

501

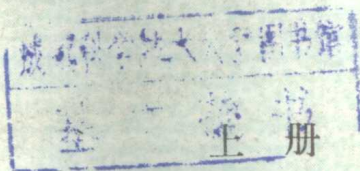
33471:2

T. 1

699595

高等学校试用教材

电 工 学



浙江大学电工学教研室编



人民教育出版社

高等学校试用教材

电 工 学

上 册

浙江大学电工学教研室编

人 民 教 育 出 版 社

《内 容 提 要》

全书分上、中、下三册出版。上册为电路基础，中册为电子技术，下册为电动机与继电接触控制。全书以电子技术为重点，适合学时为120左右的课程选作教材使用。本册包括电路的基本分析方法、正弦交流电路、常见信号的波形和特征、电路的瞬变过程等内容。

高等学校试用教材

电 工 学

上 册

浙江大学电工学教研室编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 厂 印 刷

*

开本 787×1092 印张 6.375 字数 154,000

1979年5月第1版 1983年2月第5次印刷

印数 94,901—225,400

书号 15012·0160 定价 0.54 元

前 言

一、本教材是根据教育部 1977 年 10 月在北京召开的全国高等学校工科基础课教材编写座谈会的精神和同年 11 月在合肥召开的全国高等学校工科基础课电工、无线电教材编写会议电工学小组所修订的化工轻工类电工学教材编写大纲编写的。初稿经主审单位初审后进行了修改, 1978 年 9 月在浙江莫干山召开本教材审稿会议, 会后再次进行了修改。

二、本教材采用了电路基础、工业电子技术、电动机及继电接触控制的体系, 内容方面侧重于电子技术及其应用。本教材分上、中、下三册, 上册为电路基础篇, 中册为工业电子技术篇, 下册为电动机及继电接触控制篇。

三、在本教材内容中注意加强基础理论与着重培养学生分析问题和解决问题的能力, 同时尽量做到理论联系实际。

四、本教材内容安排上加强了工业电子技术, 除了对晶体管电路作必要的分析外, 还列入了脉冲技术、数字电路和可控硅技术等内容。为此, 相应地加强了电路基础。另外, 适当地精简了电力拖动部分。

五、本教材参考学时为 120。考虑到各使用学校实际学时的差别, 以及不同专业对教材内容要求的差异, 在本教材中安排了若干选讲内容, 标有“*”号, 用小字排印。与选讲内容有关的习题, 亦标有“*”号。

六、本教材每章均附有习题, 并在每册最后附有部分习题答案。本教材每章的例题, 习题及习题答案亦用小字排印。

七、参加本教材编写的有: 第一、二、三章由王志云同志执笔, 第四、五、六、七、八、九章由高维宏同志执笔, 第十章由陈立铭

同志执笔,第十一、十二章由沈允刚同志执笔,第十三、十四、十五章由张民强同志执笔。本教材在编写过程中经教研室全体同志讨论,并提出了修改意见。

八、本教材由上海化工学院电工学教研室主审,参加审阅的有:张大恒、梁天白、张南、余宗廉等同志。由张大恒同志负责主审工作。我们对参加审阅工作的同志认真负责地审阅稿件,并提出了许多宝贵的修改意见,付出了辛勤的劳动,表示衷心感谢。

九、参加本教材审稿会议的有:上海化工学院、清华大学、天津大学、内蒙古工学院、上海纺织工学院、福州大学、华南工学院、湖南大学、北京化工学院等电工学教研室的代表。与会各兄弟院校代表在审稿会议期间提出了许多宝贵的修改意见,我们表示感谢。

十、由于我们学习马列主义、毛泽东思想不够,业务水平又低,编写时间短促,因此,本教材中一定存在不少缺点和错误,欢迎批评指正。

浙江大学电工学教研室

1979年2月

文字符号

A	能量
A_C	电容储存的电场能量
A_L	电感储存的磁场能量
B	晶体三极管基极
b	电纳或支路数
b_C	容纳
b_L	感纳
C	电容或晶体三极管集电极
E	直流电动势、交流电动势的有效值或晶体三极管的发射极
E_L	电感电动势的有效值
E_m	交流电动势的最大值
e	交流电动势的瞬时值
f	交流电的频率
g	电导或接地
g_0	电源的内电导
I	直流电流或交流电流的有效值
I_a	有功电流
I_B	晶体三极管基极电流
I_C	晶体三极管集电极电流或电容电流有效值
I_E	晶体三极管发射极电流
I_L	电感电流有效值
I_l	线电流有效值
I_m	交流电流的最大值
I_N	中线电流有效值

I_n	额定电流
I_0	谐振电流
I_p	相电流有效值
I_r	无功电流
I_s	恒流源电流
I_{sh}	短路电流
i	交流电流的瞬时值
L	电感
N_A	有源二端网络
N_R	无源二端网络
n	节点数
P	直流功率或交流有功功率
P_C	电容有功功率
P_L	电感有功功率
P_R	电阻有功功率
P_{out}	输出功率
p	交流电的瞬时功率
Q	交流无功功率、谐振电路的品质因数或热量
q	电荷
Q_C	电容无功功率
Q_L	电感无功功率
R	电阻
R_C	集电极负载电阻
R_{eq}	等效电阻
R_i	入端电阻
R_L	电感线圈的电阻
R_l	导线电阻
R_0	电源内电阻

r	交流或动态电阻
S	视在功率
T	温度或周期
t	时间
t_w	脉冲宽度
V	直流电压或交流电压的有效值
V_a	有功电压
V_l	线电压有效值
V_n	额定电压
V_p	相电压有效值
V_r	无功电压
v	交流电压的瞬时值
v_i	输入电压瞬时值
v_o	输出电压瞬时值
X	电抗
X_C	容抗
X_L	感抗
Y	复数导纳
y	复数导纳的模数
Z	复数阻抗
z	复数阻抗的模数
δ	衰减系数
φ	相位或相位差
φ_e	电动势的初相位
φ_i	电流的初相位
φ_v	电压的初相位
τ	电路的时间常数
ρ	谐振电路的特性阻抗

ω 角频率
 ω_0 无阻尼振荡角频率
 ω' 固有阻尼振荡角频率

目 录

第一篇 电路基础

文字符号	1
第一章 电路的基本分析方法	1
1-1 电路的基本组成	1
1-2 电路的工作状态	5
一、通路	5
二、断路	7
三、短路	8
1-3 克希荷夫定律	10
一、克希荷夫电流定律	10
二、克希荷夫电压定律	12
1-4 支路电流法	16
1-5 迭加原理	18
*1-6 回路电流法	22
*1-7 节点电位法	25
*1-8 星形网络与三角形网络的等值互换	26
1-9 二端网络	31
1-10 等效电源定理	32
一、戴文宁定理	32
二、诺顿定理	35
三、电压源与电流源的等值互换	37
1-11 非线性电阻电路	39
一、非线性电阻概念	39
二、简单非线性电阻电路的计算	42
习 题	43
第二章 正弦交流电路	53

2-1 正弦交流电的基本概念	53
一、正弦交流电的周期和频率	54
二、正弦交流电的相位和相位差	55
三、正弦交流电的有效值	57
2-2 正弦交流电的旋转矢量表示法	59
2-3 正弦交流电的复数符号法	63
一、用复数表示正弦量	63
*二、复数运算	65
2-4 单一参数的交流电路	68
一、纯电阻电路	68
二、纯电感电路	70
三、纯电容电路	74
2-5 RLC 串联电路·复数阻抗	78
*2-6 RLC 并联电路·复数导纳	85
*2-7 负载的串联和并联	89
2-8 交流电路的功率	96
2-9 RLC 谐振电路	102
一、串联谐振电路	102
二、并联谐振电路	107
2-10 三相交流电路的计算方法	111
一、三相四线制电源的相电压与线电压	111
二、对称三相电路的计算	113
*三、不对称三相电路的计算	120
四、三相电路的功率	126
习 题	130
第三章 常见信号的波形和特征	135
3-1 常见信号的波形	135
3-2 阶跃信号和矩形脉冲信号	138
3-3 指数信号	140
3-4 非正弦信号的谐波	143

一、信号波形的分解和合成	143
二、方波的傅立叶级数展开式	144
三、方波的谐波成分和频谱图	146
四、非正弦周期信号的最大值·平均值和有效值	147
习 题	149
第四章 电路的瞬变过程	152
4-1 基本概念	152
一、网络(系统)的激励和响应	152
二、网络的瞬态响应	153
三、储能电路初始值的确定(开闭定律)	154
4-2 RC 电路的瞬态响应	155
一、 RC 电路的阶跃响应	155
二、 RC 电路由内部储能激励的响应	158
三、 RC 电路的时间常数	162
4-3 RC 电路在矩形脉冲激励时的响应	165
一、微分电路	165
二、积分电路	168
4-4 RL 电路的瞬态响应	170
一、 RL 电路的阶跃响应	170
二、 RL 电路由内部储能激励的响应	172
*4-5 RLC 电路的瞬态特性	174
习 题	180
附录一 傅立叶级数	183
附录二 几种常见信号的谐波	187
附录三 第一篇习题答案	189

第一篇 电路基础

第一章 电路的基本分析方法

电路分析是电工学的重要理论基础之一。学习电工学应从电路分析着手。所谓电路分析就是已知电路的连接方式、参数和电源,计算该电路各部分的电流、电压和功率。

在物理学中,我们学习了应用欧姆定律分析简单直流电路的方法。在本章中,我们将在物理学中电学部分的基础上,进一步学习电路的其他基本定律,以及应用这些定律分析一般直流电路的方法。这些方法虽然在直流电路中提出,但原则上也适用于正弦交流及其他各种电路。它们是分析电路的基本方法。

1-1 电路的基本组成

电路就是电流所经之路。最简单的电路一般由下列三个部分组成:(1) 电源,(2) 连接导线,(3) 负载,如图 1-1 所示。

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置,例如蓄电池、发电机和高频电源等。蓄电池将化学能转换为电能,发电机将机械能转换为电能,高频电源(振荡器)将一种形式的电能转换为另一种形式的电

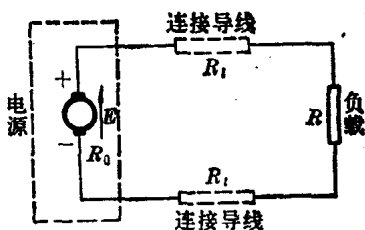
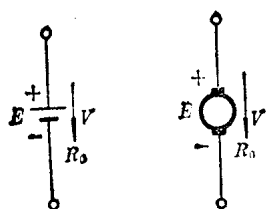


图 1-1 电路的组成

能。蓄电池和直流发电机的符号如图 1-2 所示。图中字母 E 表示电源的电动势, R_0 表示其内电阻。电动势是表征电源作功能力



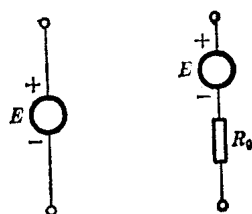
(a) 蓄电池 (b) 发电机

图 1-2 直流电源的符号

的一个物理量。它的方向为从负极(-)指向正极(+), 即指向电位升高的方向。电路图上电动势的方向可用正、负极性标出, 也可用箭头表示。电源端电压 V 的方向为从正极指向负极, 即指向电位降低的方向。所以电压的方向与电动势的方向相反。

电源可分为电压源和电流源。

若一个电源的端电压不随通过该电源的电流而变化, 这样的电源被定义为理想电压源, 或简称为恒压源, 用 E 或 V 表示, 其图形符号如图 1-3(a) 所示。因为所有实际电源都具有内电阻 R_0 (图 1-2), 象我们所定义的那种理想电压源 (即恒压源) 实际上是不存在的, 实际电源的端电压与通过它的电流有关, 因其内电阻的电压降总是随电流而变的, 因此, 电源的端电压不是恒压。虽然如此, 在分析中恒压源仍然是很有用的理想模型。所有实际电源都可表示成恒压源 E (或 V) 与内电阻 R_0 相串联的组合, 如图 1-3(b) 所示, 称为实际电压源, 或简称为电压源。可以看出, 恒压源就是内电阻 $R_0=0$ 的电压源。

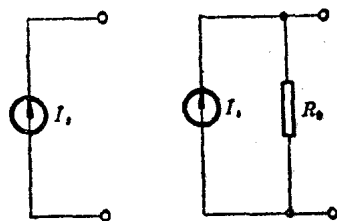


(a) 恒压源 (b) 电压源

图 1-3 电压源的符号

电压源的极性常用正方向标出。当电压源的实际极性已知时, 常用实际极性作为正方向; 当实际极性未知时, 可以预先任意假定一个正方向。当电动势或电压的实际方向与所标正方向一致时, 其值为正; 当实际方向与正方向相反时, 其值为负。因此, 在正方向已规定的情况下, 电动势或电压的值可为正, 也可为负。

若一个电源的输出电流不随输出电压的变化而变化, 这样的电源被定义为理想电流源, 或简称为恒流源, 用 I_s 表示, 其图形符号如图 1-4(a) 所示。理想电流源实际上也是不存在的, 虽然工业上应用的电流源很接近于恒流源, 但严格说来, 电流源的输出电流也或多或少随负载的不同而变化。所以一个实际的电流源, 可以表示成恒流源 I_s 与内电阻 R_0 (或内电导 g_0) 相并联的组合, 如图 1-4(b) 所示, 称为实际电流源, 或简称为电流源。可以看出, 恒流源就是内电阻 $R_0 = \infty$ (或 $g_0 = 0$) 的电流源。为了能明确写出含有电流源的电路方程式, 同样必须用箭头表示电流源电流的正方向。习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。在标定电流的正方向时, 并不一定要求与其实方向一致。正方向是可以任意标定的。当电流的正方向与其实方向一致时, 则电流为正值; 当电流的正方向与其实方向相反时, 则电流为负值。因此, 在正方向已规定的情况下, 电流的值可为正, 也可为负。



(a) 恒流源 (b) 电流源
图 1-4 电流源的符号

本书电路图中所标电动势、电压或电流的方向都是正方向。从原则上来说, 虽然正方向是可以任意标注的, 但在直流电路图中, 为了使正方向与实际方向一致, 当电路中的电动势、电压或电流的实际方向已知时, 它们的正方向总是按实际方向画出, 除非在分析电路时不能确定实际方向的情况下, 正方向才任意规定。

负载是将电能转换为其他形式能量的装置, 例如电动机、电灯等。电动机将电能转换为机械能, 电灯将电能转换为光能和热能。当直流电流通过电灯一类的负载时, 主要发生由电能到热能的转换过程。这一过程的特征通常用电阻 R 表示。电阻的单位为欧姆。

(Ω)。电阻的倒数 $g = \frac{1}{R}$ ，称为电导。电导的单位为西门子，记作 S。1 S = 1/1 Ω 。电阻(或电导)是电路参数之一。只具有电阻(或电导)的部分电路，称为无源电路，如图 1-1 右边一段电路所示。

在一般电路中，电能与热能是不可逆转换的，但还存在着电能与电场能、电能与磁场能的可逆转换过程。后两个过程的特征，分别用另外两个电路参数电容 C 和电感 L 表达。在恒定的直流电路中，电场和磁场也是恒定的，所以电容和电感对电路不再起作用，因此，在三个电路参数 R 、 L 和 C 中，只需考虑电阻 R 对电路的作用。

当电路中的电压和电流符合欧姆定律表达的线性关系（即电路的参数值与电流无关）时，这样的电路称为线性电路。

连接电源与负载的导线起着传输电能的作用。一般连接导线的电阻很小，所以在电路分析中常把连接导线的电阻视为零。但若连接导线较长，就应当考虑它的电阻 Θ 。实用上，为了简化对电路的计算，常用一等值的集中电阻来表示实际导线的分布电阻，如图 1-1 中用虚线表示的电阻 R_l 。

电源、负载和连接导线是组成电路的基本部分。对于电源来说，负载及连接导线称为外电路，电源内部的电路，称为内电路。

【例题 1-1】已知某恒流源的电流 $I_s = 2.2$ A，内电阻 $R_0 = 10$ Ω ，负载电阻 $R = 1$ Ω ，如图 1-5 所示，求：

(1) 开关 K 断开时电流源的端电压 V_0 ；

(2) 开关 K 接通后电流源的端电压 V 及负载电流 I 。

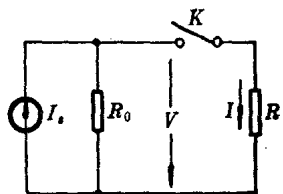


图 1-5 例题 1-1 的电路图

Θ 导线的电阻 $R_l = \rho \cdot \frac{l}{S}$ ，式中 ρ 为导线的电阻系数[欧姆·毫米²/米]， l 为导线的长度[米]， S 为导线的截面积[毫米²]。

【解】 (1) K 断开时

$$V_0 = I_s R_0 = 2.2 \times 10 = 22 \text{ V}$$

(2) K 接通后

$$V = I_s \left(\frac{1}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{R}} \right) = I_s \cdot \frac{R_0 R}{R_0 + R} = 2.2 \times \frac{10 \times 1}{10 + 1} = 2 \text{ V}$$

负载电流

$$I = I_s \cdot \frac{R_0}{R_0 + R} = 2.2 \times \frac{10}{10 + 1} = 2 \text{ A}$$

或

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2}{1} = 2 \text{ A}$$

1-2 电路的工作状态

通路、断路和短路是电路的三种工作状态。

一、通 路

通路就是电源与负载接通成闭合回路,也就是图 1-6 电路中的开关 K 合上时的工作状态。此时由于电压源电动势 E 的作用,在电路中将通过电流 I ,其正方向如图所示,电流

$$I = \frac{E}{R_0 + 2R_l + R} \quad (1-1)$$

负载端电压

$$V_2 = IR = \frac{R}{R_0 + 2R_l + R} \cdot E \quad (1-2)$$

电源端电压

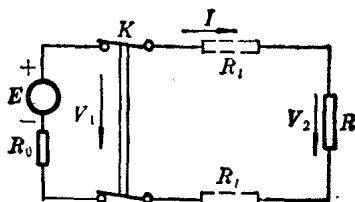


图 1-6 通路示意图

$$V_1 = I(R + 2R_l) = \frac{R + 2R_l}{R_0 + 2R_l + R} \cdot E \quad (1-3)$$

或从电源内部看