

中等专业学校试用教材

电子技术基础

南京地质学校
长春地质学院 合编
靖州地质学校

地质出版社

电子技术基础

南京地质学校
长春地质学校 合编
赣州地质学校

*

国家地质总局教育司教材室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1979年8月北京第一版·1979年8月北京第一次印刷

印数1—44,190册·定价1.40元

统一书号: 15038教40

前 言

根据国家地质总局教材工作会议决定，由南京地质学校主编、长春地质学校，赣州地质学校参加，共同编写了这本“电子技术基础”教材。参加编写的教师有潘如玉、白永茂、唐衢生等同志。

本书共十六章，可分为四个部分。第一部分讲述有关电工基础，其中电工仪表这一章，为适合野外工作的需要，以MF-30型复用表为例，作了较详细的叙述。第二部分着重对晶体管电路的基本概念、基本原理和基本分析方法，作了较详细的讨论，以培养学员分析晶体管电路的能力。考虑到现代仪器设备大都采用数字化，故在第三部分以一定篇幅讲述脉冲数字电路。由于目前物探成果普遍采用电算处理，这一部分内容可作为学习数字电子计算机的基础知识。考虑到新技术的发展，在第四部分介绍了半导体集成电路，其中对线性集成电路和应用的基本知识也作了适当的叙述。

本书在取材上以电子技术为主，结合专业要求，注意了突出重点。从地球物理探矿专业的要求出发，第一章至十四章、十五章的前七节和十六章的第四节作为必读课，其余作为自学参考。

由于编者政治和业务水平所限，加之编写时间仓促，书中一定存在不少缺点和错误，恳切希望使用教材的同志给予批评指正，并提出宝贵意见。

《电子技术基础》编写组

1979年2月

由于本书编写时间仓促，书中插图清绘质量较差，特别是第八章图中符号角码不够明显，希读者阅读时参考正文，谨致歉意。

目 录

第一章 复杂电路	1
第一节 克希荷夫第一定律.....	2
第二节 克希荷夫第二定律.....	3
第三节 复杂电路的一般解法.....	4
第四节 叠加原理.....	6
第五节 等效电源原理.....	9
第二章 单相交流电路	16
第一节 交流电的概念.....	16
第二节 单相交流电动势的产生.....	17
第三节 交流电的相位与相位差.....	21
第四节 交流电的瞬时值、最大值、有效值、平均值.....	23
第五节 正弦交流电的图示法.....	25
第六节 同频率正弦交流电的合成.....	29
第七节 纯电阻电路.....	35
第八节 纯电感电路.....	37
第九节 具有电阻、电感串联的交流电路.....	43
第十节 纯电容电路.....	46
第十一节 电阻、电感、电容的串联电路.....	51
第十二节 电阻、电感串联后与电容并联的交流电路.....	55
第三章 振荡回路	57
第一节 自由振荡.....	57
第二节 强迫振荡.....	60
第三节 串联谐振.....	61
第四节 并联谐振.....	64
第五节 耦合振荡回路.....	71

II

第四章 电工仪表	77
第一节 磁电系仪表的结构和原理.....	77
第二节 仪表的灵敏度和误差.....	79
第三节 直流电流的测量.....	83
第四节 直流电压的测量.....	88
第五节 电阻的测量.....	91
第六节 万用电表.....	103
第五章 变压器	114
第一节 变压器的作用和构造.....	114
第二节 变压器的工作原理.....	115
第三节 变压器的效率.....	119
第四节 变压器绕组的极性.....	119
第五节 小容量变压器的设计.....	121
第六章 晶体二极管	128
第一节 半导体的物理性质.....	128
第二节 P-N结	132
第三节 晶体二极管的构造.....	135
第四节 二极管的伏安特性.....	137
第五节 二极管的主要参数.....	139
第六节 二极管的简易测试方法.....	140
第七章 晶体三极管	141
第一节 三极管的工作原理.....	141
第二节 三极管的特性曲线.....	148
第三节 三极管的主要参数.....	152
第四节 三极管的简易测试方法.....	158
第八章 晶体管低频小信号放大器	161
第一节 晶体管电压放大的基本原理.....	161
第二节 放大电路的基本分析方法.....	163
第三节 放大器的非线性失真.....	176
第四节 直流偏置电路.....	180

第五节	多级放大器	183
第六节	晶体管放大器中的负反馈	193
第九章	低频功率放大器	216
第一节	功率放大的特点	216
第二节	单管功率放大电路	217
第三节	乙类推挽功率放大电路	222
第四节	复合管电路	228
第五节	无输出变压器电路	232
第六节	放大器中产生自激的原因和消除方法	241
第十章	直流放大器	243
第一节	直接耦合式直流放大电路	244
第二节	差动式放大电路	246
第三节	调制型直流放大器	256
第十一章	晶体管振荡器	264
第一节	晶体管振荡器的基本原理	264
第二节	L、C 振荡电路	268
第三节	石英晶体振荡器	271
第四节	R、C 振荡电路	276
第十二章	场效应管及其应用	280
第一节	场效应管的基本原理	280
第二节	场效应管的分类	284
第三节	场效应管的特性曲线	286
第四节	场效应管的几个主要参数和使用注意事项	290
第五节	场效应管应用于交流放大器	291
第六节	场效应管应用于直流信号调制器	293
第十三章	直流稳压电源	295
第一节	整流电路	295
第二节	滤波器	306
第三节	整流元件的串、并联使用和保护	313
第四节	直流稳压电源	315

IV

第十四章	可控硅及其应用	327
第一节	可控硅的工作原理.....	327
第二节	可控硅的触发电路.....	332
第三节	可控硅的保护电路.....	341
第四节	可控硅的应用举例.....	345
第十五章	脉冲数字电路基础	352
第一节	基础知识.....	353
第二节	门电路.....	364
第三节	双稳态触发电路.....	372
第四节	单稳态触发电路.....	377
第五节	脉冲发生器.....	384
第六节	射极耦合触发器.....	391
第七节	锯齿波电压发生器.....	392
第八节	计数电路.....	398
第九节	寄存器.....	416
第十节	译码器与分配器.....	421
第十一节	数字显示.....	427
第十六章	半导体集成电路简介	432
第一节	集成电路逻辑门.....	433
第二节	集成电路触发器.....	452
第三节	集成电路触发器应用举例.....	467
第四节	线性集成电路.....	469
第五节	金属—氧化物—半导体(MOS)集成电路.....	484

第一章 复杂电路

电流流动的路径叫做电路。电路通常由电源、负载和它们之间的联接导线所组成。只由电源和电阻的串联或者并联所构成的电路称为简单电路。对于这种电路的分析和计算是比较容易的。只要掌握欧姆定律以及串联电路的电压分配关系和并联电路的电流分配关系就可以了。

但是在实际工作中,还会遇到像图 (1—0—1) 这样的复杂电路。图中的各电阻之间,既不是串联,也不是并联。所谓复杂电路是指一个电路的结构,如果不能用串、并联关系简化成最简单的无分支电路,这种电路就叫做复杂电路,在复杂电路中,可以包含任意数目的电阻和电源。

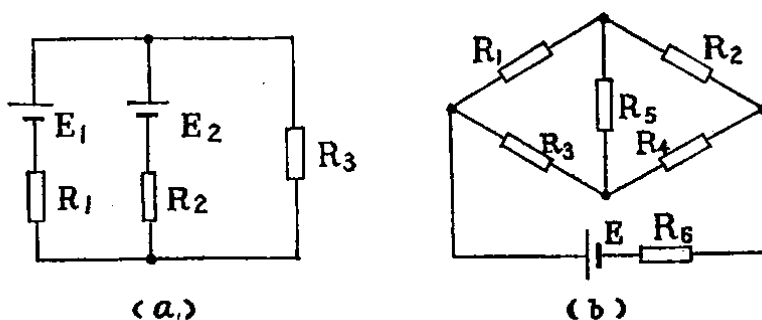


图 1—0—1

为解决复杂电路的分析和计算,首先要掌握电路的两个基本定律,即克希荷夫第一定律(节点电流定律)和克希荷夫第二定律(回路电压定律)。此外由于电路的结构不同,为了便于分析和计算,还必须了解叠加原理和等效电源原理以及其它各种方法。本章只介绍以上所提到的几个定律和原理,以及运用它们计算复杂电路的方法。

第一节 克希荷夫第一定律

克希荷夫第一定律，又叫节点电流定律，是说明不论在简单电路还是复杂电路中、各支路电流之间关系的定律。它不但是解决电路计算问题的工具，而且它本身也是有关电流关系的基本概念问题。

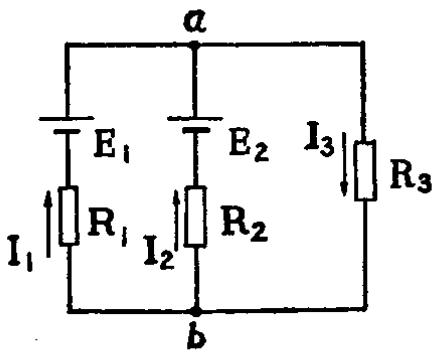


图 1—1—1

三条或更多支路的联接点叫做节点。例如图 (1—1—1) 中的 a 点和 b 点就是这个电路的两个节点。

克希荷夫第一定律是：流进某个节点的各电流总和等于由这个节点

流出的各电流的总和

在图 (1—1—1) 的电路中，流进节点 a 的电流是 I_1 和 I_2 ，由这个节点 a 流出的电流为 I_3 ，根据克希荷夫第一定律，可列出对于节点 a 的电流方程

$$I_1 + I_2 = I_3$$

所谓电流就是指在单位时间内通过导线某截面的电荷量，那么流进节点各电流的总和，就是在单位时间内所流进节点总电荷量，它应该等于由该节点流出的总电荷量，也就是等于由该节点流出的各电流的总和。否则在节点处将有电荷的堆积或不足、造成电位的改变，这是与直流稳恒电流的概念相矛盾的，实际上也是不可能的。

上述节点电流方程可改写为

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

写成一般形式为

$$\sum I = 0 \quad (1-1-1)$$

公式 (1—1—1) 说明了汇交某节点的诸电流的代数和等于零，这是克希荷夫第一定律更明确的含义。通常把流进节点的

电流取正号，而由节点流出的电流取负号。

在列节点电流方程之前，先要在电路中标定电流的方向，对于已知电流则应按实际方向标定，而对于未知电流，其方向可任意标定。根据所列出的方程式计算出来的电流如果是正值，就表明标定的方向和实际电流的方向相同；如果是负值，则表示标定的方向和实际方向相反。例如图（1—1—2）有五个电流汇交于一个节点，其方向已经标定， I_1 、 I_2 、 I_5 是流进节点的，故取正号，而电流 I_3 和 I_4 是由节点流出的，故取负号，则该节点的电流方程式为

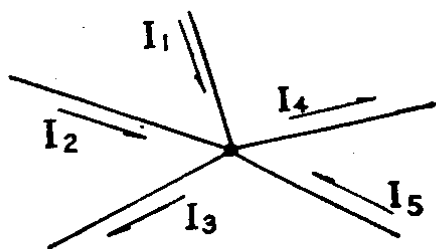


图 1—1—2

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

第二节 克希荷夫第二定律

在电路中，任何一个闭合的电路，都叫回路，如图（1—2—1） $abefa$ 就是一个回路， $bcdeb$ 和 $abcdefa$ 也都各自构成一个回路。

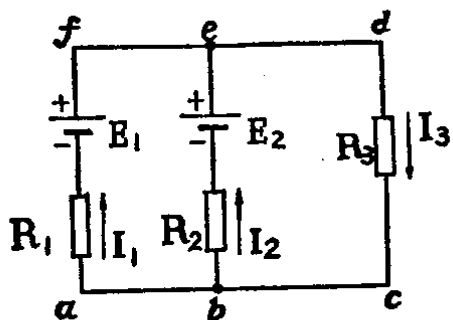


图 1—2—1

克希荷夫第二定律所表明内容是：从回路的任何一点起，沿回路环绕一周，再回到该点上，电位升高的总和等于电位降低的总和。根据这一关系可列出回路方程式。

对于电阻两端的电位升高和降低，根据电流的方向来确定。顺电流的方向是电位降低，逆电流的方向是电位升高。对于电源的电位升高还是降低，可根据电源电动势和电流的方向来确定，当电动势的方向与电路中电流的方向相同时，该电源输出电能，属于电源状态下工作，是电位升高；若电源电动势方向与实际电流方向相反，则该电源非但不输出能量，反而吸收能量，属于负载状态下工作，是电位降低。如

图 (1—2—2) , 由 a 点起, 沿顺时针环绕到 b 点, 电位升高等于电动势 E , b 点到 d 点的电位降低等于 IR , d 点到 a 点的电位降低等于 Ir , 对于 a 点来说, 电位是定值, 因此有回路方程如下

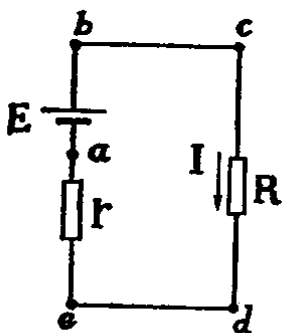


图 1—2—2

$$E = Ir + IR$$

对于复杂电路中的闭合回路的电位升高还是降低, 一下子是难于断定清楚, 因为有的电流实际方向事先还定不下来, 在这种情况下, 可以依照任意标定的电流方向为准。例如在图 (1—2—1) 中, 对于 $abefa$ 回路取顺时针方向环绕, E_1 为电位升高, E_2 为电位降低, I_2R_2 为电位升高, I_1R_1 为电位降低。回路方程为

$$E_1 + I_2R_2 = E_2 + I_1R_1$$

把上式改写成

$$E_1 - E_2 = I_1R_1 - I_2R_2$$

可以得出结论: 在电路的任意闭合回路中, 电动势的代数和等于各电阻上电位降的代数和。即:

$$\sum E = \sum (IR) \quad (1-1-2)$$

这就是克希荷夫第二定律最概括的表达。

第三节 复杂电路的一般解法

应用欧姆定律、克希荷夫第一、第二定律就能够计算在结构上任意复杂的电路。

任何两个节点之间的电路称为支路。

计算复杂电路的问题就是求解各支路电流的问题。有几个支路, 就有几个电流, 就需要列出几个方程式, 联立求解。

例 (1—3—1); 现以图 (1—3—1) 为例, 说明复杂电路的一般解法和步骤。

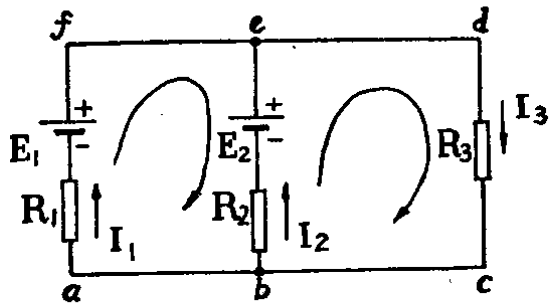


图 1—3—1

设图中 $E_1 = 4.5\text{V}$, $E_2 = 3\text{V}$

$R_1 = 30\ \Omega$, $R_2 = 60\ \Omega$, $R_3 = 180\ \Omega$

求解各支路的电流。

求解步骤如下：

一、假定各支路电流的方向

图 (1—3—1) 中有三个支路，支路中的电流分别设为 I_1 、 I_2 和 I_3 ，其假定方向如图中箭头所示。假定电流方向是任意的，当计算结果出现负值时，说明假定的方向和实际方向相反。

二、应用克希荷夫第一定律列出节点方程

图 (1—3—1) 中有两个节点 b 和 e ，对节点 b 列出节点方程式

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad \text{①}$$

对节点 e 列出的节点方程式和对节点 b 列出的方程式是一样的，所以两个节点只能列出一个方程式。

推广到一般的情况，复杂电路有 n 个节点，只能列出 $n-1$ 个节点方程。

三、应用克希荷夫第二定律列出回路方程

列回路方程时，可先假定回路的环绕方向，凡是与回路环绕方向相同的电动势取正，与环绕方向相反的电动势取负；电流方向与环绕方向相同时，该电流在电阻上的电压取正，电流方向与环绕方向相反时，该电流在电阻上的电压取负，根据公式 1—1—2 即可列出某一回路的回路电压方程。

对于回路 $afeba$ 的环绕方向取顺时针方向，如图 (1—3—1)

的箭头所示,此时,电动势 E_1 为正, E_2 为负,而电压 $I_1 R_1$ 为正, $I_2 R_2$ 为负,得回路方程为

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \quad (2)$$

同样方法,对 $bedcb$ 回路列出方程为

$$E_2 = I_2 R_3 + I_3 R_3 \quad (3)$$

至于对回路 $afedcba$ 的回路方程

$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

正好是方程②和方程③相加的结果,因此不是独立的方程,对求解复杂电路是无用的。因为回路 $afedcba$ 中的两个支路都已包含在已经列出方程的回路中了。从这里可以看出,在列回路方程式时,必须至少包括一个没有使用过的支路。

回路方程的数量应该是 $m - (n - 1)$ 个,其中 m 为所求支路电流的数目,也就是方程的数目, n 是节点数, $(n - 1)$ 是已列出的节点方程数。

四、求解联立方程

图(1—3—1)有三个支路,也就是三个未知电流,现在已有了三个独立方程,这就具备了求解的条件。只要把已知的电动势 E_1 和 E_2 , 以及已知的电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 代入方程式②和③就得到如下的联立方程组。

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

$$4.5 - 3 = 30I_1 - 60I_2 \quad (4)$$

$$3 = 60I_2 + 180I_3 \quad (5)$$

求解此方程组,得到各支路电流

$$I_1 = 30\text{mA}, I_2 = -10\text{mA}, I_3 = 20\text{mA}$$

其中 I_1 和 I_3 为正,说明图中标定的方向是正确的, I_2 为负,说明图中标定的方向与实际方向相反。

第四节 叠 加 原 理

用叠加原理计算复杂电路,有时可以很方便地将复杂电路化

为简单电路，避免了解联立方程组。

叠加原理的内容是：在一个包含多个电动势的复杂电路内，任一支路的电流，等于在电路中各部分电阻不变的情况下，各电动势单独作用时所产生的电流的代数和。

应用叠加原理求电路中各支路电流的具体步骤如下：

1. 分别画出由一个电源单独作用的电路分图，其余电源用它的内阻代替，如其内阻很小，可视为短路。

2. 按照电阻串、并联的计算方法，分别计算出各电路分图中每一支路电流的大小和方向。

3. 求出各电动势在各支路中产生的电流的代数和，也就是各电动势共同作用时，在各支路中产生的电流。

现仍以图（1—2—1）（重画为图 1—4—1）为例，说明应用叠加原理求各支路电流的具体步骤和方法

1. 设 E_1 单独作用时的电路分图如图（1—4—2）所示）所示，此时忽略电动势 E_2 的内阻，视 E_2 为短路，于是可根据电阻串、并联的计算方法得出

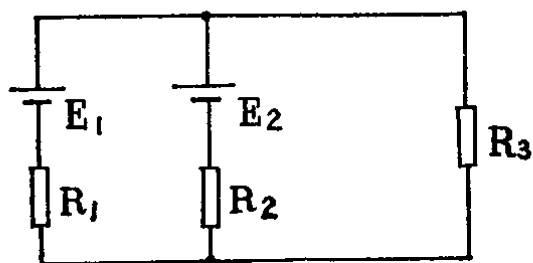


图 1—4—1

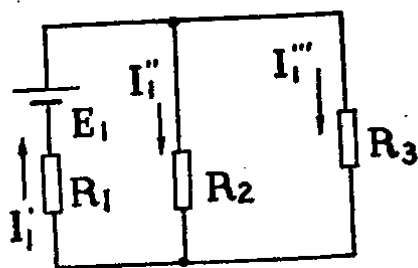


图 1—4—2

第一支路电流

$$I_1' = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{4.5}{30 + \frac{60 \times 180}{60 + 180}} = 0.06 \text{ A}$$

第二支路电流

$$I_1'' = I_1' \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 0.06 \times \frac{180}{60 + 180} = 0.045 \text{ A}$$

第三支路电流

$$I_1'' = I_1' \frac{R_2}{R_2 + R_3} = 0.06 \times \frac{60}{60 + 180} = 0.015 \text{ A}$$

2. 设 E_2 单独作用时的电路分图如图 (1—4—3) 所示, 此时, 忽略电动势 E_1 的内阻, 视 E_1 为短路, 同样可求得:

第二支路电流

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{3}{60 + \frac{30 + 180}{30 + 180}} = 0.035 \text{ A}$$

第一支路电流

$$I_1' = I_2'' \frac{R_3}{R_1 + R_3} = 0.035 \times \frac{180}{30 + 180} = 0.03 \text{ A}$$

第三支路电流

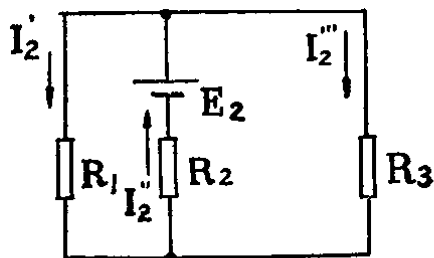


图 1—4—3

$$I_2'' = I_2'' \frac{R_1}{R_1 + R_3}$$

$$= 0.053 \times \frac{30}{30 + 180} = 0.005 \text{ A}$$

3. 根据叠加原理, 各电动势共同作用时, 在各支路产生的电流

为

$$I_1 = I_1' - I_2'' = 0.06 - 0.03 = 0.03 \text{ A}$$

$$I_2 = I_1'' - I_2'' = 0.045 - 0.035 = 0.01 \text{ A}$$

$$I_3 = I_1'' + I_2'' = 0.015 + 0.005 = 0.02 \text{ A}$$

由以上结果可以看出, 利用叠加原理求得的结果与复杂电路的一般解法所得的结果相同。

应用叠加原理计算多支路、多电势电路时, 往往比较烦琐, 所以通常在此情况下不采用。但当某一复杂电路已计算完毕, 各支路电流已求出, 而在某一支路增加电势的情况下计算各支路电流, 应用叠加原理就比较方便, 此时只要计算新电势单独作用在各支路中产生的电流, 再叠加到原有的计算结果上去就行。

这里必须指出，叠加原理只能用来求电路中的电压和电流，不能用来计算功率，因为功率是电压或电流的二次函数，所以不能叠加。

第五节 等效电源原理

一、电流源与电压源的等效变换

以前各节所提到的电源都是电压源。所谓电压源就是指具有一定电动势和内阻的电源，常用电动势和电阻串联来代表。如图(1—5—1)所示。理想的电压源是指电动势一定，其内阻为零的

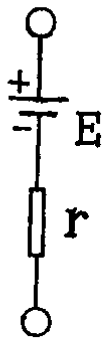


图 1—5—1

电源。又称为定压源。定压源供给负载的电压不因输出电流的大小而改变。对于在实际中应用的电源，总希望它能输出较稳定的电压。即当负载改变时，要求负载两端的电压基本上保持不变，这时就要求电压源的内阻越小越好，最好是接近理想的定压源。一般电源的内阻都比较小（与负载电阻相比），因此都可以作为定压源处理。

但是，在有的场合中，要求电源能够输出一个恒定的电流，即要求电源具有较高的内阻，因为只有其内阻比负载阻值大得多时，才能在负载电阻变化时，使电源输出的电流基本保持恒定。

具有输出恒定电流的电源叫做电流源。内阻为无限大，并能输出恒定电流 I 的电源称为理想电流源，它的符号如图(1—5—2)所示。图中 I_s 表示输出电流的大小，图中箭头的指向表示输出电流的方向。

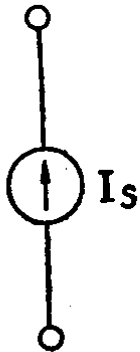


图 1—5—2

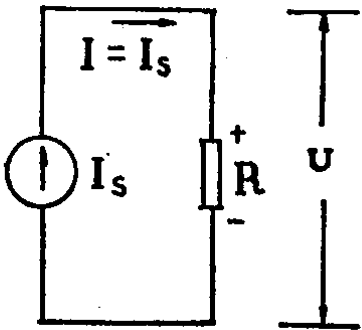


图 1—5—3

理想电流源与负载电阻相联接的电路如图(1—5—3)所示。

负载电阻 R 中所流过的电流 I 就是电流源输出的电流, 即 $I = I_s$ 。

不论负载电阻 R 如何变化, 电流 I 的数值是不变的。而负载两端的电压 $U = IR$ 是由负载电阻的大小决定的。

具有一定内阻 r 的实际电源, 当负载电阻改变时, 负载两端电压和通过负载的电流都会随之改变。因此, 实际电源, 既不是理想电压源, 也不是理想的电流源。但是根据它的内阻和负载电阻相比较, 当电源内阻远小于负载电阻时, 可用电源的内阻与电动势串联的电压源来处理; 当内阻远大于负载电阻时, 可用内阻与之相并联的电流源来处理。但是必须满足电压源与电流源对负载来讲是互相等效的。等效条件可通过图 (1—5—4) 加以证明。

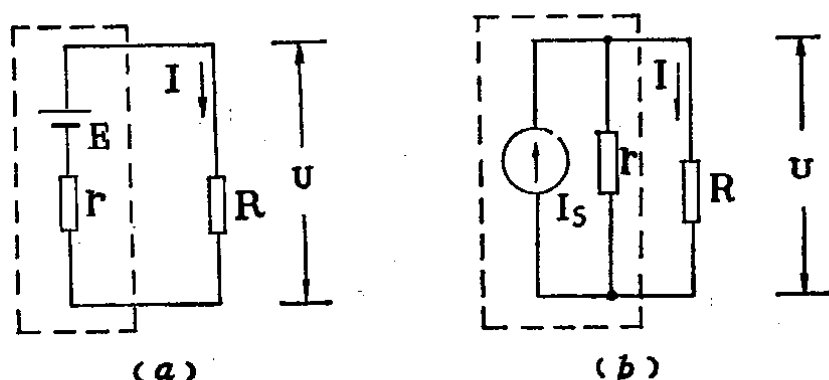


图 1—5—4

图 (1—5—4 a) 是把实际电源看成串联内阻的电压源与负载电阻构成的电路, 图 (1—5—4 b) 是把实际电源看成并联内阻的电流源与负载电阻构成的电路。下边证明, 在满足什么条件时, 这两种表示方式是互相等效的。

假定两种方式对负载来讲是等效的, 那么就必然有, 对于图 (1—5—4 a) 供给负载的电流等于图 (1—5—4 b) 供给负载的电流。同时在图 (1—5—4 a) 中负载两端的电压等于图 (1—5—4 b) 中负载两端的电压。为此根据克希荷夫第二定律可列出图 (1—5—4 a) 的回路方程为:

$$E = Ir + IR = Ir + U \quad (1)$$

对于图 (1—5—4 b) 可根据克希荷夫第一定律列出方程式为