

电工技术

主编 刘振东 王士铃 李文峰

解放军出版社

电工技术

刘振东 王士铃 李文峰 主编

解放军出版社出版、发行

(北京平安里三号 100035)

新华书店经销

石家庄陆军学院印刷厂印刷

787 × 1092毫米16开本 14印张 346千字

1988年11月第1版 1988年11月(石家庄)第1次印刷

印数 000,001 — 12000

ISBN 7-5065-0600-9/TM·6

定 价: 5.50 元

内容提要

本套教材（《电工技术》和《电子技术》）是根据高等学校工科基础课程指导委员会制定的、国家教委批准的、高等工业学校本科非电类“电工技术”和“电子技术”的基本要求及近年来这两门学科的新发展编写的。

《电工技术》主要内容：直流电路、正弦交流电、电路的频率响应、电路中的过渡过程、磁路与变压器、异步电动机、直流电动机、自动控制、安全用电、CAI——计算机辅助教学。

《电子技术》主要内容：二极管及二极管整流电路，半导体三极管与单管放大器，多级放大电路及负反馈放大电路，振荡，集成运算放大器，直流稳压电源，可控硅及可控整流电路，数字电路基础，触发器，数字逻辑部件。

为便于自学，各章都配有一定数量的例题及习题与思考题。

本套教材可供大专院校，电视大学，职工大学，函授大学非电各专业、管理专业教学用，亦可供有关工程技术人员学习参考。

前 言

《电工技术》、《电子技术》是军事院校两门重要的技术基础课。为了进一步贯彻近年来军事院校教学改革精神，反映“电工技术”、“电子技术”的新发展，参照高等学校教学指导委员会制定的、国家教委批准的、高等工业学校本科非电类《电工技术》、《电子技术》教学基本要求，编写了这套教材。它具有以下几个特点：

1. 内容精炼，重点突出，把电路的基本概念、基本理论、分析计算方法及元器件的外特性作为研究重点。同时，注意了理论联系实际，编选了部分实用电路加以分析研究。

2. 考虑到近年来“电工技术”、“电子技术”的新发展，特别是集成电路、电子计算机的飞速发展，更新内容是十分必要的。本套教材适当地减少了半导体原理、分立元件电路的内容，加强了线性集成电路与数字集成电路的内容，新增加了开关式直流稳压电源、不间断供电电源、计算机辅助分析等内容。

本教材是由石家庄陆军学院发起和组织，有军械工程学院、蚌埠坦克学院、信阳陆军学院、长春空军第一基础学校共同参加编写。

参加全书编写工作的有石家庄陆军学院的刘振东、刘宝春，军械工程学院的王士铃、陆宜昌、朱素清，蚌埠坦克学院的李文峰、陈国祯、邱锦瑞、朱鸣宇、冯根生，信阳陆军学院的段光华、张祥河，长春空军第一基础学校的孙杰等同志。

参加《电工技术》主要审稿工作的有装甲兵指挥学院的韩风午，南昌陆军学院的李国吉，石家庄陆军学院的党筱来。参加内容纲目讨论及审稿的有太原海军电子工程学院的赵金峰、伍秋明，沈阳炮兵学院的周祖亨，国防科工委技术指挥学院的王庆臣，机械工程学院的梁卫东，石家庄陆军学院的孙光运等同志。

参加《电子技术》主要审稿工作的有石家庄陆军学院的张沛然，南昌陆军学院的王心一，装甲兵指挥学院的韩风午，参加内容纲目讨论及审稿的有石家庄陆军学院的安云鹏，太原海军电子工程学院的陈国宾，装甲兵指挥学院的魏治国，防化学院的翟东来，保定空军第二基础学校的李栓虎，中国人民警官大学的吴云瑞，宣化炮兵指挥学院的李建新等同志。

全书由刘振东、王士铃、李文峰主编。解放军出版社乐俊淮同志为本套教材的出版给予很多帮助。本套教材的全部插图是由司建贞、郭子岗清绘。

石家庄地区院校协作中心的同志对本教材的编审工作也给予了很多帮助。

对上述为本教材的编写工作给予大力支持和帮助的各院校领导及同志们，我们在此，一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，诚恳希望广大读者给予指正。

编者

于石家庄陆军学院

一九八八年五月二十八日

目 录

第一章 直流电路	1
1—1 电路	1
一、电路的组成	1
二、电路中常用的物理量	2
1—2 电源	4
一、独立电源	4
二、受控电源	7
1—3 支路电流法	10
一、克希荷夫电流定律	10
二、克希荷夫电压定律	11
三、支路电流法	11
1—4 回路电流法	12
1—5 节点电压法	15
1—6 叠加原理	19
1—7 等效电源定理	21
一、戴维南定理	21
二、诺顿定理	22
1—8 最大功率传输定理	23
1—9 非线性电阻电路的图解分析法	25
习题与思考题	27
第二章 正弦交流电	36
2—1 正弦交流电的表示方法	36
一、正弦交流电的基本概念	36
二、正弦交流电的相量表示法	38
2—2 理想元件正弦交流电路	41
一、电阻元件正弦交流电路	41
二、电感元件正弦交流电路	43
三、电容元件正弦交流电路	45
2—3 正弦交流电路的分析计算	47
一、 $R L C$ 串联电路	47
二、 $R L C$ 并联电路	49
三、混联电路	52
2—4 正弦交流电路的功率	53
一、瞬时功率	53

二、有功功率、无功功率和视在功率	54
三、提高功率因数	55
2—5 三相电路	57
一、三相交流电的产生	57
二、星形连接的三相负载	59
三、三角形连接的三相负载	62
四、负载不对称三相电路	63
五、三相功率	66
习题与思考题	68
第三章 电路的频率响应	74
3—1 非正弦周期电流(或电压)的谐波分析	74
3—2 低通滤波电路	78
一、 RC 串联低通滤波电路	78
二、 RL 串联低通电路	80
3—3 高通滤波电路	81
3—4 谐振与带通、带阻滤波电路	83
一、 RLC 串联带通滤波电路与串联谐振	83
二、 RLC 并联谐振电路	87
三、 RLC 串联带阻滤波电路	91
习题与思考题	92
第四章 电路中的过渡过程	94
4—1 概述	94
4—2 一阶线性电路的响应	95
一、一阶电路的微分方程及其解	95
二、 RL 一阶电路的响应	96
三、 RC 一阶电路的响应	99
4—3 三要素法	102
4—4 微分电路与积分电路	105
一、微分电路	105
二、 RC 耦合电路	106
三、积分电路	106
4—5 二阶电路的暂态响应	106
4—6 拉普拉斯变换	113
一、拉普拉斯变换(简称拉氏变换)的定义	113
二、简单函数拉氏变换的求法	113
三、拉氏变换的基本性质	114
四、拉普拉斯反变换	115
五、用拉普拉斯变换法(运算法)分析线性电路的暂态响应	117
六、拉氏变换应用举例	119

七、用运算法分析 $R L C$ 串联电路的完全响应	120
习题与思考题	122
第五章 磁路与变压器	126
5—1 磁路与铁芯线圈	126
一、磁路	126
二、交流铁芯线圈	129
5—2 变压器	131
一、变压器的工作原理	131
二、变压器绕组的极性	134
5—3 常用变压器	135
一、三相变压器	135
二、自耦变压器	135
5—4 电磁铁	136
习题与思考题	139
第六章 异步电动机	140
6—1 三相异步电动机的结构	140
6—2 三相异步电动机的工作原理	141
6—3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	144
一、旋转磁场	144
二、转子的感应电动势、电流与功率因数	144
三、异步电动机的电磁转矩与机械特性	146
6—4 三相异步电动机的起动与调速	148
一、起动方法	148
二、调速方法	150
6—5 三相异步电动机的制动	153
一、反接制动	153
二、发电反馈制动	153
三、能耗制动	153
6—6 三相异步电动机的额定值	153
6—7 三相异步电动机的控制电路	154
一、直接起动控制电路	154
二、正反转控制电路	154
6—8 单相异步电动机	156
习题与思考题	160
第七章 直流电动机	162
7—1 直流电动机结构与工作原理	162
一、直流电动机主要结构	162
二、直流电动机工作原理	162
三、直流电机分类	164

7—2	他励直流电动机机械特性	164
7—3	他励直流电动机的起动、反转与调速	165
一、	起动方法	165
二、	反转	166
三、	调速	166
	习题与思考题	167
第八章	自动控制	169
8—1	自动控制的基本概念	169
一、	开环控制系统	169
二、	闭环控制系统	169
8—2	传感器	172
一、	无源传感器	172
二、	有源传感器	173
8—3	控制电机	174
一、	伺服电动机	175
二、	测速发电机	178
三、	步进电动机	179
四、	自整角机	180
8—4	自动稳定系统	184
一、	转速负反馈自动稳定系统	184
二、	加热炉的恒温控制系统	184
8—5	随动系统	185
	雷达天线位置随动系统	185
8—6	自动控制系统的性能指标	186
一、	稳定性	186
二、	动作灵敏度	187
三、	稳态精确度	187
第九章	安全用电	189
1—1	电对人体的危害	189
一、	触电类型	189
二、	安全电压	189
三、	高频电磁场对人体的危害	190
四、	静电对人体的危害	190
9—2	接地与接零	190
一、	保护接地	190
二、	保护接零	190
9—3	雷电与防雷装置	192
一、	闪电过程和雷击的规律	192
二、	防雷装置	193

习题与思考题.....	195
第十章 C A I —计算机辅助教学.....	197
10—1 解线性方程组.....	197
10—2 非线性电路解法.....	201
10—3 正弦交流电.....	202
10—4 解二阶微分方程.....	203
附录.....	206
习题答案.....	209
参考书目.....	212

第一章 直流电路

直流电路是电路分析的基础。本章是在物理学的基础上进一步研究复杂直流电路的分析和计算方法。虽然讲的是直流电路，但得出的基本规律和分析方法，同样适用于交流电路。

1—1 电路

一、电路的组成

电路是电流的通路。是由许多电气元件（或电气设备）为了实现能量的输送和转换，或者为了实现信息的传递和处理而组合后的总称。一般由电源、负载和中间环节三个部分组成。电源是将化学能、机械能等非电能转换为电能的供电设备，或者是将一种形式的电能转换为另一种形式电能的供电设备。例如，各种发电机、稳压电源等。

负载是将电能转换为机械能、热能、光能等非电能的用电设备。例如，电灯、电动机、扬声器等。连接电源与负载的部分称为中间环节，是传递、控制电能或电信号的部分，包括连接导线、控制电器（如开关）和保护电器（如熔断器）等。

电路正常工作时，电源与负载连接成闭合回路，有电流通过负载，这种工作状态称为负载状态；若电源与负载断开，称为空载状态或开路状态；若电路两端被导线直接连通，则称为短路状态。短路时，电路中的电流很大，这个电流叫做短路电流。短路电流可能造成电源或其他器件损坏，所以必须防止短路事故的发生。为了防止短路引起大电流烧毁电源，通常在电路中安装熔断器或其他自动保护装置，一旦发生短路，能迅速切断电路，以保护电气设备和供电线路。

电源和负载等电气设备在工作时，电流、电压、功率都有一定的限额，这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的，称为电气设备的额定值。额定值通常在铭牌上标出。例如，一台直流发电机的铭牌上标有40千瓦、220伏、174安，这些就是它的额定值。使用时，必须遵守这些规定。如果超过额定值，将会引起电气设备损坏或者降低使用寿命。反之，如果电气设备使用时的电压与电流远低于其额定值，往往不能正常工作或不能充分地利用设备能力达到预期的工作效果。

在电路分析中，为了研究问题方便，常把一个实际电路用它的电路模型来代替。组成电路模型的元件都是能反映实际电路中元件主要物理特征的理想化元件。如白炽灯泡可以用理想电阻元件来代替；干电池可以用一个电压值恒定的理想电压源和一个电阻串联的组合来代替，日光灯镇流器用一个理想电感和一个电阻串联的组合来代替等。由于电路中的实际元件在工作过程中都和电磁现象有关，因此，有三种最基本的理想电路元件：表示只消耗电能（转变为热能、光能等）的理想电阻元件；表示将电能转变为电场能存贮、释放的理想电容元件；表示将电能转变为磁场能存贮、释放的理想电感元件。在一定条件下，代替一个实际电路的电路模型一

般是由理想电阻 R 、理想电容 C 、理想电感 L 、电压源 V 、电流源 I 等的某一组合构成。如图 1—1 为一工作着的日光灯电路模型（简称电路）。开关闭合状态电阻为零，电阻 R 代替日光灯管，虚线框内的电感 L 和电阻 R_0 的串联组合代替镇流器， $v(t)$ 代表正弦交流电源。

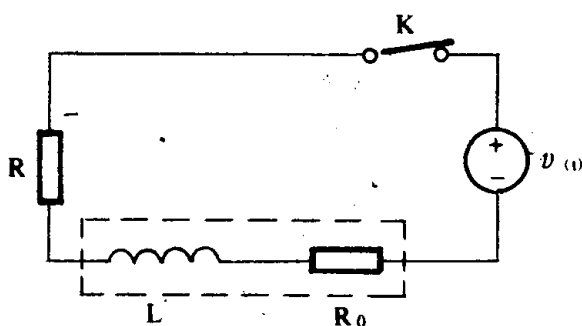


图 1—1 日光灯电路模型

二、电路中常用的物理量

在分析计算电路时，电流和电压是最常用的两个物理量。

在电场力或其他外力（如电磁力、化学力等）作用下，带电质点（电子或离子）作有规则的定向运动，便形成了电流。习惯上规定正电荷运动的方向为电流方向；电流的大小是以单位时间内通过导体横截面积的电量来衡量的，即

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

如果电流的大小和方向不随时间变化，即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ，则称为恒定电流，简称直流，用大写字母 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称为交流电流，用小写字母 i 表示。在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安（A）。计量微小电流时，以毫安（mA）或微安（ μA ）为单位，即

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

在电路分析中，电流的方向和大小一般用参考方向结合代数量来表示。例如，在图1—2所示电路中，若电流的实际方向是从 a 点流向 b 点，大小为5 A，要表示这个电流，既可以象图 1—2（a）那样标注参考方向，并写明 $I = 5 \text{ A}$ ，也可以象图 1—2（b）那样标注参考方向，但写明 $I = -5 \text{ A}$ 。就是说，电流实际方向与参考方向一致时，电流 I 为正值；电流实际方向与参考方向相反时，电流 I 为负值。

对于简单电路，电流实际方向根据电源极性很容易判断，当然可以直接标注实际方向，电流 I 的值自然为正值。然而，实际电路往往比较复杂，各支路电流的实际方向在分析计算以前不能预先知道，必须采用上述方法，标出参考方向（任意的）才能列出方程求解。因此，必须注意：电路图中标注的电流方向都是参考方向，不是实际方向，由最终求出电流值的正或负来表明实际方向与参考方向一致还是相反。

在电场力作用下，电荷移动形成电流的过程，也就是电场力对电荷做功的过程。衡量电场力做功能力的物理量是电压，用字母 V 或 v 表示（ V 表示直流电压， v 表示交流电压）。电

场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功

$$V_{ab} = \frac{W}{q} = \frac{\int_a^b \vec{F} d\vec{l}}{q} = \int_a^b \vec{\epsilon} \cdot d\vec{l} \quad (1-2)$$

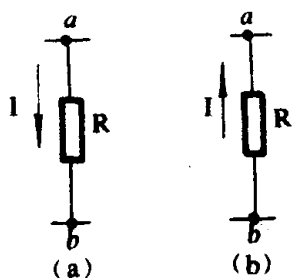


图 1—2 电流的参考方向

定义为 a 、 b 两点间的电压。

式中， W ——电场力所做的功；

F ——电场力；

ϵ ——电场强度。

在比较复杂的电路中，两点间电压的实际方向也

往往不能预先知道，电路图中也只标注电压的参考方向，实际方向要结合电压的正负值来表明。

电压的单位是伏特，简称伏（V）。还可以用千伏（KV），毫伏（mV），微伏（ μV ）作单位。即

$$1 \text{ V} = 10^3 \text{ mV} = 10^6 \mu \text{ V}$$

下面以图 1—3 所示 路为例，来说明电路中各点电位的计算方法。

为了确定电路中各点的电位，任选一参考点设它的电位为零。现以 a 点作为参考点，即 a 点的电位 $V_a = 0$ ，则其余各点电位可分别计算如下：

$$V_b = -IR_4$$

$$V'_c = V_b + E_1$$

$$V_c = V'_c - IR_1$$

$$V_d = V_c - IR_2 = E_2 + IR_3$$

$$V'_d = V_d - E_2 = IR_3$$

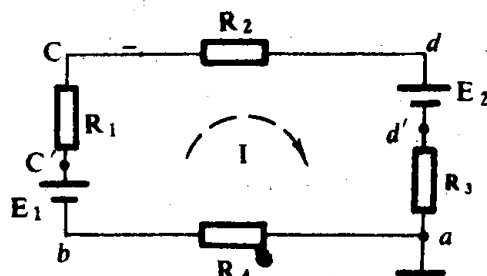


图 1—3 电位计算例图

参考点选的不同，各点电位也不同。在电子线路中，电源、输入信号和输出信号往往都有一个公共端，通常，把这一公共端作为零电位参考点。因此，画电路图时习惯上不画出电源及信号源的符号，而只在非公共端标出电压的极性和数值，如图 1—4 所示。

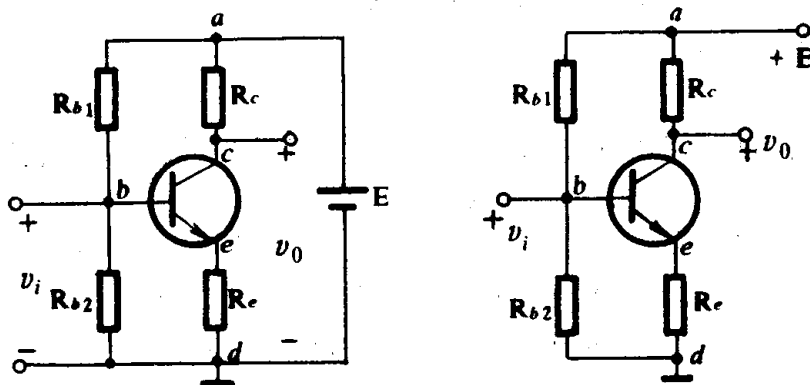


图 1—4 电路简化画法

例 1—1 在图 1—5 (a) 所示电路中,方框表示电路元件(电源或负载)。各电压和电流的参考方向如图中所示。今测得:

$$I_1 = 2\text{A}, I_3 = 3\text{A}, I_5 = -1\text{A}, V_1 = 4\text{V}, V_2 = 8\text{V}, V_3 = 4\text{V}, V_4 = 7\text{V}, V_5 = 3\text{V}$$

(1) 试标出各电流和电压的实际方向和极性;

(2) 判断哪些元件是电源? 哪些是负载?

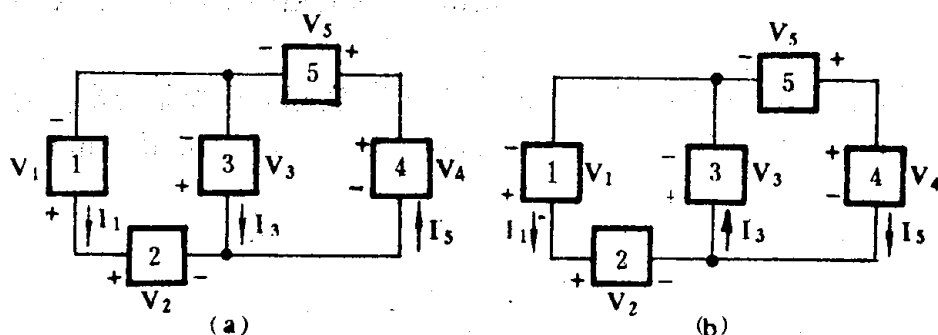


图 1—5 例 1—1 电路图

解: 测量结果表明, 凡电流和电压为正值者, 其实际方向和极性同图 (a) 中所给的参考方向一致; 凡电流和电压为负值者, 其实际方向和极性同图 (a) 所给参考方向相反。根据上述原则, 得到各电流的实际方向和电压的实际极性如图 (b) 所示, 把二者结合起来考察, 即可判别电源和负载:

元件 1 的电压极性为上负下正, 电流 I_1 从低电位通过元件内部流向高电位, 故元件 1 为电源。

同理, 可判断元件 5 也为电源。而通过元件 2 的电流 I_1 , 通过元件 3 的电流 I_3 以及通过元件 4 的电流 I_5 都是由高电位经过元件流向低电位, 故元件 2、3、4 为负载。

1—2 电源

电路分析中, 电源可分为独立电源和受控电源。受控电源因其控制量常为电压或电流, 故可有四种形式: 电流控制电流源; 电流控制电压源; 电压控制电流源和电压控制电压源。本节主要介绍这些电源的基本性质。

一、独立电源

独立电源, 常见的为独立电压源和独立电流源。习惯上“独立”两字可以省略。

(一) 电压源

这种电源, 它供给负载的是一个近似不变的电压, 而它的电流值将随负载的变化而变化。现以电池为例, 它是一个电压源。将电池接在电路中, 如图 1—6 所示。该电压源的电动势为 E , 内电阻为 R_0 通过开关 K 接于负载 R_L 上。不难看出, 随着负载 R_L 的变化, 电流 I 也相应变化。作为电压源它所供给的端电压为

$$V = E - IR_0 \quad (1-3)$$

随着 R_L 的变小, 引起 I 的增加, 导致了 V 的下降。这种随负载变化而引起电压源端电压的变化,

称为电压源的外特性。如图 1—7 所示。

如果电流 I 越大, 则电压源内阻压降 $\Delta V = E - V = IR_0$ 也越大, 电压源的端电压 V 下降

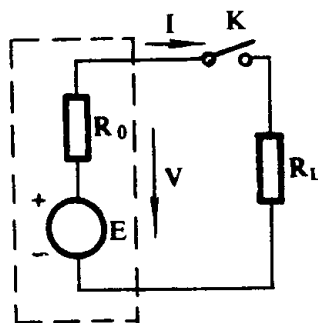


图 1—6 电压源电路

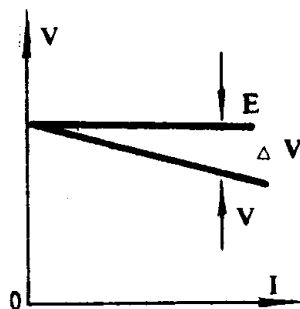


图 1—7 电压源外特性

越严重。如果, 电压源内阻 $R_0 = 0$ 或与负载电阻 R_L 相比可以略去不计, 那么电压源的端电压将是恒定的 ($V = E$), 称为理想电压源 (恒压源)。实际上, 理想电压源是不存在的, 但通常使用的电压源 (如稳压电源) 与理想电压源很近似。

理想电压源的基本性质:

(1) 理想电压源的电压 V 是定值, 或是给定的时间函数 $v(t)$, 而与流过它的电流无关;

(2) 理想电压源的电流是任意的, 这取决于与它连接的外电路。

(二) 电流源

这种电源提供给负载的是一个近似常量的电流。这一点不象电压源那样容易理解, 现用一个例子来说明这种现象。如图 1—6 所示电路中, 若 $E = 10$ 伏, 内电阻很大, $R_0 = 10^4$ 欧姆, 当负载电阻 R_L 由 1 欧姆变到 10Ω 再增加到 100Ω 时, 问电源提供的电流为多少? 电源两端电压又变化多少? 由图不难算出:

当 $R_L = 1\Omega$ 时,

$$I_1 = \frac{E}{R_0 + R_L} = \frac{10}{10000 + 1} = 9.999 \times 10^{-4} \text{ (A)}$$

$$V_1 = I_1 R_L = 9.999 \times 10^{-4} \text{ (V)}$$

当, $R_L = 10\Omega$ 时,

$$I_2 = 9.99 \times 10^{-4} \text{ (A)}$$

$$V_2 = 99.9 \times 10^{-4} \text{ (V)}$$

当 $R_L = 100\Omega$ 时,

$$I_3 = 9.9 \times 10^{-4} \text{ (A)}$$

$$V_3 = 990 \times 10^{-4} \text{ (V)}$$

可见, 不论负载电阻变为原来的 10 倍还是 100 倍, 而电源所供给的电流, 可以认为近似不变。但它的端电压由外电路决定。实际电源中, 其特性与电压源接近者较多, 而与电流源接近者较少。光电池、晶体管这类器件的工作特性, 是与电流源接近的。

电压源可以用一个电阻 R_0 和一个电动势 E 的串联模型来表示, 用 R_0 来反映电压源的内部

电压损耗, $R_0 = 0$ 是它的理想状态。作为电流源, 其内部也有电流损耗。如光电池被光照激发后, 产生的电流并不是全部流向外电路, 其中一部分将在光电池内部通过分流途径而流动。所以, 电流源的模型是 I_s 和内电阻 R_0 的并联组合, 如图 1—8 所示。电路接通后, 有

$$I = I_s - I_0 = I_s - \frac{V}{R_0} \quad (1-4)$$

电流源的外特性曲线如图 1—9 所示。

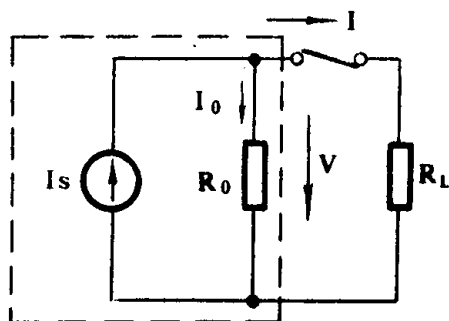


图 1—8 电流源电路

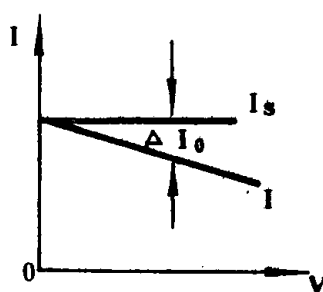


图 1—9 电流源外特性

当 R_0 为无穷大时, 也就是内部分流通路断开, 负载得到的电流 $I = I_s$, 称为理想电流源(恒流源)。理想电流源的基本性质:

- (1) 它输出的电流是定值 I_s , 或是给定的时间函数 $i_s(t)$, 与其端电压无关;
- (2) 它的端电压是任意的, 由外电路来决定。
- (三) 电压源与电流源的等效变换

在电路分析与计算中, 这两种模型是可以等效互换的。下面就来分析这种等效变换的条件。所谓等效, 就是把图 1—6 虚线框内的电压源变成图 1—8 所示虚线框中的电流源, 且对外电路而言, 端电压和输出的电流都不能改变。或者说这两种电源模型对负载的作用是相等的。由 (1—3) 式可得:

$$I = \frac{E - V}{R_0} = \frac{E}{R_0} - \frac{V}{R_0} \quad (1-5)$$

与 (1—4) 式比较, 不难看出, 若保持电压 V 和电流 I 不变, 则两式中的对应项应相等, 即

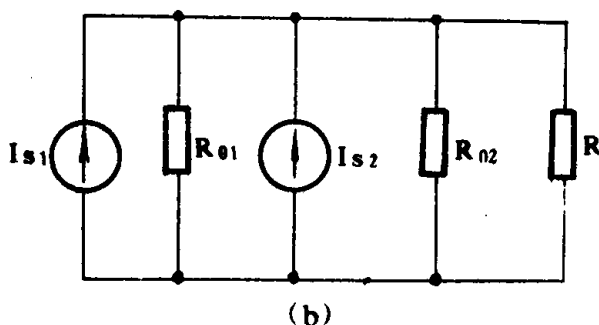
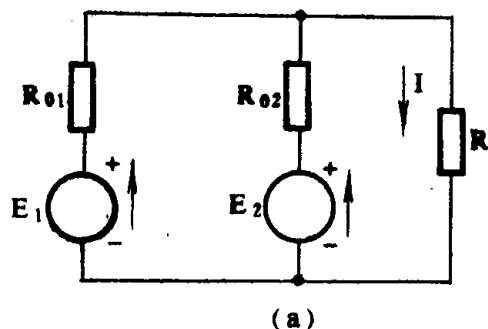
$$I_s = \frac{E}{R_0}$$

若由电压源等效变换成电流源, 则 $I_s = \frac{E}{R_0}$, 将 R_0 与 I_s 并联; 由电流源等效变换成电压源(已知 I_s 和 R_0), 则 $E = I_s R_0$, 将 R_0 与 E 串联。应当指出, 这种变换只对电源外部等效, 而电源内部是不等效的。很显然, 若电压源外电路不接负载, 电源内部也没有电流而变换成电流源模型, 同样不接负载, 但 I_s 将以 R_0 为回路形成环流。还应注意, 对处于理想状态的电源, 是不能进行等效变换的。

电压源与电流源的等效变换, 是分析电路和求解电路方程的一种重要方法。

例 1—2 试用电压源与电流源等效变换的方法, 求图 1—10 (a) 所示电路中的电流 I 。

已知 $E_1 = 24\text{V}$, $E_2 = 6\text{V}$, $R_{01} = 4\text{k}\Omega$, $R_{02} = 1\text{k}\Omega$, $R = 4\text{k}\Omega$ 。



$$\text{解: } I_{s1} = \frac{E_1}{R_{01}} = \frac{24}{4 \times 10^3} = 6 \text{ mA}$$

$$I_{s2} = \frac{E_2}{R_{02}} = \frac{6}{1 \times 10^3} = 6 \text{ mA}$$

得等效电路如图 (b) 所示, 将电流源和电阻合并

$$I_s = I_{s1} + I_{s2} = 6 + 6 = 12 \text{ mA}$$

$$\text{而 } R_0 = \frac{R_{01} \cdot R_{02}}{R_{01} + R_{02}} = \frac{4 \times 10^3 \times 1 \times 10^3}{4 \times 10^3 + 1 \times 10^3} = 0.8 \text{ k}\Omega$$

得等效电路如图 (c) 所示, 根据分流公式, 得

$$I = \frac{R_0}{R + R_0} \cdot I_s = \frac{0.8 \times 10^3}{4 \times 10^3 + 0.8 \times 10^3} \times 12 = 2 \text{ mA}$$

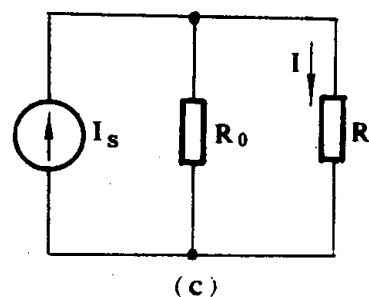


图 1-10 例 1-2 电路图

二、受控电源

受控电源是具有四个端钮的器件, 输入和输出端各有两个端钮, 输出端的电压或电流受输入端的电压或电流的控制。例如, 场效应管是一个电压控制器件, 晶体管是一个电流控制器件。因此, 在分析电子电路时, 常用到受控电源的概念。为了区别于独立电源, 受控电源常用菱形符号表示。

(一) 电压控制电压源

电路如图 1-11 所示。输出端电压受输入端电压的控制, 故称为电压控制电压源。图中 R_i 为受控电源的输入电阻, R_0 是受控电源输出电阻, 又称受控源的内电阻; μ 称电压放大系数。输入电压与输出电压之间的关系:

$$E = \mu \cdot V_i$$

(1-6)

(二) 电流控制电压源

电路如图 1-12 所示。输出端电压 E 受输入端电流 I_i 的控制, 它们之间的关系是:

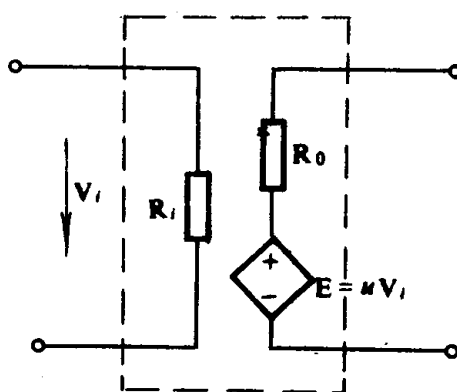


图 1-11 电压控制电压源

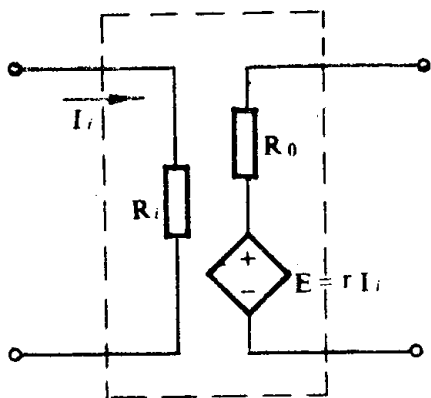


图 1—12 电流控制电压源

式中 β 是一个无量纲的常数，称为电流放大系数。

$$E = r \cdot I \quad (1-7)$$

式中 r 是一个具有电阻量纲的常数，称为转移电阻。

(三) 电压控制电流源

电路如图 1—13 所示。输出端的电流 I_s ，受输入端电压 V_i 控制，它们之间的关系是：

$$I_s = g \cdot V_i \quad (1-8)$$

式中 g 是一个具有电导量纲的常数，称为转移电导。

(四) 电流控制电流源

电路如图 1—14 所示。输出端的电流 I_s ，受输入端电流 I_i 控制，它们之间的关系是：

$$I_s = \beta \cdot I_i \quad (1-9)$$

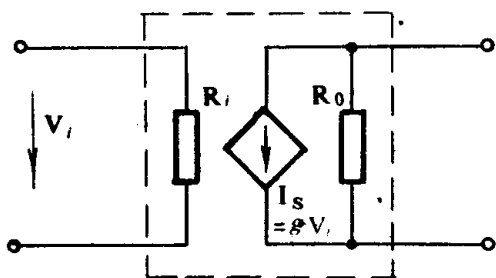


图 1—13 电压控制电流源

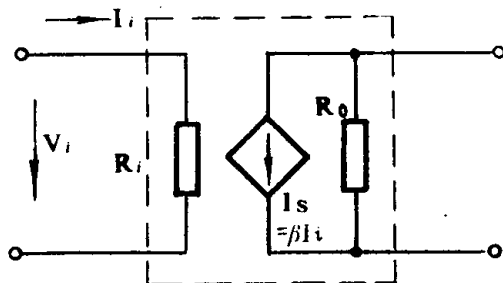


图 1—14 电流控制电流源

在受控源中，内电阻 R_o 和内电导 g_o 又分别称为受控源的输出电阻和输出电导。而输入端的电阻 R_i 称为输入电阻。一般说来，在电压控制电压源和电压控制的电流源中， R 很大，理想情况下 $R_i = \infty$ 。在电流控制电压源和电流控制的电流源中， R_i 很小，理想情况下 $R_i = 0$ ，这样，可得到如图 1—15 所示的四种理想受控源。

例 1—3 图 1—16 所示为一晶体管组成的放大电路模型。晶体管的电流放大系数 $\beta = 100$ ，电路参数： $r_i = 1k\Omega$ 、 $r_o = 10k\Omega$ 、 $R_s = 2k\Omega$ 、 $R_L = 1k\Omega$ ，信号源电流 $I_s = 0.05mA$ 。求输出电流 I_o ，电压 V_o 及电路的电压放大倍数。

解：本例为电流控制电流源。由分流公式可得：

$$I_b = \frac{R_s}{R_s + r_i} \cdot I_s = \frac{2}{3} \times 0.05 = 0.033mA$$

和

$$I_o = \frac{r_o}{r_o + R_L} \cdot \beta I_b = \frac{10}{11} \times 3.3 = 3mA$$