电源元件。图 1-9

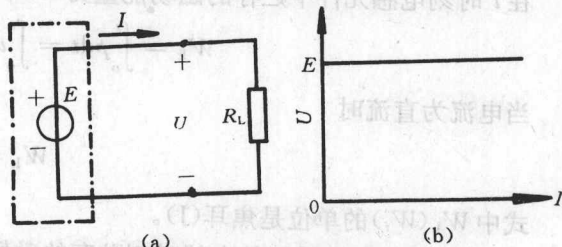


图 1-9 理想电压源

(a) 电路图; (b) 伏安特性

是理想电压源的电路符号和伏安特性曲线。由伏安特性可见, 理想电压源的两个端钮上电压、

电流关系为

$$U = E(U_s)$$

(1-17)

而 I 决定于外电路。

即不论输出电流如何变化,其输出电压恒等于电源电动势。

实际电源内部不可能没有内阻,故上述理想电压源是理想情况,实际上是不存在的。但是,如果一个电源的内部能量损耗很小,工作时能输出基本恒定的电压,如实验室用的稳压电源,就可认为是恒压源。

【例 1-1】 求图 1-10 所示电路的电流 I 和电压 U 。

解 在图(a)所示电路中,

$$I = 0, U = 6V;$$

在图(b)所示电路中,

$$I = \frac{6}{2} = 3A; \quad U = 6V;$$

在图(c)所示电路中,

$$I = \frac{6}{6} = 1A; \quad U = 6V;$$

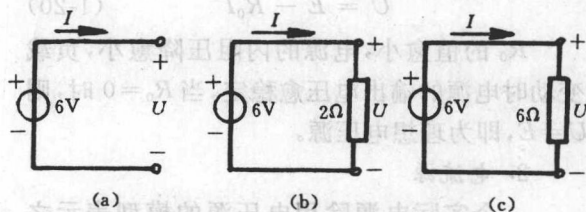


图 1-10 例 1-1 的电路

5. 理想电流源

理想电流源是一种能产生和维持一定输出电流的理想电源元件,又称为恒流源。 I_s 称为理想电流源的电流或电激流。图 1-11 是理想电流源的符号和伏安特性曲线,其电压、电流关系为

$$I = I_s \quad (1-18)$$

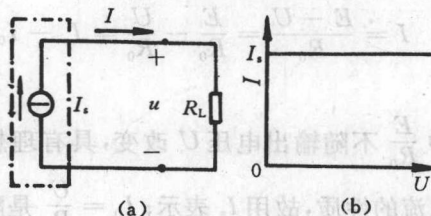


图 1-11 理想电流源

端电压 U 决定于外电路

(a) 电路图; (b) 伏安特性

和理想电压源一样,理想电流源实际上也是不存在的,如果一个电源的内阻较负载电阻为大,即 $R_0 \gg R_L$ 时,则 $I \approx I_s$,可认为是理想电流源。

【例 1-2】 求图 1-12 所示电路中的电流 I 和电压 U 。

解 在图(a)所示电路中, $I = 5A; U = 0$;

在图(b)所示电路中, $I = 5A; U = 2 \times 5 = 10V$;

在图(c)所示电路中, $I = 5A; U = 4 \times 5 = 20V$ 。

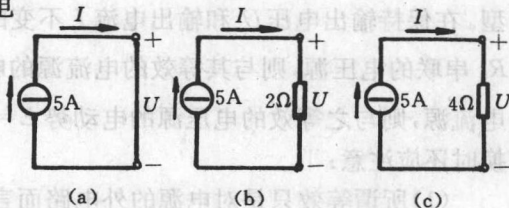


图 1-12 例 1-2 的电路

2.3 实际电源的电路模型

1. 电压源

一个实际电源在工作时其内部损耗不可能等于零,实际电源的特性可以用其电压电流关系来描述。图 1-13(a)所示电路是测一实际电源伏安特性的实验电路。当 $I = 0$ 时, $U = U_{oc}$; $I = I_B$ 时, $U = U_B$ 。实验表明:当电流 I 增大时,实际电源的端电压 U 将随之下降,其伏安特性是一条向下倾斜的直线,如图 1-13(b)所示。此直线的方程是

$$U = U_{oc} - R_0 I \quad (1-19)$$

式中 U_{oc} 是电流为零时电源的端电压,称为开路电压。 R_0 为电源的内电阻,可由实验数据 U_{oc} 、

U_B 及 I_B 求得:

$$R_0 = \frac{U_{oc} - U_B}{I_B}$$

用一个电动势 $E = U_{oc}$ 的理想电压源与电阻 R_0 串联的电路, 可以作为上述实际电源的电路模型, 称为电压源模型, 简称电压源, 如图 1-14(a) 所示(图中 R_L 为负载等效电阻)。此电压源的伏安特性方程为

$$U = E - R_0 I \quad (1-20)$$

R_0 的值愈小, 电源的内阻压降愈小, 负载变动时电源的输出电压愈稳定。当 $R_0 = 0$ 时, $U = E$, 即为理想电压源。

2. 电流源

一个实际电源除用电压源的模型表示之外, 还可以用另一种电路模型表示。

$$I = \frac{E - U}{R_0} = \frac{E}{R_0} - \frac{U}{R_0} = I_s - I_0$$

$$(1-21)$$

式中 $\frac{E}{R_0}$ 不随输出电压 U 改变, 具有理想电流源电流的性质, 故用 I_s 表示; $I_0 = \frac{U}{R_0}$ 是随输出

电压 U 而变化的, 故该实际的等效电路如图 1-14(b) 所示。即在理想电流源 I_s 两端并联 R_0 , 这就是电流源的模型, 简称电流源。 $I_s = \frac{E}{R_0}$ 是电源的短路电流。显然, R_0 的值愈大, 对 I_s 的分流作用愈小, 当负载变动时, 电源的输出电流就愈稳定。当 $R_0 = \infty$ 时, $I = I_s$, 即理想电流源。

图 1-14(a) 所示的电压源和图 1-14(b) 所示的电流源都可作为同一个实际电源的电路模型。在保持输出电压 U 和输出电流 I 不变的条件下, 相互之间可以进行等效变换。如已知 E 与 R_0 串联的电压源, 则与其等效的电流源的电流为 $I_s = \frac{E}{R_0}$, R_0 与 I_s 并联; 如已知 I_s 与 R_0 并联的电流源, 则与之等效的电压源的电动势 $E = R_0 I_s$, 而 R_0 与 E 串联。在电压源与电流源作等效变换时还应注意:

(1) 所谓等效只是对电源的外电路而言, 即等效后外电路的电压、电流分别与等效前相等, 对电源内部则是不等效的。例如在图 1-14 中, 当外电路开路时, $I = 0$, $U = E = I_s R_0$, 电压源内阻 R_0 上不损耗功率, 而电流源内部仍有电流 I_0 , 故 R_0 上有功率损耗。当外电路短路时, $U = 0$, $I = I_s = \frac{E}{R_0}$, 电压源内部有损耗, 而电流源的 R_0 被短路, 故电流源内部无损耗。

(2) 要注意电源的极性。等效电源供给外电路的电流方向应相同, 故 I_s 的方向与电动势 E 的方向(由低电位指向高电位)应互相一致。

(3) 理想电压源与理想电流源不能相互等效变换, 因为理想电压源的端电压 $U = E$ 是恒定的, 而电流 I 决定于外电路负载 R_L , 是不恒定的。而理想电流源的电流 $I = I_s$ 是恒定的, 电压 U 决定于外电路负载 R_L , 是不恒定的, 故两者不能等效变换。

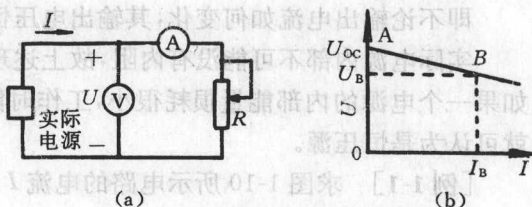


图 1-13 实际电源的伏安特性

(a) 实验电路;

(b) 伏安特性

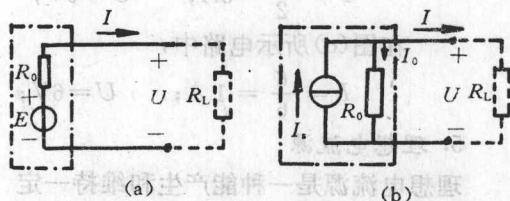


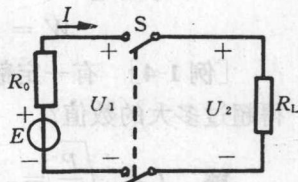
图 1-14 电压源与电流源

(a) 电压源;

(b) 电流源

§ 3 电路的有载工作状态、开路与短路

电路有三种工作状态,即有载、开路和短路。今以图 1-15 所示最简单的直流电路为例来讨论电路的各种工作状态。图中电动势 E 和内电阻 R_0 串联组成电压源, U_1 是电源端电压, 开关 S 和导线联接电源和负载。 U_2 是负载端电压, R_L 是负载等效电阻。



3.1 有载工作状态

开关 S 闭合时, 电路中有电流通过, 电源输出电功率, 负载取用电功率, 这就是电路的有载工作状态。电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-22)$$

通常电源的电动势 E 和内阻 R_0 是一定的, 由上式可见, 负载电阻 R_L 减小时, 电流 I 增大。

电源的端电压

$$U_1 = E - R_0 I \quad (1-23)$$

若忽略导线电阻, 则负载端电压 $U_2 = U_1$ 。若负载电阻减小, I 增大, 电压 U_1 和 U_2 都将减小。

将式(1-23)各项乘以电流 I , 得功率平衡式

$$U_1 I = EI - R_0 I^2$$

或

$$P = P_E - \Delta P$$

式中 $P_E = EI$ 是电源产生的功率;

$\Delta P = R_0 I^2$ 是电源内阻上消耗的功率;

$P = U_1 I = U_2 I$ 是负载取用的功率。

电源内阻 R_0 及负载电阻 R_L 所消耗的电转换成热能散发出来, 使电源设备和各种用电设备的温度升高。电流越大温度越高。电流过大, 设备的绝缘材料会因过热而老化, 缩短使用寿命, 甚至损坏。另外, 当设备上的电压过高时, 一方面会使电流增大而发热, 另一方面也可能使设备的绝缘材料被击穿而损坏。反之, 如电压过低, 则将使设备不能正常工作。

为了保证电气设备和器件能安全、可靠和经济地工作, 制造厂规定了每种设备和器件在工作时所允许的最大电流、最高电压和最大功率, 称为电气设备的额定值, 常用下标符号 N 表示, 如额定电流 I_N 、额定电压 U_N 、额定功率 P_N 等。这些额定值通常标记在设备的铭牌上。

电气设备和器件应尽量工作在额定状态, 这种状态又称满载。电流和功率低于额定值的工作状态叫轻载, 高于额定值的工作状态叫过载。有些用电设备如电灯、电炉等, 只要在额定电压和额定功率下使用, 其电流也符合额定值, 故只标明 U_N 和 P_N 。另一类电气设备如变压器、电动机等, 在加上额定电压后, 其电流和功率取决于它所带负载的大小, 例如电动机所带的机械负载过大时, 其定子绕组中电流增大, 电动机将会由于电流过大而发热, 甚至烧毁。故在一般情况下, 设备不应过载运行。

【例 1-3】有一只 220V、60W 的电灯, 接在 220V 的电源上, 试求通过电灯的电流和电灯在 220V 电压下工作的电阻。如果此灯每晚工作 3h, 问一个月(30 天)消耗多少电能?

解 工作电流 $I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} = 0.273A$