

中等专业学校

电路基础教学参考

李树燕 主编

高等教育出版社

中等专业学校

电路基础教学参考

张其成 主编



北京理工大学出版社

内 容 简 介

本书系根据1987年国家教委颁发的中等专业学校工科电子类专业《电路基础教学大纲》，配合李树燕主编的《电路基础》教材编写的。编者根据自己多年从事中专电路基础教学工作的丰富经验，逐章阐述了教材内容的基本要求和重点难点，提出了教学建议，介绍了有关参考资料，给出了部分习题的参考解法。本书既是供教师备课用的教学法参考书，也是一本学习指导书。全书论述简明，条理清楚，文字通顺，取材恰当。

本书主要供中专电子类各专业师生阅读，也可供职工中专、职业高中有关专业师生参考。

中等专业学校 电路基础教学参考

李树燕 主编

高等教育出版社出版
新华书店上海发行所发行
商务印书馆上海印刷厂印装

开本 787×1092 1/32 印张 6.875 字数 163,000

1989年4月第1版 1989年4月第1次印刷

印数 0001—4,400

ISBN 7-04-002073-4/TM·126

定价 1.50 元



前 言

本书是根据一九八七年国家教委审定的中等专业学校电路基础教学大纲(工科电子类专业通用),配合李树燕主编的《电路基础》教材编写的。

编写这本教学参考书的目的,是为了给担任中专电路基础课程教学工作的教师提供一些帮助。本书介绍了《电路基础》教材的编写意图和思路,对教材内容的基本要求和内在联系作了说明,给出了一些备课用的参考资料,同时给出了99道习题的参考解法,以利于教师精选作业。另一方面,本书也可作为学生学习该课程时的学习指导书,对了解每章的教学要求,重点难点,内容深度,解题思路等均有帮助。

本书各章主要内容包括四个部分。一是本章的**目的要求**,这是教学大纲中基本要求的具体体现,也是教师讲授本章必须达到的目的要求。二是**教材说明**,给出了本章教学时数的具体分配建议,逐节介绍了教学内容及其相互联系,指出了教学的重点和难点。三是**教学建议及参考资料**。为了明确中专层次的教学要求,解释教材上有关内容的提法,本节给出了一些背景材料。在一些问题上,对高校与中专的教学要求作了比较,使教师了解某些内容的全貌,以便把握住中专层次的要求,使讲解深入浅出,既通俗又不讲错。对于一些容易混淆的概念作了深入介绍。四是**部分习题解答**。对一些容易作错的习题和一些较难的习题,给出了参考解法。这种解法不是

唯一的,也不一定是最佳的,仅供参考。

本书由南京无线电工业学校李树燕编写第一、二、四、五、六、九等章,由李明章编写第三、八两章,由李石熙编写第七章,并由李树燕统编全稿。本书由西安航空专科学校曹彦芳主审,并经全国中专电工基础课程组审定。

由于编者的水平有限,加以编写时间仓促,本书在内容和文字上都来不及过细推敲,难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正,以便今后进一步修改提高。

编者

1988年4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、教学建议及参考资料	3
1. 电路学科的发展简史	3
2. 关于电路模型的问题	5
3. 为什么电路的基本物理量有四个	6
4. 关于电流和电压的参考方向	8
5. 关于电阻元件的定义	10
6. 基尔霍夫定律的适用范围	11
7. 关于两类约束问题	12
参考书目	15
四、部分习题的解答	15
第二章 直流电阻电路的分析与计算	20
一、目的要求	20
二、教材说明	20
三、教学建议及参考资料	23
1. 电阻的串、并、混联	23
2. 关于等效变换	23
3. 关于平面(网络)电路	25

4. 两类约束与两套正负号	26
5. 图论简介	27
6. 理想电源的转移	32
7. 关于独立回路的问题	35
参考书目	39
四、部分习题的解答	40
第三章 电容和电感	55
一、目的要求	55
二、教材说明	55
三、教学建议及参考资料	58
1. 耗能元件与储能元件	58
2. 自感电压的实际极性	60
3. 磁场物理量的单位	62
4. 三个基本元件	62
参考书目	62
四、部分习题的解答	63
第四章 正弦稳态交流电路	67
一、目的要求	67
二、教材说明	67
三、教学建议及参考资料	72
1. 交流电的引出	72
2. 稳态分析与暂态分析	73
3. 正弦量的相量表示法	74
4. 串联电路与并联电路的稳态分析	77
5. 关于计算机解题	78
参考书目	78
四、部分习题的解答	78
第五章 互感耦合电路	103

一、目的要求	103
二、教材说明	103
三、教学建议及参考资料	106
1. 互感的定义	106
2. 同名端的定义	106
3. 互感电路的分析	108
4. 互感线圈的串联与并联	109
5. 关于反射阻抗	109
6. 具有铁心的交流线圈	110
7. 关于理想变压器	110
参考书目	111
四、部分习题的解答	112
第六章 谐振电路	126
一、目的要求	126
二、教材说明	126
三、教学建议及参考资料	128
1. 谐振电路	128
2. 串联电路的谐振条件和谐振特征	128
3. 电流谐振曲线	131
4. 串联谐振电路的通频带	133
5. 关于并联电路的谐振	135
6. 复杂的并联谐振电路	138
参考书目	139
四、部分习题的解答	139
第七章 非正弦周期性电流电路	144
一、目的要求	144
二、教材说明	144
三、教学建议及参考资料	146
1. 关于傅里叶级数的展开	146

2. 关于周期信号的频谱	147
3. 关于谐波分析法	149
参考书目	150
四、部分习题的解答	150
第八章 线性动态电路的分析	161
一、目的要求	161
二、教材说明	161
三、教学建议及参考资料	164
1. 关于动态分析与稳态分析	164
2. 一阶电路及其求解	165
3. 关于初始值的计算	166
4. 关于全响应	168
5. 关于三要素法	169
参考书目	171
四、部分习题的解答	171
第九章 二端口网络	186
一、目的要求	186
二、教材说明	186
三、教学建议及参考资料	188
1. 端口与端钮	188
2. 研究二端口网络的意义	189
3. 二端口网络的基本方程和参数	191
4. 关于输入阻抗、输出阻抗和传输函数	193
5. 关于线性二端口网络的等效电路	194
6. 关于二端口网络的特性阻抗与传输常数	195
参考书目	198
四、部分习题的解答	199

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。深刻理解电流、电压及其参考方向的概念。
2. 熟练掌握电阻元件、电压源与电流源的参数与伏安特性。
3. 熟练掌握基尔霍夫定律。

二、教材说明

本章教材分成五节, 主要介绍电路模型、电流、电压及其参考方向、功率等基本概念; 研究理想元件如电阻元件、电压源、电流源等元件的参数和伏安特性; 介绍电路的基本定律即基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

本章教学约需 10 课时, 其中讲课为 8 课时, 习题课为 2 课时。具体分配如下, 仅供参考:

§ 1-1 电路和电路模型	} 约 2 课时
§ 1-2 电路中的基本物理量	
§ 1-3 电阻元件	约 2 课时
§ 1-4 电压源与电流源	约 2 课时
§ 1-5 基尔霍夫定律	约 2 课时
习题课	约 2 课时

第一节是电路和电路模型。教材首先介绍了电路理论在众多学科和国民经济发展中的地位和作用。然后给出了电路的定义。着重介绍了使用理想化模型来研究电路问题,电路理论系建立在模型概念的基础上的。用理想化的模型来描述电路(或一个系统)是一种十分重要的研究方法。理想化的模型是由一些理想元件组合而成,所以对理想元件的概念也给予了介绍。本节最后介绍了国际单位制(SI)。

第二节是电路中的基本物理量。考虑到学生的基础和教学要求,本节对电路四个基本物理量(电荷、电流、电压和磁通)只介绍了电流和电压,对二个基本复合量(电能和电功率)只介绍了电功率。教材强调了参考方向的重要性,不给定参考方向而谈论一个电流或电压,乃是一个不确定的事物。只有给定电流和电压的参考方向时,才能写出一个元件的功率表达式,根据计算结果的正负,再来确定元件是消耗功率还是发出功率。教材只介绍了关联方向下的功率表达式,而对非关联方向下的功率表达式未予介绍,以免引起混乱。

第三节是电阻元件。教材对电阻元件所下的定义是浅显易懂的。介绍了线性电阻元件与欧姆定律。在写出欧姆定律时,再次强调了参考方向问题。对电阻和电导给出了明确的定义。最后对电阻的功率加以分析,对电阻的热效应与电器的额定值作了适当介绍。

第四节是电压源与电流源。首先介绍了电压源这一理想元件。先从直流电压源讲起,对它的二个特点,即输出电压不变而输出电流随外电路而改变予以强调,给出了它的伏安特性。后面将介绍实际直流电源用电压源与电阻串联组合表示

的电路模型。在理解直流电压源的基础上介绍更一般的电压源。电流源也用同样方法介绍。

第五节是基尔霍夫定律。基尔霍夫两定律是分析电路的两个基本定律。基尔霍夫电流定律(KCL)由电荷守恒发展而来,基尔霍夫电压定律(KVL)是能量守恒的推论。对于线性或非线性,时变或定常(又称非时变)的元件所组成的电路,两定律均适用。教材首先介绍了支路、节点、回路、网孔等有关电路名词的概念,然后介绍了KCL及KCL的推广应用。最后介绍了KVL,并举例说明它的用法。基尔霍夫两定律只适用于集中参数电路,对分布参数电路不适用,这一点由于教材的篇幅有限,没有作介绍。

本章是学习《电路基础》的基础,弄清基本概念与基本定律十分重要。

本章的重点是:理想元件的概念,电路模型的概念,电流、电压及其参考方向的概念,电功率的概念,电阻元件、电压源和电流源的概念,KCL和KVL。

本章的难点是:参考方向(在应用欧姆定律和基尔霍夫定律时,学生常常会忘记选取电流和电压的参考方向),电流源的概念,KVL的应用。

三、教学建议及参考资料

1. 电路学科的发展简史

对电路基础课程的教师来说,需要了解一下电路学科的发展简史。

电路理论是当代电工、电子学技术的重要理论基础之一,

在经历了一个多世纪以后，它已发展成一门体系完整、逻辑严密、具有强大生命力的学科。它是一门内容十分丰富、发展极为迅速、对国民经济和众多学科的发展有着重大影响的学科。电路学科的历史发展情况，大体上经历了三个阶段。

① 从十八世纪二十年代开始到本世纪三十年代，电路理论被看成电磁学的一个分支。这一时期的主要成果有：1827年的欧姆定律，1845年的基尔霍夫定律，1911年 Heaviside 提出的阻抗概念，1920年 Campbell 提出的理想变压器概念，1921年 Brisig 提出的四端网络和黑盒子概念，1926年 Küpfmüller 提出的瞬态响应的概念等等。

② 从本世纪三十年代开始，至六十年代初，伴随着电力系统、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，通常称为传统电路理论或经典电路理论阶段。其中三十年代至四十年代的重要成果有：1930年的网络综合逼近理论，1933年提出一般四端网络的综合方法，1934年提出的负反馈理论，1938年把富里哀变换应用于分析网络响应，此外还有一些网络的综合实现。这样，到了四十年代这门学科的体系在分析方面主要包含直流电路、交流电路和瞬态等几个组成部分；在综合方面主要包括实现、逼近和等值几个部分。四十年代以后，电路理论日趋严谨完善。主要成果有：在电路中引入图论基础，用拓扑的观点来研究电路的模型，在电路分析中提出节点法，并提出编写网络方程的系统步骤，对四端网络理论加以一般化，在网络分析中应用张量变换并把群论引入网络分析，把复变函数理论严谨地应用于电路的分析和综合，使电路的物理行为确切地展示在复频率平面

上。

③ 从六十年代至今, 电路理论又经历了一次重大的变革。这一变革的主要特征是新型电路元件的出现和计算机的冲击。从原来研究线性、定常、无源、双向元件的 RLO 电路理论, 向研究非线性的、时变的、有源的、非倒易的电路理论发展。在时域方面继过去把全响应分解为稳态和暂态之后, 又把全响应分解为零状态响应和零输入响应, 在频域方面引入了指数信号, 通扩了富里哀分析, 系统地引用了拓扑学的成果, 作为电路的计算机研究方法的基础。从动力学体系引用了状态、状态变量的概念。在综合方面研究了无损耗四端网络的级联综合问题。计算机的应用极大地发展了电路的分析和设计方法。在这一阶段的发展过程中, 矩阵、抽象空间、拓扑、广义函数论、泛函分析等在电路理论中的运用, 使我们这一学科在理论上的完备性和逻辑上的严密性达到了一个优美的高峰。六十年代以后的电路理论一般称之为近代电路理论。

2. 关于电路模型的问题

对于中专学生来讲, 并不要求其熟练掌握建立电路模型的本领, 但是利用电路模型来分析电路这种科学思维方法, 是中级技术人才应该具备的业务素质之一。

对于电磁现象, 在研究某一方面的问题时, 常常抓住与问题有关的主要方面(即主要的电磁特性), 而忽略与问题无关的次要方面, 来加以分析。这将使问题简化、集中、易于解决, 应用于实际中可以得到满意的结果。电路模型正由此产生。

电路理论建立在模型概念的基础上。要分析任何一个复杂的物理系统, 我们必须用理想化的模型来描述这个系统, 而

理想化的模型则由一些理想化的元件组合而成。所谓理想化的元件本身也是一些简单的模型，它用来表达或近似地表达一些简单的实际元件或简单的物理现象的性质。虽然理想元件只是近似地描述实际的元件或物理现象，但是理想元件本身是由定义来精确地加以表征的。在电路理论中，我们是研究由理想元件所构成的电路，并且是研究它们的一般性质。在一个实际电路已经给定的情况下，我们就有可能作出一系列理想化模型，使理想化模型的性状和实际电路的性状愈加接近。通过分析电路模型，我们能够预测实际电路的性状，并根据需要设计出更好的电路。

在电路理论中的模型，同经典力学中熟知的模型——质点和刚体类似。质点是小物体的模型。按照定义，质点是没有实际尺寸的，但是它的确具有质量，有完全确定的位置、速度和加速度。同样，刚体被认为具有一定的形状、质量和惯量等等，而且我们假定，不管刚体受到多大外力的作用，刚体中任何两点之间的距离是不变的。严格说来，在自然界中并不存在着质点和刚体这样的东西，然而，这些理想化的模型却能成功地用于设计机器、飞机、火箭等等。

本书第一章和第三章所介绍的这些电路元件，都是一些具有精确的表征特性的模型。这些特性乃是实际使用元件的物理特性的理想化。把这些电路元件相互连接起来，就成为电路。我们正是借助于这种理想化的模型来分析实际电路的。

3. 为什么电路的基本物理量有四个

过去的教材中多半把电路的基本物理量(又称为变量)定

为两个,即电流和电压。随着电路理论的发展,电路的基本变量应该规定为四个,即电流、电压、磁通和电荷。对于中专学生来说,我们仍然可以重点介绍两个,但是教师本身对此要有所了解。规定四个基本变量的理由主要有四条:

① 电路是电磁场的特殊形态。电磁场是研究无限伸展的三维空间中的电磁现象,一旦所研究的电磁现象在空间归结为有限特征时,就成为电路理论。

由麦克斯韦方程组所表达的电磁场基本规律,是人所公认的经典性成果。其微分形式为

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j}_c + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \end{array} \right.$$

麦克斯韦方程组确立了电磁场的四个基本表征量,即磁场强度矢量 $\mathbf{H}$, 电场强度矢量 $\mathbf{E}$, 电位移矢量 $\mathbf{D}$ 和磁感应强度矢量 $\mathbf{B}$ 。

场是路的物理背景,路是场的集中表现。路的表征量和场的表征量也应该是相互联系和统一的。我们已知

$$i = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}$$

$$u = \int_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

$$q = \oint_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S}$$

$$\Phi = \int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

由此可见,电磁场的四个基本物理量 $\mathbf{H}$ 、 $\mathbf{E}$ 、 $\mathbf{D}$ 、 $\mathbf{B}$, 对应到电路中就是 i 、 u 、 q 、 Φ 四个基本物理量了。

② 在以往研究线性定常电路的年代,只确立两个基本变量电流、电压,对于电路的解算工作已经够用了。现在对于非线性电路和时变电路的研究,仅用电流和电压两者作为基本变量是不够的,只有同时引用电荷和磁通作为电路的基本变量,才有助于问题的解决。在电路的状态空间分析中,更需要用到电荷和磁通作为电路的基本状态变量。

③ 四个基本变量自身都具有极其重要的性质。它们分别反映了电流的连续性,在位场情况下电位的单值性,电荷的守恒性,磁通的连续性,这四个量具有基本变量的资格。

④ 只有同时应用四个基本变量的基础上,我们才能够完整地给出电路理想元件的严格定义。有兴趣的读者可以参阅参考书目[1]。

4. 关于电流和电压的参考方向

“参考方向”是一个十分重要的概念。没有它,电流和电压就不能获得完整的表示,元件是消耗功率还是发出功率也无法表达清楚,甚至连欧姆定律都写不出来。国内外重要的电路教材,都把“参考方向”放在第一章的开始部分,作为一个重要的概念予以介绍。

“参考方向”有些类似数学上的坐标轴,没有坐标轴就无法确定点的位置,直线和曲线的位置,曲面的位置等等。没有参考方向也就无法确切地表达电路的基本变量和基本复合