

[苏联] Л.П. 聂孟 K.C. 捷米尔强 著

# 电工理论基础

上册

哈尔滨工业大学电工基础教研室 译

高等教育出版社

# 电工理论基础

## 上册

[苏联] Л.П. 聂孟 K.C. 捷米尔强 著  
哈尔滨工业大学电工基础教研室 译

高等教育出版社

本书是苏联高等与中等专业教育部审定的教科书的中译本。原作者是苏联科学院院士、通讯院士，列宁格勒工业大学教授。原书是苏联教材代表作之一。其前身为聂孟、卡兰塔罗夫著的同名教材，曾由钟兆璜同志译为中文，定名《电工学基础理论》，于1955~1956年出版，对我国教学影响颇大。新版本仍采取“场—路—场”体系，结构严谨，概念清楚，注意联系实际，将公式化的分析计算方法和物理实质联系起来，在保证基本内容的同时，增添了矩阵拓扑法、状态变量法和电路综合等新内容。

全书分上、下两册出版，上册为“电磁场理论和电路与磁路理论的基本概念和定律”、“线性电路理论”两篇，下册为“非线性电路与磁路理论”、“电磁场理论”两篇。本书可供大学本科电工、自动控制等专业学生和技术人员、教师参考。

责任编辑 农植伟

Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян  
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Издание третье, переработанное и дополненное. Том первый  
Энергоиздат, Ленинградское отделение. 1981

**电工理论基础**

上册

[苏联]Л.Р.聂孟 К.С.捷米尔强 著  
哈尔滨工业大学电工基础教研室 译

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印装

开本787×1092 1/16 印张 24.25 字数 550 000

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数0001—1 980

ISBN 7-04-000877-7/TM·55

定价 4.95 元

## 译 序

本书是按苏联列宁格勒工业大学理论电工教研室聂孟与捷米尔强合著《电工理论基础》1981年修订第三版译出的。该书的前身是聂孟与卡兰塔罗夫所著同名教科书,其第三版与第四版于1951年及1954年先后问世,并相继由钟兆璜同志译成中文在我国出版(书名译为《电工学底理论基础》),电工界对此比较熟悉。这次我们所翻译的新版仍保持了苏联该学派的特点,采取“场一路一场”的体系。结构严谨,概念清楚,并注意联系实际,是其传统。由于本世纪六十年代以后电子计算机大量使用所导致的电路理论和电磁场理论中计算方法的变化,它的内容已有更新,现将各篇内容作一简单对照比较:

第一篇“电磁场理论和电路与磁路理论的基本概念和定律”与1954年版比较,电磁场理论方面差别不大;而电路基本概念的叙述方面则完全改观,使用了矩阵拓扑法。

第二篇“线性电路理论”与1954年版相比大为不同。电路计算诸方法从图论和矩阵分析入手,放在正弦稳态复数法中与直流稳态统一讲解。过渡过程部分使用了状态变量。增添了电路综合的内容。

第三篇“非线性电路与磁路理论”中把磁路与非线性电路一起讲。也引用了新的计算方法。

第四篇“电磁场理论”与1954年版比较基本没有变动,并未增加有限差分法、有限元法等内容。

我国现行教学计划中“电路”与“电磁场”已分设两课程,但本书仍有一定参考价值。我们认为,要发展我国的科学教育,形成我们自己的教学体系,必须认真研究各国教材,博采众长,为我所用。所以我们把它翻译出来,供电机、自动控制等专业的学生以及技术人员、教师参考。

其中绪言由周长源译,第一篇由姜秀梅译,第二篇4至9章由傅丽译,10至17章由周长源译,第三篇由范崇浏译,第四篇由马国强译。最后由范崇浏对全书译文作了统一和校改。哈尔滨工业大学电工基础教研室其他同志对完成这一翻译工作也给予了很大支持和帮助。

译文中不妥甚至错误之处,请读者批评指正。有关意见请寄哈尔滨工业大学电工基础教研室。

译 者

1985年3月

### 第三版前言

这本教科书的第三版问世，已在著者之一——杰出的电工学者、曾以其教学与科学著作对理论电工学的发展起了巨大作用的列昂尼德·罗贝尔托维奇·聂孟院士逝世之后了。

从电工学的理论问题发展的观点来看，六十年代和七十年代是特别富有成果的年代。为适应使用电子计算机和提高其使用效率的要求，在电路和电磁场理论的领域里，须先进行新的理论方法的研究。电子计算机可以存储大批数据、进行大量数字计算和完成逻辑运算的功能，使我们有必要来重新研究电路与电磁场的计算方法。

需要发展那些能够最充分地利用电子计算机专门功能的方法。列写和求解电路方程的矩阵法就是这类方法。因此本书特别注意对电路感性元件的电流（或回路磁链）和容性元件的电压（或割集电荷）列写成标准型电路微分方程组的方法。因为正是这些变量表征着与储能有关的电路状态，从而联系这些变量的方程组，参照热力学的术语，称为电路状态方程。对电路应用状态变量法，自然，既可以用电子计算机的标准软件，也可以用分析这类方程的成熟的数学方法。当然，也还须研究根据电路的拓扑结构来列写状态方程的方法。

本版在各篇中，需要时使用矩阵拓扑表示法，以便使各种电路计算方法公式化。著者力图在叙述这些公式化的方法时，使它们和有关的物理定律或物理概念紧密相联系，这些定律和概念反映着应用这种表示法的必要性。

矩阵法的重要价值在于能分析复杂电路的普遍特性以及探讨它们的新解法。

尽管矩阵计算法本身高度公式化，计算过程却是繁重的，书中所举的这方面的例子并不能用来说明拓扑矩阵法的优点。通常在分析不太复杂的电路时，用其它方法来列写和求解方程组，会更为有效。所以只有借助电子计算机来计算复杂电路时，矩阵拓扑法的优越性才充分的显示出来。

电路微分方程数值解法的特点，日益强烈要求我们尽量采用那些容许增大积分步长而不致破坏数值求解过程稳定性的隐式积分法。有了这种方法再加上运用稀疏矩阵的新方法，就可针对任一类变量来列写出电路方程。这种变量可以是节点电位，也可以是回路电流，也可以是网络图的树支电压。在这种情况下，便失去了列写状态方程的必要性。因此，研究电路计算的传统方法，仍然不仅具有教学上的意义，而且也具有实用的意义。

愈来愈广泛地应用电子计算机以及由此得到的以大批数据来表示的系统行为的信息，尖锐地提出了怎样从物理上来了解和评价其可靠性的问题。因此，要求从物理方面懂得所发生的过程，并在此基础上评价所得数据的可靠性，就愈来愈显得重要了。后者只有从物理方面来了解并懂得电路中的电磁现象之后才有可能，因为电路不过是分布着电磁场和在其中进行着各种形式的电磁过程的种种装置的总体的某种近似表示而已。

正因为这是И.П.聂孟在以前出版的几本教科书和本书前几版中所遵循的基本原则，著者力求在改写的一些章节中仍把它保留下来。

著者对技术科学博士И.Ю.卡西克教授对本书的评阅工作致以深挚的谢意。著者特别感谢技术科学副博士A. B. 艾米里扬诺夫副教授和技术科学副博士P. И. 基亚特金副教授，他们在校订手稿和编辑出版中付出了大量劳动。我觉得还要感谢列宁格勒加里宁工业大学电工理论基础教研室的同仁们、里昂尼德·罗贝尔托维奇·聂孟院士学派的学生们，他们的友好合作在本书出版过程中给了无可估量的帮助。

对本书的要求与意见请寄下列地址：191041, 列宁格勒，Л-41, 马尔索夫广场一号，动力出版社列宁格勒分社。

K. C. 捷米尔强

## 第一版前言

在本书准备过程中，考虑了1963~1965年间“电”杂志上开展的关于“电工理论基础”课程内容的广泛讨论。本书著者在编写时力图考虑在这场讨论中以及在工作委员会开会期间提出的各种见解。与此同时，本书也是Л.П.聂孟与П.Л.卡兰塔罗夫以前编写的同名教科书及其已出的五种基本版本(1940~1959年)、加上在苏联国内和一些社会主义友好国家里翻译成其它文字的十三种版本的顺理成章的发展。П.Л.卡兰塔罗夫教授于1951年逝世，当然，早先由他执笔的那些章节所涉及的问题最近十五年来有了重大的发展和变化。以前未曾引入过教材的若干新的电路分析与综合方法获得了广泛的应用。因此，完全重新改写一本教科书的必要性已经成熟了，著者保留了由П.Л.卡兰塔罗夫编写的部分章节，这方面有铁磁谐振现象；此外，在原编写的一些章节中保留了较多的部分，这方面有关于均匀线过程的计算问题的论述。对这些章节也作了一些修改，以便使它们和本书其它重新改写过的章节相衔接。

书中引入了一些有关电路普遍理论的新概念，例如从电路理论领域出发的某些拓扑概念，电路的正实函数的概念，关于复频、电路结构图表示法等等。还研究了既对电路分析也对电路综合有意义的一些电路普遍性质。

在反映新问题的同时，还把主要的注意力放在计算方法的系统性叙述上。著者力图在叙述个别问题时也服从这一目的。例如从电路频率性质和频率特性法出发来研究谐振现象，铁心线圈和铁心变压器的研究作为非线性电路周期过程的等效正弦波方法的应用举例等等。线性电路的矩阵分析法以及某些综合方法、计算非线性电路过程的谐波平衡法与缓变振幅法等都有所反映，还有其它一系列方法也有所发展。

在书中叙述电路与电磁场分析与计算的公式化方法的同时，著者保持了列宁格勒工业大学电工理论基础教研室的奠基人、我国(指苏联——译者)理论电工学派的创始者之一В.Ф.米特开维奇院士留传下来的基本传统，即把公式化了的计算方法和对电磁设备中物理现象的研究结合起来。

著者谨向评阅人——И.М.奇仁科教授和А.А.扬科-特利尼茨基教授以及仔细阅读手稿并提出一系列宝贵意见的В.Г.马切维托依副教授、О.Б.托尔毕戈副教授和Ю.Ф.维道罗勃副博士致以深挚的谢忱。著者还觉得应该感谢在编辑手稿过程中曾给予巨大帮助的И.Ф.库兹涅佐夫副教授和В.Ф.波波夫副教授以及参加新问题讨论的列宁格勒加里宁工业大学电工理论基础教研室的全体同仁。

著者

# 目 录

|       |   |
|-------|---|
| 译序    | 1 |
| 第三版前言 | 1 |
| 第一版前言 | 1 |
| 绪论    | 1 |

## 第一篇 电磁场理论和电路与磁路理论的基本概念和定律

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第一章 电磁场概念和定律的概述                     | 5  |
| § 1-1 电磁场理论及电路、磁路理论问题的一般物理基础        | 5  |
| § 1-2 基本带电粒子及其电磁场——物质的特殊形态          | 5  |
| § 1-3 电与磁两种现象之间的联系作为统一电磁场两个方面的电场与磁场 | 8  |
| § 1-4 粒子和物体的电荷与它们的电场的关系 高斯定理        | 12 |
| § 1-5 物质的极化 电位移 麦克斯韦假设              | 14 |
| § 1-6 传导电流、运流电流和位移电流                | 19 |
| § 1-7 电流的连续性原理                      | 24 |
| § 1-8 电压 电位差 电动势                    | 26 |
| § 1-9 磁通 磁通连续性原理                    | 32 |
| § 1-10 电磁感应定律                       | 34 |
| § 1-11 磁链 自感电动势与互感电动势 电磁惯性原理        | 38 |
| § 1-12 位电场与涡旋电场                     | 41 |
| § 1-13 磁场与电流的关系                     | 43 |
| § 1-14 物质的磁化强度和磁场强度                 | 46 |
| § 1-15 全电流定律                        | 49 |
| § 1-16 电磁场的基本方程                     | 50 |

## 第二章 电场和磁场的能量及其力学表现

|                     |    |
|---------------------|----|
| § 2-1 带电体系统的能量 电场中的 | 52 |
|---------------------|----|

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 能量分布                                  | 52  |
| § 2-2 作用在带电体上的力                       | 55  |
| § 2-3 载电流回路系统的能量 磁场中的能量分布             | 58  |
| § 2-4 电磁力                             | 62  |
| 第三章 电路理论的基本概念和定律                      | 68  |
| § 3-1 电路和磁路                           | 68  |
| § 3-2 电路元件 电路的有源和无源部分                 | 69  |
| § 3-3 电路中的物理现象 分布参数电路                 | 70  |
| § 3-4 应用于电路理论的科学抽象化及其实用意义和适用范围 集总参数电路 | 73  |
| § 3-5 电路的参数 线性和非线性电路与磁路               | 75  |
| § 3-6 电路基本元件中电压和电流的关系                 | 78  |
| § 3-7 电路元件中的电流和电动势以及端电压的规定正方向         | 80  |
| § 3-8 电动势源和电流源                        | 82  |
| § 3-9 电路图                             | 83  |
| § 3-10 电路图的拓扑概念 电网络的图                 | 86  |
| § 3-11 关联矩阵                           | 88  |
| § 3-12 电路定律                           | 90  |
| § 3-13 电路中电流的节点方程                     | 93  |
| § 3-14 电路的回路方程 回路矩阵                   | 95  |
| § 3-15 电路割集中的电流方程 割集矩阵                | 97  |
| § 3-16 关联矩阵、回路矩阵和割集矩阵之间的关系            | 100 |
| § 3-17 电路的完整方程组 集总参数电路中过程的微分方程        | 103 |
| § 3-18 电路理论的两个基本问题——分析与综合             | 105 |

## 第二篇 线性电路理论

### 第四章 正弦电流电路的基本性质和等效参数

- § 4-1 正弦电动势、电压和电流 正弦电动势源和电流源 .....107
- § 4-2 周期电动势、电压和电流的有效值与平均值 .....109
- § 4-3 正弦电动势、电压和电流用旋转矢量表示 矢量图 .....111
- § 4-4  $r$ 、 $L$ 、 $C$ 串联电路中的正弦稳态电流 .....112
- § 4-5  $g$ 、 $L$ 、 $C$ 并联电路中的正弦稳态电流 .....116
- § 4-6 有功功率、无功功率和视在功率 .....117
- § 4-7 正弦电流电路中的瞬时功率和能量振荡 .....119
- § 4-8 复杂交流电路作为二端网络时的等效参数 .....122
- § 4-9 给定频率下二端网络的等效电路 .....124
- § 4-10 各种因素对电路等效参数的影响 .....126

### 第五章 正弦电流和恒定电流稳态下电路的计算方法

- § 5-1 复数法 .....128
- § 5-2 复阻抗和复导纳 .....131
- § 5-3 欧姆定律和基尔霍夫定律的复数形式 .....132
- § 5-4 用复电流和复电压计算功率 .....133
- § 5-5 串联电路的计算 .....133
- § 5-6 并联电路的计算 .....134
- § 5-7 混联电路的计算 .....135
- § 5-8 复杂电路的计算 .....136
- § 5-9 基于三角形联接等效变换为星形联接的电路计算 .....139
- § 5-10 电动势源和电流源的等效变换 .....141
- § 5-11 回路电流法 .....142
- § 5-12 节点电压法 .....148
- § 5-13 割集法 .....153
- § 5-14 混合量法 .....156

- § 5-15 叠加原理和以此为基础的电路计算方法 .....159
- § 5-16 互易原理以及以此为基础的电路计算方法 .....161
- § 5-17 等效电源法 .....162
- § 5-18 有互感时的电路计算 .....165
- § 5-19 线性变压器和理想变压器 .....169
- § 5-20 由电场耦合的电路 .....171
- § 5-21 复杂电路中的功率平衡 .....172
- § 5-22 复杂直流电路的计算 .....173
- § 5-23 复杂电路稳态的计算问题 .....174
- § 5-24 电路计算的拓扑法 .....175

### 第六章 谐振现象与频率特性

- § 6-1 电路中谐振与频率特性的概念 .....179
- § 6-2  $r$ 、 $L$ 、 $C$ 串联电路的谐振 .....179
- § 6-3  $r$ 、 $L$ 、 $C$ 串联电路的频率特性 .....180
- § 6-4  $g$ 、 $L$ 、 $C$ 并联电路的谐振 .....183
- § 6-5  $g$ 、 $L$ 、 $C$ 并联电路的频率特性 .....184
- § 6-6 只含电抗元件电路的频率特性 .....186
- § 6-7 一般情况下电路的频率特性 .....189
- § 6-8 电感耦合回路中的谐振 .....191
- § 6-9 电路谐振现象的实用意义 .....193

### 第七章 三相电路的计算

- § 7-1 多相电路与系统及其分类 .....195
- § 7-2 电动势不对称和电路不对称的一般情况下的三相电路计算 .....198
- § 7-3 旋转磁场的产生 .....200
- § 7-4 不对称三相系统分解为对称分量 .....202
- § 7-5 对称分量法在三相电路计算中的应用 .....203

### 第八章 非正弦周期电动势、电压与电流下电路的计算

- § 8-1 非正弦周期电动势作用下计算线性电路的稳态瞬时电压和电流的方法 .....207
- § 8-2 非正弦电压下电流波形与电路性质的关系 .....210
- § 8-3 非正弦周期电流、电压和电动势的有效值 .....211
- § 8-4 非正弦周期电流和电压下的有功功率 .....212

|                                                              |     |                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------|-----|
| § 8-5 三相电路中高次谐波性状的<br>点 .....                                | 213 | § 11-3 给定时间函数的频率特性的求<br>法 .....                      | 274 |
| § 8-6 具有对称波形的电流或电压的高<br>次谐波的成分 .....                         | 214 | § 11-4 用频率特性来计算过渡过程 .....                            | 276 |
| § 8-7 傅立叶级数的复数形式 .....                                       | 216 | § 11-5 傅立叶变换与拉普拉斯变换的<br>关系 复频的概念 .....               | 278 |
| § 8-8 振荡的拍差 .....                                            | 218 | <b>第十二章 脉冲电动势和任意波形电动<br/>势作用下的电路计算</b> .....         | 279 |
| § 8-9 振荡的调制 .....                                            | 219 | § 12-1 脉冲电动势与脉冲系统的概念 .....                           | 279 |
| <b>第九章 用经典法计算集总参数电路的<br/>过渡过程</b> .....                      | 221 | § 12-2 电路的过渡特性与脉冲特性 脉<br>冲电动势作用下的电路计算 .....          | 280 |
| § 9-1 关于线性电路中的过渡过程 .....                                     | 221 | § 12-3 任意波形电动势作用下的电路<br>计算——杜阿密尔积分 .....             | 283 |
| § 9-2 线性电路过渡过程计算的一般方<br>法 .....                              | 221 | § 12-4 关于电路中的随机过程 .....                              | 285 |
| § 9-3 由初始条件确定积分常数 .....                                      | 224 | <b>第十三章 四端网络普遍性质的分<br/>析</b> .....                   | 287 |
| § 9-4 $r$ 、 $L$ 串联电路中的过渡过程 .....                             | 225 | § 13-1 四端网络方程的各种形式 .....                             | 287 |
| § 9-5 $r$ 、 $C$ 串联电路中的过渡过程 .....                             | 230 | § 13-2 四端网络的等效电路 .....                               | 290 |
| § 9-6 $r$ 、 $L$ 、 $C$ 串联电路中的过渡过<br>程 .....                   | 234 | § 13-3 用实验确定四端网络的参数 .....                            | 291 |
| § 9-7 电容器对 $r$ 、 $L$ 电路的放电 .....                             | 237 | § 13-4 四端网络的连接与四端网络方<br>程的矩阵形式 .....                 | 291 |
| § 9-8 $r$ 、 $L$ 、 $C$ 电路与恒定电压接通 .....                        | 242 | § 13-5 四端网络的传递函数 .....                               | 294 |
| § 9-9 $r$ 、 $L$ 、 $C$ 电路与正弦电压接通 .....                        | 243 | § 13-6 微分电路与积分电路 .....                               | 297 |
| § 9-10 电路参数突然改变时的过渡过<br>程 .....                              | 246 | § 13-7 反馈 .....                                      | 299 |
| § 9-11 复杂电路中过渡过程的计算 .....                                    | 250 | § 13-8 有源四端网络 .....                                  | 301 |
| § 9-12 借助于模拟计算机来计算复杂<br>电路的过渡过程 .....                        | 254 | § 13-9 四端网络的圆图 .....                                 | 302 |
| <b>第十章 用运算法计算集总参数电路的<br/>过渡过程</b> .....                      | 257 | <b>第十四章 链形电路-滤波器-结构图</b> .....                       | 307 |
| § 10-1 函数及其导数和积分的运算象<br>函数 .....                             | 257 | § 14-1 四端网络的特性参数 .....                               | 307 |
| § 10-2 象函数举例 .....                                           | 259 | § 14-2 匹配的链形网络的传递函数 .....                            | 310 |
| § 10-3 基尔霍夫定律和欧姆定律的运<br>算形式 .....                            | 261 | § 14-3 滤波器 .....                                     | 310 |
| § 10-4 用运算法计算电路中的过渡过<br>程 .....                              | 263 | § 14-4 $k$ 型低频滤波器 .....                              | 313 |
| § 10-5 从象函数求原函数 分解定理 .....                                   | 265 | § 14-5 $m$ 型低频滤波器 .....                              | 314 |
| § 10-6 特征方程的根的性质 .....                                       | 269 | § 14-6 频率变换法 高频滤波器 带<br>通滤波器 .....                   | 316 |
| <b>第十一章 非周期函数的频谱概念——<br/>傅立叶积分变换 用频率特<br/>性法计算过渡过程</b> ..... | 271 | § 14-7 结构图 .....                                     | 318 |
| § 11-1 以傅立叶积分来表示非周期时<br>间函数 .....                            | 271 | § 14-8 关于电路中的稳定性问题 .....                             | 320 |
| § 11-2 频率特性 .....                                            | 272 | <b>第十五章 电路综合</b> .....                               | 323 |
|                                                              |     | § 15-1 电路综合的任务 .....                                 | 323 |
|                                                              |     | § 15-2 无源电路输入函数的性质 .....                             | 324 |
|                                                              |     | § 15-3 输入函数表示成简单分式 .....                             | 325 |
|                                                              |     | § 15-4 用展开成简单分式的方法来实现<br>分母有实根和虚根的二端网<br>络输入函数 ..... | 326 |

|             |                                                                                                                        |            |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| § 15-5      | 用表示成链分式的方法来实现<br>分母只有虚根的二端网络输入<br>函数.....                                                                              | 329        |
| § 15-6      | 一般情况下二端网络输入函数<br>的综合 右半平面不存在零点<br>与极点的检验.....                                                                          | 335        |
| § 15-7      | 一般情况下二端网络输入函数<br>的综合 检验函数正值性的条<br>件: $\operatorname{Re}(p)=\sigma \geq 0$ 时的<br>$\operatorname{Re}[F(p)] \geq 0$ ..... | 336        |
| § 15-8      | 一般情况下二端网络输入函数<br>的综合 有实根、虚根与复根<br>的给定函数的实现.....                                                                        | 339        |
| § 15-9      | 关于四端网络传递函数的综合.....                                                                                                     | 342        |
| <b>第十六章</b> | <b>分布参数电路稳态过程</b> .....                                                                                                | <b>345</b> |
| § 16-1      | 分布参数电路.....                                                                                                            | 345        |
| § 16-2      | 分布参数线路的方程.....                                                                                                         | 345        |
| § 16-3      | 均匀线方程的正弦稳态解.....                                                                                                       | 347        |
| § 16-4      | 均匀线的链形电路模型.....                                                                                                        | 349        |
| § 16-5      | 行波.....                                                                                                                | 349        |
| § 16-6      | 均匀线的特性 无畸变线的条                                                                                                          |            |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 件.....                          | 351        |
| § 16-7 不同工作状态下的均匀线.....         | 352        |
| § 16-8 无损线.....                 | 355        |
| <b>第十七章 分布参数电路的过渡过程 .....</b>   | <b>359</b> |
| § 17-1 分布参数电路中的过渡过程.....        | 359        |
| § 17-2 用经典法求解无畸变均匀线过渡过程的方程..... | 359        |
| § 17-3 用运算法求解无畸变均匀线过渡过程的方程..... | 361        |
| § 17-4 无畸变线上的波.....             | 363        |
| § 17-5 线路上波的产生及其特点.....         | 364        |
| § 17-6 两均匀线接头处波的透射与反射.....      | 365        |
| § 17-7 线路终端处波的反射.....           | 367        |
| § 17-8 均匀线的接通过程.....            | 370        |
| § 17-9 均匀线接头处有电抗时波的通过.....      | 372        |
| § 17-10 均匀线接头处有电阻时波的通过 .....    | 374        |

## 绪 论

伟大的十月社会主义革命为实现我国（指苏联，下同——译者）国民经济的普遍电气化创造了一切条件。弗拉基米尔·伊里奇·列宁在其著名公式“共产主义——这就是苏维埃政权加上全国电气化”中，阐明了国民经济电气化对建设共产主义社会所起的非常重大的作用。

工程师们为了能科学地解决摆在我国面前的巨大任务，必须掌握广泛的理论知识并且会把它们应用到实际工作中去。紧密结合实际任务来研究有关的理论问题的《电工理论基础》课程是电气工程师理论培训体系中的一个重要环节。

\* \* \*

俄国在电学领域里的早期研究工作要归功于天才的俄罗斯科学家罗蒙诺索夫院士。在许多科学分支中都创造了光辉业绩的罗蒙诺索夫，对于电学研究也做了大量工作。在其理论研究中，罗蒙诺索夫提出了远远超越他所处时代的原理，并且把这些问题提得非常深刻。根据他的建议，科学院提出了“探讨电力的真实原因并建立其准确的理论”这一课题，作为1755年度有奖竞赛论文题目。

与此同时，罗蒙诺索夫一直致力于寻求科学新发现的实际应用。在其著作中，他指出了用避雷针来防止人体和房屋被闪电击中的可能性。这方面，罗蒙诺索夫在其物理学补充讲义中作了卓越的论述，他提出了这样的思想：在电学的众多实验中一定有“揭示造福人类伟大未来”的实验。

罗蒙诺索夫在他自己的著作中坚持和发展了世界的可知性与物质性的学说，特别是电的物质性的学说。用唯物观点来解决基本科学问题形成了罗蒙诺索夫在其各种科学著作中的一个特点，这种考察问题的方法成为后来先进的俄罗斯科学家和发明家的优良传统。

俄罗斯科学院院士艾皮努斯是罗蒙诺索夫同时的人物。他首先发现热电现象和静电感应现象。尤其值得提出的是1758年艾皮努斯在科学院所作题为《论电力与磁性的统一属性》的报告。

现在我们已经熟知：在电磁两种现象之间存在着不可分割的联系，而这一原理乃是电磁现象近代学说的基础。但是这种信念是科学思维经过了长期经验积累而总结出来的，在很长的一个时期内，人们把电和磁看成是两种互不相关的独立现象。有关电磁现象的第一部详细著作是吉柏特写的，该书出版于1600年，不过他得出了不正确的结论：认为电磁两种现象之间不存在什么联系。

带电体之间力的互相作用和磁极之间力的互相作用完全相似，自然会使人们对这两种现象作出相同的解释。于是出现了正磁质与负磁质的概念，认为它们分布在磁铁两端并且是磁作用的起因。但是现在我们已经知道，类似这样的假设是和磁现象的物理本质不相符的。这

种假设在历史上只是从正电和负电的概念类比而得。正电和负电的概念是符合电现象的物理实际的，根据现代的观点，任何物体上的电荷是由处在不断运动中的单元带电正粒子与负粒子——质子、电子等等的总体所组成。

1785年库仑首先发表了表征带电体间力的互相作用和磁体极上磁质间力的相互作用的定量关系。不过库仑已经注意到磁质和电荷之间存在着本质的差异。

这种差异是从下列简单实验得出的。我们不难将正电荷和负电荷互相分离开来，但在任何条件下我们永远不能够作一个实验，其结果使正磁质和负磁质互相分离开来。由此库仑提出了一个假设：磁铁内的一个个微小体积单元在磁铁被磁化时变成了一个个微小的磁铁，只有在这样的体积单元内，才有正磁质向某一方向作位移而负磁质向相反方向作位移。

不过假如在单元磁铁内部正磁质和负磁质真能独立存在，则仍可期望在某种实验里用一些对单元磁铁直接的作用将负磁质和正磁质分离开来，就象能对总电荷等于零的物质分子用某种作用把它分成带正电和带负电的粒子——即所谓离子那样。但是，即使在最基本的过程中，人们也从未发现过单独存在的正磁质和负磁质。

磁现象实质的被揭示是上世纪初叶的事情。这一时期里许多辉煌的发现表明了电现象和磁现象之间的紧密联系。

1820年奥斯特在进行实验中发现了电流对磁针的机械力作用。

1820年安培证实了载电流螺线管具有和磁铁相同的作用，并且提出了这样的设想：即使对永久磁铁来说，产生磁作用现象的真正原因也是电流，这种电流在磁铁体内的某种单元回路内闭合着。这种思想在现代学说中找到了确切表述：永久磁铁的磁场是由存在于磁铁物质内部、并用组成物质的基本粒子的磁矩来等效的单元电流所引起的。这些单元电流是电子自旋和电子沿原子中轨道旋转的结果。

这样，我们得到了一个信念：实际上磁质并不存在。

所有上述研究工作证实了一条最重要的原理：带电粒子和带电体的运动永远伴随着磁的现象。它证明了磁现象并不象吉柏特所假设的那样，和电现象毫不相关。

1831年法拉第宣布发现了电磁感应现象。他发现，当一个线圈对磁铁移动时，或当它对另一个载电流的线圈移动时，要产生电流。这样便证明了电的现象也可能是由磁现象范围内有关过程的结果所产生的。

1833年俄罗斯科学院院士楞次首先建立了一个确定奥斯特和法拉第所发现的现象的共同性和可逆性的极其重要的原理。这一原理提供了电机可逆性的基础。楞次建立了确定感应电流方向的规则，这一规则揭示了电动力学的基本原理——电磁惯性原理。

所有的这一切发现中，必须特别指出法拉第在他的研究工作里一贯遵循的、并由米特开维奇院士的著作加以发展的思想，就是关于带电体之间和载电流的回路之间在空间所出现的物理实际过程的思想。根据这个概念，带电体之间的相互作用以及载电流回路之间的相互作用是通过它们周围电磁场而实现的，后者是物质的一种特殊形态。

建立电磁场理论的功绩属于麦克斯韦，他把这一理论归纳在1873年出版的经典著作《论

电与磁》一书中。在这部著作中，麦克斯韦运用数学方式阐明问题，并且更深入更广泛地讨论了法拉第的基本物理概念。

麦克斯韦电磁场理论的实验证明与发展是在下列工作中实现的，即：赫兹关于电磁波产生与传播的著名实验(1886—1889年)、列别捷夫关于超短波产生与传播的工作(1895年)以及他的一系列证明光压的经典性实验(1900—1910年)、波波夫发明无线电(1895年)和实现无线电通信以及后来所有无线电工程的理论和应用的继续发展。

上述一切发现使人们认识到电现象与磁现象之间的深刻联系。

电磁现象理论问题的总体中，电路与磁路理论得到愈来愈大的进展。电路理论的基础是欧姆定律(1827年)，焦耳和楞次定律(1841年和1842年)与基尔霍夫定律(1847年)。国内外的许多学者嗣后在这方面的理论研究中都做出了大量贡献。

当代，由于电力系统、无线电装置和电测仪表、自动检测和控制系统、快速电子计算机等极为复杂，有必要建立统一的分析方法，其中作为这些复杂系统的部件并完成特定功能的电路元件的复合体，可根据它们的总体参量来研究。这种电路元件复合体的例子为电力系统中电磁能量的产生、传输或转换的设备，无线或有线通信、电测与自动检测系统中信号的发生、放大与变换的设备，电子计算机中的微分、积分和完成逻辑运算的部件等等。

这些复合体包括电路的线性元件：其参数与电流无关，例如电阻器、电感线圈、电容器；也包括电路的非线性元件：其参数与电流或电压有关，例如电子管，晶体管，铁心线圈等。这些电路元件用不同的方式联接起来并在这些复合体的内部形成了相当复杂的电路。而复合体自身之间又以某种方式联接起来形成复杂的系统。

分析复杂系统的普遍方法可以用来研究作为系统部件的各复合体之间的相互作用。建立这些普遍方法的出发点同样是电路的基本物理定律——欧姆定律和基尔霍夫定律，它们也常用来计算比较简单的电路。

由于地面与宇宙无线电通信和无线电天文学的发展，电场、磁场以及电磁幅射在新创的电工艺和电物理装置中的更广泛的利用，电磁场理论取得进一步的发展。

从以上所述可见历来需要、现在更加需要在高度科学水准上来组织高等电工技术教育。在这方面，创立第一批阐述电工理论问题的高等学校课程是具有重大历史意义的。1904年米特开维奇教授在彼得堡工业大学开始讲授他创立的课程“电磁现象的理论”，后来便是“交流电理论”课程。1905年克鲁格教授开始在莫斯科高等工业学校讲授他的“交流电理论”课程，后来就是“电工基础”课程。

以后，随着电磁现象新的物理观念、新的理论与实验研究方法以及这些现象的技术应用的飞速发展，使这一理论学科得到了发展，并且形成了目前称为“电工理论基础”的学科。

\* \* \*

按照苏联高等教育部和中等专业教育部批准的教学大纲，“电工理论基础”课程包括四大篇。第一篇比较短，定名为“电磁场理论和电路与磁路理论的基本概念和定律”，其中包括以物理课已具备的基本知识作基础的有关电磁现象范围内的普遍概念和普遍定律，以及电路磁

路理论基本概念与基本定律的公式与定义之导出，它们与各有关章节都有关系。这部分应看成是物理课与电工理论基础课之间的衔接部分，是为电路、磁路和电磁场中所发生过程作物理观念的准备。它在为以后诸篇中所介绍的解题方法建立正确的数学公式方面具有重大意义。

第二篇定名为“线性电路理论”，是本书篇幅最大的一篇。这一篇叙述了线性电路的性质和其中所发生的过程的计算方法。这篇主要内容是研究电路分析方法，即在给定电路中确定其过程，但对电路综合（即预先给定性质然后选构电路的问题）也给予了一定的注意。如果电路中所有元件的参数都与电流、电压无关，这种电路称为线性电路。对于它们我们可应用称为叠加原理的重要定理。按照叠加原理，对于某一物理对象，由几个同类起因所引起的后果是这些起因分别单独作用于同一物理对象所引起后果的总和。这个原理的应用使简单情况下得到的结果可以扩展到更为复杂的情况中去。反之，运用这个原理，也可以把一个复杂问题分成几个较为简单的问题。以后我们将广泛应用叠加原理来研究线性电路，同时也将用来研究线性介质中的电磁场，这种介质的参数和过程的强度无关。

第三篇定名为“非线性电路与磁路理论”。其中叙述非线性电路与磁路的性质以及其中发生的过程的计算方法。这种电路的参数与电流、电压或磁通有关，从而使在数学上分析其中过程大为复杂化。这些问题随着非线性元件在现代装置中广泛的应用而具有重大意义。

第四篇是最后一篇，定名为“电磁场理论”。大量电磁问题不能用电路理论作全面研究，只能靠电磁场理论来解决。首先，为了计算电路和磁路的参数，就必须知道和这两种路相联系的电场与磁场。这完全是合乎规律的，因为电路和磁路的参数实际上反映着与所研究的路相联系的电场与磁场的积分量、以及电场和磁场所处的介质的物理性质。这一系列重要问题只能靠电场的理论导出的方法来解决。例如天线上电磁波的辐射及其在空间的传播就属于这类问题。

本书第一篇中已建立了基本规律，使得电磁场理论可从表征场的完整特性的普遍方程入手来作研究，同时指出，只呈现电场或磁场的场合不过是一些特例而已，这是由于观察条件的限制，在空间局部范围内只能观察到电磁过程的一个侧面。这样便鲜明的突出了电现象和磁现象统一性的思想。

# 第一篇

## 电磁场理论和电路与磁路理论的基本概念和定律

### 第一章

#### 电磁场概念和定律的概述

##### § 1-1 电磁场理论及电路、磁路理论问题的一般物理基础

电磁场是广泛应用于技术与物理装置中传输与变换能量或信号的一种基本物理媒介。与电磁场有关的过程具有要求在时间和空间上对电磁场进行描述的特点。这就决定了建立电磁场理论方法的必要性。具体装置中电磁现象描述上的复杂性，迫使我们去寻求这些过程（随时间变化）的计算方法，而这些方法是与电路理论的发展相联系的。

把内部呈现某种电磁场特性的一些特定装置作为电路元件加以区分之后，我们就可能用电路理论来制造新的、复杂的仪器和装置，以实现给定的功能。

由于电路理论能够简化电磁过程的计算，因而得到很大的发展。同时，这些简化过程的本身包含着系列必须加以认识与评价的假设和推测，要认识和评价这些假设和推测，必须具有关于电磁现象基本物理定律及其推广的清楚知识。

本书第一篇的前两章即作为后续部分的物理基础，在后续部分中我们将阐述电路、磁路以及电磁场计算的数学方法。具备了这些基础，可以充分保证对数学方法的模型的原始状况采取批判的态度，从而可以避免在这些方法导出过程中可能出现错误。具备这个基础，又便于我们看清用模型方法所描述的电路及电磁场的物理过程。这样处理的结果，在第一篇的最后——第三章中，我们便可以电磁现象的物理概念为基础，来引入电路与磁路理论的基本概念，并对所取假设有一清楚的认识。

##### § 1-2 基本带电粒子及其电磁场——物质的特殊形态

电磁现象领域内的研究作为建立有关近代物质结构的观念提供了基本的思想和基本手段。在这些研究中，基本带电粒子——带正电的基本电荷（例如，质子和正电子）和带负电的基本电荷（例如电子）——占有特殊重要的地位。基本带电粒子是物质原子和分子的组成部分，但也可以处于自由状态。它们在不停息地运动着，并象我们所说的那样，是被电磁场包围着的。而电磁场随着粒子运动性质的不同可以表现为电场或者也可以表现为磁场。无论带电粒子或者它们的电磁场都是物质的一种特殊形态，所谓特殊，是因为它具有特殊的性能，

这些性能在研究物质其它运动形态（例如机械运动）时是不加考虑的。

这些粒子的电荷是它们最重要的物理属性，它表征粒子同自身固有的电磁场间的相互联系，以及粒子同外界电磁场之间的相互作用。电荷是这些物质粒子基本的独特的属性，这些粒子还有其它一些例如力学所研究的物质运动形态所具有的属性，如质量、能量等。

与带电粒子以及电磁场的概念相联系的物质运动不能归之为机械运动。对此。我们引用列宁的名言：“不管没有重量的以太变成有重量的物质和有重量的物质变成没有重量的以太，从“常识”看来是多么稀奇，不管电子除了电磁的质量外再没有任何其它的质量，是多么“奇怪”，不管力学的运动规律只适用于自然现象的一个领域并且服从于更深刻的电磁现象规律，是多么奇异，等等，——这一切不过是再一次证实了辩证唯物主义。”（《列宁全集》第十四卷，人民出版社1957年版，第276页）。

在这一段列宁用来发展辩证唯物主义的基本原理的话中，非常清楚地表述了这样的思想：电磁现象不能归并到力学所研究的各种现象中去。力学中所研究的是具有惯性质量的物体在空间中的运动。至于这些物体可能带有电荷以及这些物体本身就是由带正电荷和带负电荷的基本粒子组成的，这些情况则完全不在力学的研究范围之内。因此，很自然，不可能从力学的定律中引伸出更深奥的电磁现象的定律来。

对于电磁现象的特性必须引入力学中不研究的新概念，而这些新概念原则上是不能仅仅根据那些足以建立力学的量，如质量、长度和时间来完全确定下来的。必须引入第四个反映电磁现象的特殊性的基本量。任何电磁量都可选作第四个基本量，例如选取电荷作第四个基本量。物体或物质粒子的电荷，只能根据同其它带电粒子或者带电体的相互作用或者根据同外界电磁场的相互作用才可以在数量上确定下来。

同样，在确定电磁场的概念时，不用关于带电粒子的概念也是不可能的，因为电磁场对带电粒子有力的作用正是它区别于其它物质形态的基本属性。

电磁场对带电粒子的力的作用带有矢量的性质，且决定于粒子的运动速度及其电荷量。

根据上述情况，可以给出下面的定义。

电磁场是一种物质形态，在所有各点上它都由表征其“电场”和“磁场”两个方面的两个矢量来确定，它对带电粒子显示出力的作用，这个力的作用取决于粒子的速度及其电荷量。

单元电荷是电子或质子的属性，它表征了电子或质子同其固有电场之间的相互联系以及它们同外界的电场的相互作用，电子和质子的这种属性可以用一个绝对值相等而符号相反的数值来确定（规定电子的电荷带负号，质子的电荷带正号）。

从这些定义来看，任何包含一个或数个单元电荷的带电粒子都是电荷的携带者。例如电子、质子、离子是电荷的携带者，甚至半导体中的“空穴”也规定是电荷的携带者。

实际上，带电的单元粒子与它们的电磁场是统一的整体。严格地说，我们不可能指出带电粒子与其电磁场之间的明确界限。不过，我们还是可以设想，粒子及其电荷，例如电子的电荷、质子的电荷等，是集中在极小的空间区域内的。那种同带电粒子这个概念相联系的物