

中等专业学校

《电工基础》教学参考

张洪让 编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 简 介

本书是根据国家教育委员会 1987 年颁布的中等专业学校工
科电工类专业《电工基础教学大纲》，配合张洪让编《电工基础》教
材(高等教育出版社 1990 年版)编写的教学参考书。书中逐章说
明教材内容的基本要求、重点难点和编写思路，提出教学建议，提
供参考资料，对部分习题给出提示或参考解法。本书反映了编者
丰富的教学经验。全书条理清楚、重点突出，文字简练通顺。

本书供中专电工、电力类各专业师生使用，也供成人中专、职
业高中有关专业师生使用。

中等专业学校

《电工基础》教学参考

张洪让 编

•

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

常熟市古籍上海印刷厂印装

•

开本 787×1092 1/32 印张 5.25 字数 105,000

1992 年 2 月第 1 版 1992 年 2 月第 1 次印刷

印数 00,001—2,236

ISBN 7-04-003648-7/TM·183

定价 1.75 元

前 言

本书是根据国家教育委员会 1987 年颁布的中等专业学校工科电工类专业通用《电工基础课程教学大纲》，配合张洪让编《电工基础》教材（高等教育出版社 1990 年版）编写的教学参考书。

本书各章内容包括四个部分。一、本章的目的要求，这是教学大纲中基本要求的具体体现。二、教材说明，说明教材内容和编写思路，指出教学的重点和难点。三、教学建议和参考资料，提出课时分配和课外习题的建议，给出一些备课用的参考资料。四、部分习题提示或解答，对教材中各节后的自我检查题部分给出提示，对各章后的课外习题部分给出提示、部分给出参考解法。

希望本书有助于教师备课、讲课，有助于学生复习、练习、提高。

编写本书，借鉴了李树燕主编《电路基础教学参考》（高等教育出版社 1989 年版），书稿又承李树燕老师审阅，谨致衷心的感谢。

张洪让

1990 年 11 月

目 录

前言	1
第一章 电路的基本概念和基本定律	1
一、目的要求	1
二、教材说明	1
三、教学建议和参考资料	6
1. 课时分配及课外习题	6
2. 关于中国电力工业	6
3. 电路理论发展简况	7
4. 关于电路模型	8
5. 关于电路的基本物理量	8
6. 关于国际单位制 (SI)	9
7. 关于参考方向	10
8. 关于基尔霍夫定律	10
9. 关于电阻、电容、电感三种元件	11
四、部分习题提示或解答	11
第二章 电阻性电路的分析计算	14
一、目的要求	14
二、教材说明	14
三、教学建议和参考资料	18
1. 课时分配及课外习题	18
2. 关于电路模型与等效网络	18
3. 星形联接电阻和三角形联接电阻的等效互换	19
4. 关于独立回路组的选择	23
5. 2b 法	24
四、部分习题提示或解答	28
第三章 电容和电感	34
一、目的要求	34
二、教材说明	34

三、教学建议和参考资料	33
1. 课时分配及课外习题	38
2. 关于高斯定理和安培环路定律的证明	39
3. 关于单位安培的定义	39
4. 记忆元件与无记忆元件	40
四、部分习题提示或解答	41
第四章 正弦交流电路	46
一、目的要求	46
二、教材说明	46
三、教学建议和参考资料	52
1. 课时分配及课外习题	52
2. 关于电路的稳态	53
3. 关于相量法	54
4. 关于复导纳和复功率	56
5. 关于品质因数	57
6. 关于 $M_{12} = M_{21}$	58
7. 关于同名端的定义	59
四、部分习题提示或解答	60
第五章 三相正弦交流电路	79
一、目的要求	79
二、教材说明	79
三、教学建议和参考资料	81
1. 课时分配及课外习题	81
2. 关于三相输电线和单相输电线的金属用量	82
3. 关于对称制和平衡制	83
4. 关于三相电压和电流对称分量的性质	84
四、部分习题提示或解答	85
第六章 非正弦周期性电流电路	98
一、目的要求	98
二、教材说明	98
三、教学建议和参考资料	100
1. 课时分配及课外习题	100
2. 关于傅里叶系数的数值解法	101
3. 频谱	101

4. 傅里叶级数的指数形式	102
5. 傅里叶变换	104
四、部分习题提示或解答	106
第七章 动态电路的全响应	112
一、目的要求	112
二、教材说明	112
三、教学建议和参考资料	116
1. 课时分配及课外习题	116
2. 关于换路定律	116
3. 关于稳态响应和暂态响应	117
4. 关于零输入响应和零状态响应	119
5. 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	120
四、部分习题提示或解答	122
*第八章 均匀传输线	137
一、目的要求	137
二、教材说明	137
三、教学建议和参考资料	139
1. 课时分配及课外习题	139
2. 关于均匀线方程	140
3. 奈培和分贝	141
4. 均匀线副参数的测定	141
5. 关于驻波	142
四、部分习题提示或解答	142
第九章 磁路和铁心线圈	146
一、目的要求	146
二、教材说明	146
三、教学建议和参考资料	148
1. 课时分配及课外习题	148
2. 关于磁化电流有效值的计算	149
3. 关于磁滞损耗	150
4. 关于涡流损耗	151
5. 关于铁心线圈的等效电感	153
四、部分习题提示或解答	153

第一章 电路的基本概念和基本定律

一、目的要求

1. 深刻理解电路模型的概念。
2. 熟练掌握电流、电压及其参考方向的概念。
3. 熟练掌握电功率的分析计算。
4. 熟练掌握基尔霍夫定律(KOL 和 KVL)。
5. 熟练掌握电阻元件、理想电压源、理想电流源的参数与电压电流关系。

二、教材说明

本章先提出电路模型的概念(§ 1-1), 以后的内容分三部分: 电流、电压(§ 1-2), 电功率(§ 1-3); 基尔霍夫定律(§ 1-4); 电阻元件(§ 1-5), 电压源和电流源(§ 1-6)。

教材的编写中, 考虑到学生已在物理课中学过以下内容: 电势能、电势、电势差, 电流、电流的形成、电流强度, 一段电路的欧姆定律、电阻定律($R = \rho \frac{l}{S}$)、电阻率, 电流的功和功率、焦耳定律, 电源及其电动势, 惠斯通电桥, 周期、频率。

§ 1-1 的内容有: 实际电路及其主要功能, 电路模型, 有关电路的一些名词。主要内容为电路模型的概念, 电路模型和实际电路之间的联系和差别是教学中需要经常注意的问题。由于从 § 1-2 起就要陆续涉及有关名词, 所以在提出电路图

后,介绍了串联、并联、支路、节点、回路等名词。

§ 1-2 的主要内容为:电流的大小和方向,电压的大小和方向,电流、电压的参考方向的定义和需要注意的问题,电位(即中专《物理》中的电势)的定义及其与电压的关系。

“电荷在电场(库仑电场)中从一点移到另一点时,它具有的能量的改变量只和这两点的位置有关,而与移动的路径无关”这一重要结论,既是定义电压之前必须明确的,也是掌握 KVL 所需要的。

在定义了电流、电压及其参考方向之后,提出了瞬时值、解析式、波形等,并举例说明。以往的中专教学中,开始只提直流量,到正弦交流电路才提瞬时值,现在的处理不同,教学中要注意这一点。

通过教材中的图 1-5 复习了周期和频率。例 1-3 说明了常用到的计算某两点间电压的方法。例 1-4 说明了电位与参考点的选择有关,但电压与参考点的选择无关。

§ 1-3 的主要内容为任一支路任一瞬间功率的计算及如何判断该支路是接受还是发出功率,所得结论是计算功率的基本原则,将适用于任何电路中的任何一个二端网络。直流情况下 $P=UI$, 电阻元件的 $p=i^2R$, 正弦交流电路中的 $P=UI\cos\varphi$ 等都是由此推出的。注意式(1-4)的 p 、 u 、 i 是瞬时值,更要注意用式(1-4)时,已经确定了所得的 p 是支路接受的(如所选电压电流为关联参考方向)或是发出的功率(如所选电压电流为非关联参考方向)。

关于“电路的功率平衡”,教材中是从能量转换与守恒定律引伸出来的,是可以理解的。电路的瞬时功率守恒及正弦

交流电路的复功率守恒，可由特勒根定理 (Tellegen's theorem) 及其有关推论论证。

解例 1-5(3) 时，注意要先选电流的参考方向。

§ 1-4 中，从电流的连续性原理提出 KCL，并推广应用于封闭面；从电压与路径无关提出 KVL；特别提出 KCL 和 KVL 只与支路的连接方式有关，且互连约束关系是线性关系。为了明确 KCL 和 KVL 与元件性质无关，要多提供应用 KCL 和 KVL 的场合(多用才便于掌握)，所以在介绍具体元件之前，先介绍基尔霍夫定律。这样也就较好地明确了：不管什么元件或支路串联，特别是不限于电阻串联，KCL 决定了它们的电流相等；不管什么元件或支路并联，KVL 决定了它们的电压相等。

由于互连约束关系是线性关系，所以线性电路的所有约束关系组成的方程组为线性方程组。

§ 1-5 的内容是：电阻元件的定义及电压电流关系，短路和开路，电路元件的功率。

从电阻器到电阻元件，说明了实际器件与理想元件的联系和差别。电阻器的电压和电流的方向总是一致的。电阻元件是一个模型，其定义应该包括电压电流的大小和方向两个方面，一般资料中常忽略了对方向的规定(对电容元件和电感元件也是如此)。

在分析有关并联问题时，引用电导 G (及复导纳 Y) 常比用电阻 R (及复阻抗 Z) 方便，教材中 R 和 G 是并重的。

对电阻元件的电压电流关系即式(1-9)(即欧姆定律)，需要理解怎样得出来的，才能明确它是由元件的定义得出的、

以选择关联参考方向为前提的、包含了元件的电压电流大小关系和方向关系的结论,也才能认清实际器件与元件的关系,并为掌握电容元件、电感元件的电压、电流关系打下基础。

电阻元件的电压和电流的波形是相似的,这是常用到的概念。

元件约束和元件在电路中的连接方式无关。整个电路的电流、电压由互连约束和元件约束所支配,这是必须建立的分析电路的基本概念,教材中随时指明了这一点并分清两类约束,教学中也应随时注意这一点。

短路和开路是电路问题经常用到的一对重要概念。一般资料中对它们没有明确的定义,也就没有指明对其分析的原则。教材中明确定义:短路即零电阻,其电压总为零,其电流由其外部决定;开路即无限大电阻,其电流总为零,其电压由其外部决定。这一定义明确了分析短路和开路问题的原则,也解决了如何对待零电压源和零电流源,要注意学习使用。关于这一定义,可参阅林争辉著《电路理论》第一卷(高等教育出版社,1988年)有关内容。

注意 $i^2 R$ 和 $u^2 G$ 是电阻元件接受的功率。

§ 1-6 中,先定义了电压源和电流源,并联系了无限大电阻与零电流源、零电阻与零电压源,还提出了独立源、激励和响应等名词。然后介绍直流电源的两种电路模型,并说明电压源、电流源和实际电源的联系和差别。最后附带提到电动势,说明近代电路理论中逐渐省略了这个量。

向电路提供能量的设备是电源,向电路提供信号的设备也是电源。后一点常易忽略。教材中注意到这一点,并指明

定义理想电压源的根据既是发电机的电压差不多是一定的时间函数，也是一些信号源向电路输入的是近乎不变的电压信号。对定义理想电流源也类似。这就可以顺理成章地得出替代定理(substitution theorem)：一个固定的电压信号可以用一个电压源替代，一个固定的电流信号可以用一个电流源替代，而不需另作论证了。

教材指明， $u_s(t)$ 不相等的电压源并联，在理论上是没有意义的，因为违背 KVL； $i_s(t)$ 不相等的电流源串联，也是没有意义的，因为违背 KCL。在分析实际电源的有关问题，例如电压接近开路电压的电源短路的问题时，则不能简单地用电压源直接作为该电源的电路模型，而需用较复杂的，例如电压源与电阻的串联组合为其电路模型。

教材指出，伏安特性如图 1-26 b 的直流电源，既可用电压源电阻串联组合为其电路模型，也可用电流源电阻并联组合为其电路模型。也就是说，并不是电压接近开路电压而变化不大的电源只能用电压源电阻串联组合为其电路模型，用电流源电阻并联组合也是可以的。对于正确建立电路模型的概念，需要明确这一点。按此，教材中不使用“实际电压源”和“实际电流源”这一对不妥的名词。

近代电路理论中，省略了电动势这个量。考虑到有关课程的需要，教材中涉及电磁感应问题时，还是用电动势进行分析的。

本章的内容及第三章中的电容元件、电感元件是中专电路理论的基础，十分重要。理想元件和电路模型，参考方向，电功率，KCL 和 KVL，电阻元件，电压源和电流源，都是本章

的重点。本章的难点是：参考方向的概念，电流源的概念，KVL的应用。

三、教学建议和参考资料

1. 课时分配及课外习题

第一章 电路的基本概念和基本定律(10 课时)

讲 课 内 容	课时	课外习题
§ 1-1 电路和电路模型 § 1-2 电流, 电压	2	
§ 1-3 电功率 § 1-4 基尔霍夫定律	2	1-1 1-2 1-3
§ 1-5 电阻元件	2	1-4
§ 1-6 电压源和电流源	2	1-5 1-6 1-8
习题课 KCL 和 KVL 的应用	2	1-7 1-9 1-10

2. 关于中国电力工业

1949~1987 年间, 中国历年发电装机容量和总发电量如下表:

年 份	1949	1952	1957	1962	1966	1972
发电装机容量(万千瓦)	185	196	464	1304	1702	2950
总发电量(亿千瓦·时)	43.1	72.6	193	453	825	1595

1976	1978	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
4715	5713	6587	6913	7336	7641	8012	8705	9382	10193
2031	2566	3006	3093	3277	3514	3770	4107	4496	4960

1987年底我国拥有的发电设备装机容量已达到一亿千瓦以上,其中水电近3000万千瓦。发电装机容量为1949年的55.1倍,1987年的总发电量为1949年的115.1倍。标志着我国电力工业跨入了世界先进行列。

3. 电路理论发展简况

电路理论是研究电路的基本规律及其计算方法的学科,在经历了一个世纪的发展之后它已成为一门具有完整体系的学科,并且在生产实践中获得极其广泛的应用。电路理论的形成和发展,大体上经历了三个阶段。

电路理论作为一门学科是在20世纪30年代建立起来的,在此之前,它是物理学中电磁学的一个分支。这一时期的主要成果如:1827年的欧姆定律,1845年的基尔霍夫定律,1894年把复数理论应用于电路,1911年的阻抗概念,1921年的四端网络和黑盒子概念,1926年的暂态响应概念等。

从本世纪30年代开始至60年代初,随着电力系统、通讯系统和控制系统的发展,电路理论逐步成熟,形成一门独立的学科。这个阶段通常称为经典电路理论阶段。30年代至40年代的重要成果如:1930年的网络综合逼近理论,1933年的一般四端网络的综合方法,1938年的傅里叶变换应用于电路等。40年代以后,电路理论日趋严谨完善,重要成果如:引入图论基础,提出节点法和编写网络方程的系统步骤,在网络分析中应用张量变换和把群论引入网络分析,复变函数理论应用于网络的分析和综合等。

50年代末期,在整个电工领域形成的所谓“电子革命”和“计算机革命”,促进了60年代电路理论的巨大变革。从原来

研究线性、定常、无源、双向元件的电路理论，向研究非线性、时变、有源、非互易的电路理论发展。继过去将全响应分解为稳态响应和暂态响应，又将全响应分解为零输入响应和零状态响应。导出了卷积积分，导出了网络在任意波形激励下的响应。进一步运用和扩展了傅里叶分析。系统引用了拓扑学的成果，使电路的拓扑分析成为整个电路理论的一个重要组成部分和电路的计算机研究方法的基础。从动力学体系引入了电路的状态、状态变量和状态空间的概念。等等。60年代以后的电路理论一般称为近代电路理论。

(引自：林争辉著《电路理论》第一卷，高等教育出版社，1988年；李树燕主编《电路基础教学参考》，高等教育出版社，1989年。)

4. 关于电路模型

电路理论所研究的乃是电路模型，构成电路模型的是理想电路元件。电路模型乃是实际电路的科学抽象。

现代科学的重要特征之一是将其研究的对象看成由反映其主要性质(忽略其次要性质)的一些特定的单元即模型所组成，如力学中的质点和刚体等，某个学科的研究就建立在对该学科的某些特定单元即模型的研讨的基础上。

电路的研究建立在对理想电路元件及其互连规律的研讨的基础上。

这是需要明确的科学思维方法。

5. 关于电路的基本物理量

电路理论中，把电路的基本量分为基本物理量和基本复合量两类。近代电路理论中，一般将电路的基本物理量规定

为四个：‘电流、电压、磁通和电荷(量)’。主要原因是表达电磁场基本规律的麦克斯韦方程组确定了电磁场的四个基本物理量：磁场强度、电场强度、电位移和磁感应强度，而路是场的集中表现，对应到电路中就是电流、电压、电荷(量)和磁通了，因为

$$\oint H \cdot dl$$

$$\int_1 E \cdot dl$$

$$\oint_S D \cdot dS$$

$$\oint_S B \cdot dS$$

另外，有了这四个基本物理量，才能完整定义理想电路元件。

而在研究线性、无源，定常电路的情况下，可以只把电压、电流作为电路的基本物理量，使问题得以简化。

电路的基本复合量为电功率和电能两个。

6. 关于国际单位制(SI)

1984年2月，我国国务院发布《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，规定SI为我国法定计量单位的基础。

SI有七个基本单位：长度以米(m)为单位，质量以千克(kg)为单位，时间以秒(s)为单位，电流以安培(A)为单位，热力学温度以开尔文(K)为单位，物理当量以摩尔(mol)为单位，发光强度以坎德拉(cd)为单位。其它物理量的单位可以根据其定义式从这些基本单位导出。如电量的单位为库仑(C)， $1C=1A \cdot s$ 。为了使单位含意清楚，有些物理量的导出单位也可以用具有专门名称的SI导出单位表示，如功率的单位为瓦特(W)， $1W=1J/s$ ，电压的单位为伏特(V)， $1V=$

1W/A。

7. 关于参考方向

参考方向以往常叫正方向,又常将方向说成实际方向。对“方向”而言,加上“实际”二字是多余的,教材中不使用“实际方向”这一名词。

参考方向的概念,对中级技术人员而言,是需要深刻理解和牢固掌握的。1963年编者将这一概念引入中专教材(《电工基础》,中国工业出版社,1963年。)以来,经过多年的实践和研讨,积累了不少使学生掌握这一概念的教学经验。归纳起来有:(1)这个既是重点又是难点的内容,不是学完本章、更不是学完§1-2就能掌握的,而要贯穿在本课程的全部教学过程中。(2)要经常启发学生认识引用参考方向的必要性和注意点(教材第8页提出了四点)。(3)教师在教学中对这一概念的论述要特别严谨,对学生要特别严格要求。(4)这一概念不能仅停留在§1-2中的规定,它还在发展,如功率计算与参考方向的选择的关系,正弦量的解析式与参考方向选择的关系体现于初相和相位差等,教学中要不断循序渐进,温故知新。(5)多让学生实践,所以教材一开始就提出这一概念。

8. 关于基尔霍夫定律

教材先介绍基尔霍夫定律,后介绍电阻等元件,意图是突出基尔霍夫定律与元件性质无关和加强对基尔霍夫定律的应用。教学中,也可以先讲元件,后讲基尔霍夫定律。

基尔霍夫定律只适用于集总参数电路,对用分布参数元件或其组合构成的电路模型。即分布参数电路,基尔霍夫定律

可用于其每一长度元。电力类专业将在教材第八章中学习这方面的内容。不学该章内容的学生,可参看该章引言及§8-1。

9. 关于电阻、电容、电感三种元件

能源部电力类专业课程教学大纲对教材第三章的内容,不要求学习§3-1、§3-2、§3-3、§3-7、§3-8,要求学习的§3-4、§3-5、§3-6(部分)、§3-9、§3-10可移到本章电阻元件之后教学,电阻、电容、电感三种元件一起学,有利于对它们进行比较。

四、部分习题提示或解答

1.4.4 在列出各节点电流方程后,可进一步思考,这些方程是否都是独立的?所列各回路电压方程是否都是独立的?

1.6.4 所得结论有“无分支电路的欧姆定律”之称。物理课中的“全电路的欧姆定律”也可由它得到。此后(如解題1.6.6a)可以直接引用这一结论。

$$1.6.5 \quad u = \frac{\sum i_k}{\sum G}。$$

这一结论将作为节点法的特例得出,并有弥尔曼定理之称。

1.6.6 解b时,先求 3Ω 、 6Ω 电阻的电压。

1.6.8 本题及題1-11指明一些测定直流电源的电路模型的方法。

1-1 做完此题可以知道,一个元件或一个支路,如在某些时间内接受功率,并不一定所有时间都接受功率。另外,电阻元件是不是这样呢?

1-3 应用KOL和KVL。所得结论就是惠斯通电桥的