

高等工业专科学校试用教材

# 电工技术基础

上册

江苏省《电工技术基础》编写组

江苏科学技术出版社

## 内 容 提 要

《电工技术基础》分上下两册出版。上册为电路、电动机及其继电器接触控制部分，下册为工业电子技术部分。本册内容包括直流电路、正弦交流电路、磁路和变压器、异步电动机、直流电机、电动机的选择及其继电器接触控制、供电与节约用电等。可作为高等工业专科学校、职业大学、职工大学各非电类专业教材，也可供具有高中以上文化的技术人员和工人学习参考。

高等工业专科学校试用教材

电 工 技 术 基 础

(上册)

江苏省《电工技术基础》编写组 编

---

出版：江苏科学技术出版社

发行：江苏省新华书店

印刷：南通稻舂印刷厂

---

开本787×1092毫米 1/32 印张12.5 字数264,000

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数 1—11,610 册

---

书号 15196·179 定价 1.90元

责任编辑 程增础

## 前 言

为适应高等工业专科学校各非电类专业电工课程的教学需要,改变专科借用本科教材的现状,我们在江苏省高教局的组织领导下,在有关学校的支持下,于1983年8月组成了编写组,以1982年江苏省属高等工业专科学校机制专业教学大纲为主要依据,着手编写《电工技术基础》这本教材。

按照省属专科学校、职业大学主要是为省内中、小型企业培养既有一定理论知识又有一定实际技能的工程技术人才这一要求,考虑到中、小型企业现有的设备条件,确定编写本教材的指导思想是:在深度上浅一些,着重讲清一些物理概念和基本原理,避免理论上的求多求全;在范围上广一些,以适应中、小型企业技术人员一专多能的需要;在联系实际则多举一些在生产中常碰到的问题。

《电工技术基础》分上下两册出版。总的参考学时数为120~130(包括实验,下同)。上册为电路、电动机及其继电器接触控制部分约70~75学时,下册为工业电子技术部分约50~55学时。

《电工技术基础》(上、下册)共十二章,参加编写的同志有:绪论、第七、十一章由扬州工专刘铁生执笔;第一章由常州工业技术学院李君湘执笔;第二章由盐城工专邱善和执笔;第三、六章由常州工业技术学院盛志英执笔;第四、五章由扬州工专沈蓉华执笔;第八、十章由扬州工专周礼中执笔;第九章由南通纺织工学院李明儒执笔;第十二章由无锡大学秦仁杰执笔。参加全书统稿工作的有李明儒、沈蓉华、

刘铁生同志，由李明儒同志最后定稿。

本教材由南京航空学院孙希鲁副教授和南京能源工程学院教务长曲珍同志担任主审。

由于我们水平有限，书中如有不妥之处，敬请读者批评指正。

《电工技术基础》编写组

1985年6月

## 绪 论

电工技术基础是一门研究电能的传输、分配、使用、控制以及信息的传递和处理的技术科学。

电能是一种中间形式的能量,它的特点是难以储备,却易于变换;可远距离传输,而损失很小;控制灵活,使用方便。电能的发展、输、配、用都能实现自动控制,因而赢得了广泛的应用。

自然界里的各种力能资源都可以发电。风力、水力、火力、太阳能、原子能等都可以转变为电能;而电能用于驱动机器、照明、加热及各种工艺过程中,又转变成机械能、声能、光能、热能、化学能等。电能的远距离传输对国家经济发展及社会物质和精神文明的建设,都具有十分重大的意义。

电工技术基础是电气工程学的初级课程。电工技术的成果装备着各行各业,电气工程的理论和方法也为各非电学科采用。非电类工程技术人员通过电工学课程的学习,掌握一定的电工技术,并能动地应用于本专业的实践之中,从不同的岗位和不同的角度应用电工技术为国家建设服务。因此工科院校各非电专业普遍开设电工技术课程。

人类对电磁现象的认识,可以追溯到远古。在古代,由于生产水平低,人们不能对电磁本质作深入的了解,因而认识只停留于表面。电磁学的发展,经历了漫长的过程,直到十八世纪,资本主义生产方式在欧洲许多国家确立并发展,科学技术也在许多部门不断突破,大机器生产使电磁学的发展不仅成

为必要,而且也有了可能。从十八世纪到十九世纪的百年间,电磁学领域的发明与发现层出不穷,科学实验的理论成果光彩夺目。作为电磁理论工程应用的电工技术便应运而生,并得到很快的发展,将电磁学的成果直接用于生产实际,使电能的普遍应用成为现实。

电能成为强大生产力的标志是1889年三相制的创立。三相发电机、三相变压器、三相输电线路和三相电动机构成了完整的发、输、配、用电系统,一直沿用至今。这百年间,电工技术获得了长足的发展。电工技术把古老的电磁理论和现代电子技术以及自动化技术结合起来,使电气化成为自动化的基础。

当代科学技术发展的特征是从一项项的发明发现过渡到综合应用,各学科之间相互渗透,边缘学科丛生。由于电子技术的高速发展和在电气工程中的广泛应用,极大地改变了电工技术的面貌。相应地,近代电工学的内容也有很多的更新。如果说过去以电磁理论的工程应用为主,现在则似乎以电能使用中的自动控制为主,是以强电和弱电相结合,强电弱控为特色。因而现代电工技术是跨电力、电子和自控三个领域的技术科学。

电工技术基础是作为非电专业学生通晓电工技术的入门课程,在内容上是基本的成熟的、在性质上是基础的,深度上是浅显的,面上是比较广泛的。总的来说是“立足于应用,广一点,浅一点”,尤其是工业专科学校,学制较短,非电专业的电类课程一般只此一门,因而要求电工技术基础从基础理论到实际应用能自成一体,我们正是按照这种设想来编写这本教材的。

本书上册包括电路分析的基本内容和变压器、电动机及

其继电器接触控制、工厂供电等，主要介绍线性电路稳定状态的分析方法，电机、电器的基本工作原理和运行特性，以及基本控制线路等。下册为电子技术、介绍现代工业设备中广泛应用的电子器件和基本电路，并适当加强了数字电路的基本内容，以适应新技术的发展。通过可控硅直流调速系统来介绍可控硅元件及具体的闭环自动控制系统，借以体现强弱电弱控的精神。

要学好电工技术基础，应注意下面两点：

一是理论联系实际。重视实践环节，如实验、习题及作业，着眼于应用。

二是系统地学习。掌握分析方法和分析的体系，把原理和特性，器件和电路，环节和系统联系起来，切忌孤立和一鳞半爪地接受残缺不全的知识。

# 目 录

绪论 .....	1
<b>第一章 直流电路</b> .....	<b>1</b>
1—1 电路 .....	1
一、 电路组成与电路模型 .....	1
二、 电流和电压的正方向 .....	3
三、 电阻元件的伏安特性 .....	5
四、 简单电路计算实例 .....	6
1—2 电路的三种状态 .....	9
一、 空载状态 .....	9
二、 有载状态 .....	10
三、 短路状态 .....	10
1—3 电压源与电流源 .....	11
一、 电压源 .....	11
二、 电流源 .....	13
三、 电源的等效变换 .....	15
1—4 克希荷夫定律 .....	17
一、 克希荷夫电流定律 .....	18
二、 克希荷夫电压定律 .....	19
1—5 电阻的串联与并联 .....	25
一、 串联 .....	25
二、 并联 .....	26
1—6 节点电压法 .....	29
1—7 叠加原理 .....	32
1—8 戴维南定理 .....	34
1—9 电容、电感元件的物理性质和换路定律 .....	37



一、	电容、电感元件的物理性质	37
二、	换路定律	39
1—10	电容器的放电和充电	42
一、	电容器的放电过程	42
二、	电容器的充电过程	45
1—11	有感电路中电流的增长和衰减	53
一、	$RL$ 电路和直流电压源接通	53
二、	$RL$ 电路自相短接	57
	本章小结	62
	习题	64
<b>第二章</b>	<b>正弦交流电路</b>	<b>74</b>
2—1	正弦交流电的基本概念	74
一、	周期、频率、角频率	74
二、	幅值和初相位	76
三、	相位差	77
四、	有效值	78
2—2	正弦交流电的相量表示法	80
一、	相量及相量图	80
二、	相量的复数式	83
2—3	单一参数的交流电路	86
一、	纯电阻电路	86
二、	纯电感电路	89
三、	纯电容电路	95
2—4	$R, L, C$ 串联的交流电路	98
一、	电压与电流的关系	98
二、	功率	102
2—5	阻抗的串联和并联	107
一、	阻抗的串联	107
二、	阻抗的并联	109
2—6	功率因数的提高及其经济意义	111
2—7	电路中的谐振	114

一、 串联谐振 .....	115
二、 并联谐振 .....	118
2—8 三相电路 .....	123
一、 三相电压 .....	123
二、 三相负载的星形连接 .....	128
三、 三相负载的三角形连接 .....	134
四、 三相功率及其测量 .....	136
本章小结 .....	142
习题 .....	144
<b>第三章 磁路和变压器</b> .....	151
3—1 磁路概念 .....	151
一、 铁磁材料的性质 .....	152
二、 磁路及其基本定律 .....	156
3—2 交流铁心线圈电路 .....	160
一、 电磁关系 .....	161
二、 电压与电流的关系 .....	161
三、 功率关系 .....	163
3—3 电磁铁 .....	164
一、 直流电磁铁 .....	165
二、 交流电磁铁 .....	166
3—4 变压器的构造和工作原理 .....	168
一、 变压器的构造 .....	168
二、 变压器的空载运行 .....	171
三、 变压器的负载运行 .....	173
四、 三相电压的变换 .....	178
3—5 变压器的特性和极性判别 .....	180
一、 变压器的外特性 .....	180
二、 变压器的额定值 .....	181
三、 变压器绕组的极性判别 .....	182
3—6 自耦变压器和电流互感器 .....	185
一、 自耦变压器 .....	185

二、 电流互感器 .....	187
本章小结 .....	189
习题 .....	191
<b>第四章 异步电动机</b> .....	<b>195</b>
4—1 三相异步电动机的构造 .....	195
一、 三相异步电动机的雏形 .....	195
二、 三相异步电动机的构造 .....	196
4—2 三相异步电动机的工作原理 .....	199
一、 旋转磁场的产生 .....	199
二、 三相异步电动机的转动原理 .....	205
4—3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性 .....	208
一、 电磁转矩 .....	208
二、 转矩特性和机械特性 .....	211
4—4 异步电动机的铭牌数据和运行特性 .....	217
一、 铭牌数据 .....	217
二、 运行特性 .....	222
4—5 三相异步电动机的起动 .....	225
一、 起动性能的分析 .....	225
二、 起动方法 .....	227
4—6 三相异步电动机的调速 .....	232
一、 变极调速 .....	232
二、 变频调速 .....	234
三、 改变转差率调速 .....	235
4—7 三相异步电动机的反转与制动 .....	235
一、 反转 .....	235
二、 制动 .....	236
4—8 单相异步电动机 .....	239
4—9 交流伺服电动机 .....	243
本章小结 .....	247
习题 .....	248

#### IV

<b>第五章</b>	<b>直流电机</b> .....	251
5—1	直流电机的基本工作原理及构造 .....	252
	一、直流电机的基本工作原理 .....	252
	二、直流电机的构造 .....	255
5—2	直流电动机的分类与额定值 .....	258
	一、分类 .....	258
	二、额定值 .....	260
5—3	直流并励电动机的机械特性 .....	263
	一、直流电动机的电磁转矩 .....	263
	二、直流电动机中的反电动势 .....	265
	三、机械特性 .....	266
5—4	直流并(他)励电动机的调速 .....	268
	一、改变电枢电路的电阻调速 .....	269
	二、改变磁通调速 .....	270
	三、改变电枢端电压调速 .....	271
5—5	直流并(他)励电动机的起动与反转 .....	274
	一、起动 .....	274
	二、反转 .....	277
5—6	直流伺服电动机 .....	277
5—7	直流测速发电机 .....	279
	本章小结 .....	282
	习题 .....	283
<b>第六章</b>	<b>电动机的选择及其继电接触控制</b> .....	285
6—1	电动机的选择 .....	285
	一、电动机种类的选择 .....	285
	二、电动机型式的选择 .....	288
	三、电动机容量的选择 .....	287
	四、电动机额定电压的选择 .....	290
	五、电动机额定转速的选择 .....	290
6—2	常用低压控制电器 .....	290

一、	开关	290
二、	按钮	292
三、	接触器	293
四、	中间继电器	296
五、	熔断器	296
6—3	鼠笼式异步电动机的直接起动控制	297
一、	直接起动控制	298
二、	电动机的保护环节	300
6—4	异步电动机的正反转控制线路	303
6—5	行程控制	306
一、	行程开关	306
二、	行程控制线路	307
6—6	时间控制	309
一、	时间继电器	309
二、	时间控制线路	312
6—7	速度控制	315
一、	速度继电器	315
二、	鼠笼式电动机反接制动控制线路	316
6—8	电气原理图的画法和生产应用实例	319
一、	电气原理图的画法	319
二、	皮带运输机电气控制线路	320
三、	铣床电气控制线路	322
	本章小结	332
	习题	333
<b>第七章</b>	<b>供电与节能</b>	<b>338</b>
7—1	企业变电所	338
一、	电力系统和电力网	338
二、	企业变电所的设置	339
三、	企业变电所的主要电气设备	340
四、	高压柜和低压屏	343
7—2	供配电系统	345

一、	工厂变配电所的常用接线方式 .....	345
二、	工厂变电所的二次接线 .....	349
三、	低压配电系统 .....	354
7-3	负荷计算和导线截面积的选择 .....	354
一、	负荷计算 .....	357
二、	导线截面的选择 .....	355
7-4	动力线路布置 .....	359
一、	负荷指示图 .....	359
二、	车间动力布置 .....	360
7-5	节能和节电 .....	362
一、	设计制造高效节能机电设备 .....	363
二、	供配电方面的节能措施 .....	363
三、	工农业用电方面的节电 .....	364
四、	家用电器及照明 .....	365
五、	能源综合利用 .....	365
六、	加强管理 .....	365
7-6	安全用电 .....	366
一、	触电 .....	366
二、	触电方式 .....	366
三、	接地和接零 .....	368
	本章小结 .....	369
	习题 .....	370
	附录 .....	371
	习题答案 .....	377

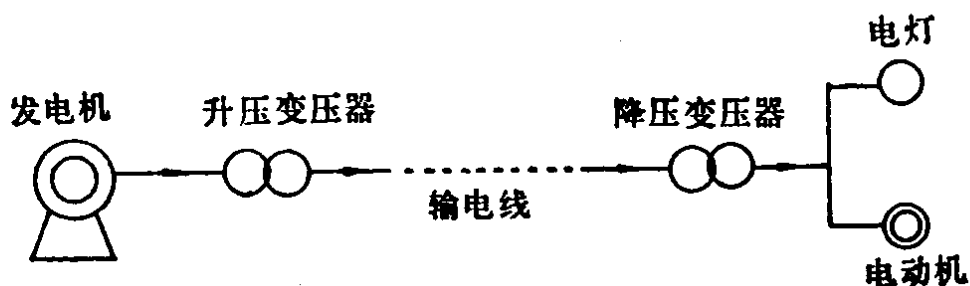
# 第一章 直流电路

## 1-1 电 路

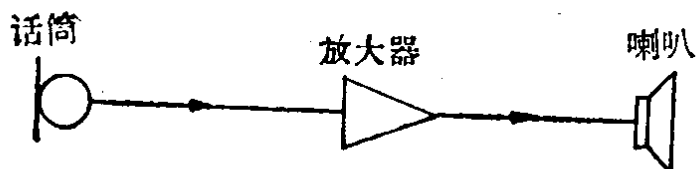
### 一、电路组成与电路模型

电流的流通途径就是电路。电路通常由电源、负载、控制与连接部分组成。

电路的功能是实现电能的传输和转换，或信号的传递和处理。图 1-1 就是这两类电路的示意图。



(a) 电力系统



(b) 扩音机

图 1-1 电路示意图

在图1-1(a)\*中,发电机是电源,它将非电能(热能、水能、

\*这里选用的发、输、配电系统是交流电力系统,详见第七章。

原子能等)转换成电能。电池(干电池、蓄电池)是另一种常见的电源,它可以将化学能转换成电能。

电灯、电动机等都是负载,即用电设备,它们分别可以将电能转换成光能、机械能。

变压器、输电线以及各种开关、熔断器(图中未画出)等可以看作控制与连接部分,它们起传输和分配电能的作用。

图 1-1(b)中,话筒(即微音器、麦克风)可将声音转换成相应的电流或电压,这就是电信号,经过放大器(其中含有电源)放大后传递到扬声器,便足以使喇叭发音。信号的这种转换和放大,就是信号的处理,喇叭就是负载。

为了分析电路时的方便,需要对组成电路的实际部件加以简化,忽略它的次要性质,用一个足以表征其主要电磁性能模型来表示。例如,忽略电源的微小内阻而将它看作端电压为  $V_s$  的电压源元件;忽略连接导线的微小电阻而将它看作电阻为零的理想导体;把灯泡看作只消耗电能的电阻元件,其电阻为  $R$ 。经过这样简化(即理想化)后,图 1-2(a)所示手电筒的实际电路便可以用图 1-2(b)所示的电路模型来表示。一个实际电路的电路模型常由几个理想电路元件构

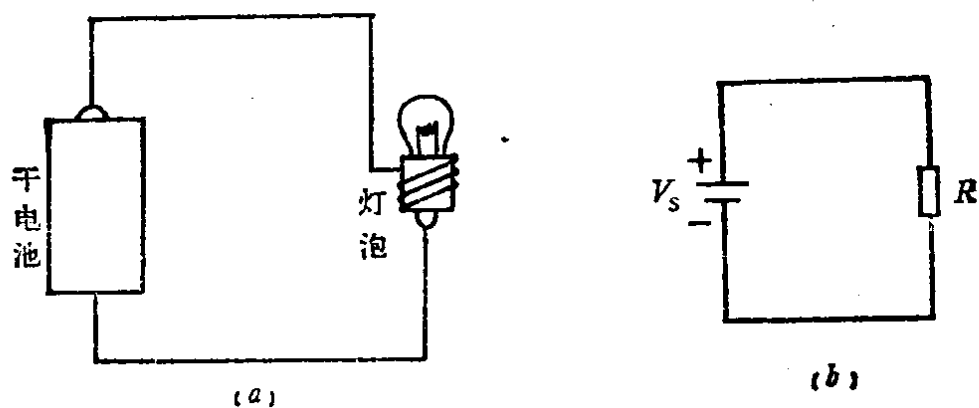


图 1-2 实际电路及其电路模型



成。

## 二、电流和电压的正方向(参考方向)

在实际的电路分析中, 电流(或电压)的实际方向往往事先不知道, 或者电流的实际方向时刻在变化(如交流电路), 因而电流的实际方向往往难以在电路图中用一个箭头标出, 于是引出参考方向(又称正方向)的概念。

正方向是任意选定的, 在电路图中预先用箭头表示出来再行计算, 如果计算所得电流为正值, 表示电流的实际方向和正方向一致; 如计算所得电流为负值, 表示电流的实际方向和正方向恰好相反, 如图1-3所示。因此, 在正方向选定后, 电流值才有正负之分, 才是一个代数量。今后, 除特别说明外, 本书电路图中电流方向都指正方向, 正方向不一定要和实际方向一致。

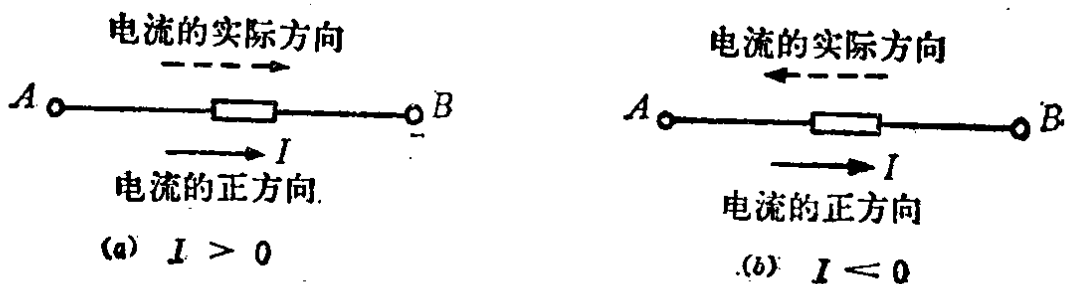


图 1-3 电流正方向和实际方向的关系

同样, 电压也常用正方向表示, 其正方向和实际方向的规定和电流一样。所不同的是, 电压的正方向除了可用箭头表示外, 还可以用极性来表示。图1-4中(a)和(b)是完全相同的。

此外, 电压常用双下标表示, 如图1-4中 $V$ 即 $V_{AB}$ 之意。电流的双下标表示则用得较少, 因为电路图上两点之间