

国际无线电科学联盟青年科学家作品

畅销全球的电磁学经典教材

配套提供丰富的计算电磁学的实例、习题及解答

ELECTROMAGNETICS

电磁学

[美] 布拉尼斯拉夫·M.纳托拉斯 著
(Branislav M. Notaroš)

胡岩 王子予 张俊辰 译

内涵丰富，包括
371个实例

清华大学出版社



新视野
电子电气
科技丛书

ELECTROMAGNETICS

电磁学

[美] 布拉尼斯拉夫·M.纳托拉斯 著
(Branislav M. Notaroš)

胡岩 王子予 张俊辰 译

清华大学出版社
北 京

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2014-8567

Authorized translation from the English language edition, entitled ELECTROMAGNETICS, 9780132433846, by Branislav M. Notaroš, published by Pearson Education, Inc, copyright © 2011.

All Rights Reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS Copyright © 2018.

本书中文简体翻译版由培生教育出版集团授权给清华大学出版社出版发行。未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。
版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电磁学/(美)布拉尼斯拉夫·M. 纳托拉斯(Branislav M. Notaroš)著;胡岩,王子予,张俊辰译. —北京:清华大学出版社,2018
(新视野电子电气科技丛书)
书名原文: Electromagnetics
ISBN 978-7-302-48315-1

I. ①电… II. ①布… ②胡… ③王… ④张… III. ①电磁学—高等学校—教材 IV. ①O441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 216413 号

责任编辑:曾 珊 战晓雷
封面设计:傅瑞学
责任校对:时翠兰
责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>
地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084
社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544
投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者: 三河市铭诚印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm	印 张: 46.5	字 数: 1134 千字
版 次: 2018 年 9 月第 1 版		印 次: 2018 年 9 月第 1 次印刷
定 价: 129.00 元		

产品编号: 059354-01

推 荐 语

本书以接近实际工程应用为目的,为读者提供内容细致、清晰、完整的电磁学基础知识,体现出与其他同类教材不同的教学理念。书中多处强调电磁理论和电路理论之间的联系。以传输线分析为例,分两章同时介绍场的方法和路的方法,通过场分析得到由等效集总元件级联的电路模型,利用电路理论进行传输线完整的频域分析和暂态分析,二者既独立又统一,这是一种完美的处理方式。

——唐任远 中国工程院院士,沈阳工业大学教授

本书为读者提供了学习电磁学的基本资源,不仅如此,还在正文的前面按照必修、选修内容及优先学习次序给出章节分类,指出哪些章节要详细阅读学习,哪些可以略过,帮助读者根据自己的目的和需求优化阅读学习过程。本书(原版)在同步网站上配有大量的针对概念问题的选择题,读者可用来自行检查对本书内容理解程度。同步网站上还有与教材密切结合的综合性的 MATLAB 仿真练习,这对于读者的学习和以后的实际应用都极具参考价值。

——关庆罡 沈阳变压器研究院副总工程师

整部教材从“静”到“动”,从“场”到“波”,包含天线和无线通信系统,对电磁理论做了全面系统的介绍。本书的特色之一是在内容安排上静态场和动态场分别占三分之一和三分之二。连同各种类型的例题和习题,兼顾宽度和深度的平衡,内容清晰完整,贯穿始终,正如作者所说的几乎没有“跳跃”。这本书倾注了作者对电磁场的热爱和激情,希望能传递给读者,帮助越来越多的人开始喜欢和欣赏这个迷人的、具有无限影响力的学科。

——马西奎 高等学校电磁场教学与教材研究会理事长,西安交通大学教授

教授电磁场课程的老师们经常讲的一句话就是“场和路是不分家的”,本书对这句话做了很好的诠释。教材作者关于电磁理论和电路理论之间联系的解释几乎贯穿该书所有章节,把电路理论中元件的参数计算及其伏安关系方程、电路的基本定律等与电磁场理论的对应关系都做了详细推导,同时,也指出了电路作为电磁场理论近似分析方法的局限性,使读者能够更加全面地把握电磁理论与电路理论。

——张惠娟 高等学校电磁场教学与教材研究会常务理事,河北工业大学教授

本书的特点之一是将矢量代数与矢量微积分等所需的数学知识贯穿于电磁场理论阐述的全过程,将数学概念与物理现象完美地结合在一起,起到了事半功倍的效果。本书的译者胡岩教授长期从事电磁场理论的教学和科学研究工作,具有深厚的学术功底。本书的译文是一篇标准的“信达雅”译文。

——杨仕友 高等学校电磁场教学与教材研究会副理事长,浙江大学教授

书中配有大量带有详细解答和引导性求解方法的例题,以及与例题对应的课后习题。例题紧密结合基本原理,便于增强学习者对相关概念的理解。章节后面的习题可以找到与例题的对应关系,例题为学习者提供了必要的指导,便于课后复习,并逐步学会独立解决问题。

——王泽忠 高等学校电磁场教学与教材研究会副理事长,华北电力大学教授

本书从新的视角阐述电磁场量之间的关系及基本定律,并指出电磁场量与电路参量之间的联系,概念清晰、意义明确、容易理解。书中的例题和习题侧重于实体概念的推理和数学方法的合成,避免了纯粹公式化的解题方法。很多例题和习题具有实际的工程背景,使教材的内容深入浅出,并贴近工程实际。

——孙玉田 国际大电网旋转电机委员会委员,哈尔滨大电机研究所教授级高工

对于电磁场的初学者、想进阶的人和那些知道电磁场重要但又望而生畏的人,这本书的出版都是一个福音。概念阐述深入浅出,清晰明白。大量的例题,详尽的求解,不仅教会你做题,对于诸多实际工程问题的求解也大有借鉴。如果说有缺点,就是部头有点大,阅读需要一点耐心。只是,那些简明的书适合你吗?

——陈德智 华中科技大学电气工程学院教授

译者序

当初从编辑手里接到翻译任务时,我只是抱着学习的态度。尽管我从事电磁场课程的教学至今已经 17 年了,但是对于电磁场理论的一些概念和分析方法,以及如何给学生讲清楚这些概念和方法,还是在反复地学习和思考。

经过 3 年漫长的翻译过程,我对这本书的认识和理解逐渐加深。当所有章节都完成的时候,我最大的感受就是不虚此行,受益匪浅!

整部书从静电场到无线通信系统对电磁理论做了全面系统的介绍,内容清晰完整,贯穿始终,正如作者所说的几乎没有“跳跃”。

这是一本难得的内容细致、清晰、完整,从“场”到“波”全面系统的电磁理论方面的书。所有的概念和推导都建立在物理解释的层面之上,所有的过程和步骤都以足够的细节清晰地展示给读者。本书的特色总结如下:

(1) 电磁场理论与数学知识的关系不是处理成单纯的、抽象的数学复习。书中对于电磁场理论涉及的数学基础知识都是深入到章节里进行介绍,着重其物理解释和电磁场理论概念的直接联系,因此几乎不用再去查找相关的参考书籍。例如,在 1.1 节,单位矢量的定义和矢量加法是结合电场力介绍的;在 1.4 节,结合静电电荷分布介绍了各种坐标系下微分元体积和元面积的数学表示;在 8.6 节和 8.7 节,介绍了时谐场量与电路量的复数表示,读者几乎不用再去查看电路理论或数学参考书。

(2) 尤其要强调本书对梯度、散度和旋度定义的特别之处。书中结合电磁场量之间的关系或基本定律给出梯度、散度和旋度的定义,是从其物理意义上进行解释推导的,意义明确,容易理解。例如,在 1.9 节和 1.10 节,梯度的推导是从电位与电场强度矢量之间的积分关系出发,首先推导出其微分关系,然后再得出梯度的定义;在 1.14 节和 1.15 节,从高斯定律的积分形式出发推导其微分形式,从而得出散度的定义;在 4.7 节和 4.8 节,从安培定律积分形式出发推导其微分形式,从而引出旋度的定义。

(3) 本书几乎在所有章节中都指出了电磁理论和电路理论之间的联系。例如,在 1.6 节,通过电位把电场与电压联系起来,指出电位是连接电磁场理论与电路理论的基本桥梁;通过推导电压和电场强度的关系,指出直流电路基尔霍夫电压定律是静电场麦克斯韦第一方程的一种特殊形式。在 3.4 节,从恒定电流场理论出发得出基尔霍夫电流定律和电容元件定律(电压电流关系方程),在 3.8 节得出欧姆定律和焦耳定律的表达式,在 3.10 节得出理想电压源元件和理想电流源元件定律(电压电流关系方程)。在 6.4 节,从慢时变电磁场的麦克斯韦方程得出低频交流电路的基尔霍夫电流定律表达式。在 7.1 节,根据静磁场和慢时变场理论得出电感元件定律(电压电流关系方程)。在 8.6 节,将线性电路作为线性电磁系统中的一个特殊情况,介绍时谐量的复数表示。

(4) 书中对于时谐量分别与相量和复数的关系的解释也很独特,即认为相量与复数是时谐量的两种表示形式。在 8.6 节和 8.7 节,将时域量用匀速旋转的矢量以图解的形式表示,把这些旋转的矢量称为相量。也就是说定义相量是时域量的图解表示,复有效值作为时

域量的复数表示。书中提到的“复有效值”也就是国内外多数书中所说的“相量”。书中复数的表示遵从国际电气技术协会(IEC)的规定,表示复数与复数变量的字母都有下画线,例如,复数表示为 $\underline{c}$, 电压复有效值表示为 $\underline{V} = V e^{j\theta}$ 。

(5) 本书分两章同时介绍传输线的场分析和电路分析,两者既独立又统一,这一点在其他书里也是鲜见的。第 11 章介绍传输线的场分析,得到由等效集总元件级联的网络形式的电路模型参数。第 12 章介绍传输线的电路分析,基于分布参数电路仅利用纯电路理论进行传输线完整的频域分析和暂态分析。

(6) 本书和其他书一样配有例题和习题,其不同之处有三点:一是每一章配备的例题不仅有详细解答,而且数量种类较多,每章后面的习题与例题是一一对应的,这给读者课后复习和独立解决问题提供了必要的指导;二是在本书的同步网站配有大量的针对概念问题的选择题,用以检查读者对书和例题的理解程度;三是在本书同步网站上还提供大量的与书密切结合的综合性的 MATLAB 练习和工程项目,进一步提高读者对电磁学的兴趣和深入理解。

(7) 和有些书配有相关人物传记类似,本书的历史回顾贯穿始终。其特点在于除了科学家传记,还有电磁问题发现的背景介绍和过程回顾,并利用其中提到的一些事实和解释补充书中相关内容介绍的不足。历史回顾相当详细,而且引人入胜。在第 4 章对最早发现电和磁之间联系的丹麦物理学家奥斯特的介绍中,提到奥斯特是现在的丹麦科技大学(DTU)第一任院长,这引起了本书的译者之一王子予的兴趣。王子予在翻译本书的时候正值大学刚毕业,准备申请去国外攻读硕士学位期间,原本打算去德国留学的他,为此改变主意申请了丹麦科技大学这所学校,并被顺利录取。

本书除了上述特色之外,作者还给出章节学习的安排建议。

本书翻译分工如下:第 9~11 章,第 14 章,以及前言和附录由胡岩翻译,第 1~8 章由王子予翻译,第 12、13 章由张俊辰翻译,胡岩对全书进行统稿。

在翻译过程中,针对有些词语的中文译法,译者得到沈阳变压器研究院副总工程师关庆罡先生的帮助。尤其在翻译第 14 章“天线和无线通信系统”时,关先生给出很多建议,译者在此表示衷心的感谢。

还要感谢我的硕士研究生韩怀、史振超、赵逸、韩小玉和朱桂嵩在译文初稿以及公式录入和整理方面所做的工作。

感谢清华大学出版社编辑曾珊女士和战晓雷先生对本书所做的工作。

尽管译者始终谨慎动笔,仔细求证,但难免还会存在翻译不准确的地方,恳请读者批评指正。

胡 岩

(E-mail: huyansy@163.com)

于沈阳工业大学

前 言

电磁理论是技术教育的基础,但同时也是学生想学好的最难的课程之一。为了帮助学生克服困难,这里向本科生提供了一本关于电磁场和波的教科书,名为《电磁学》。通过强调电磁理论数学的严格性和物理的理解力,本书为工程和物理专业的学生以及其他使用者提供综合知识和牢固的电磁学基础,目的是接近实际工程应用。

本书主要(但不绝对)是为电气、计算机工程、物理学和相关专业的大学三年级水平的学生设计的,既可以是两个学期(或两个 $1/4$ 学期)的系列课程,也可以是一个学期(或一个 $1/4$ 学期)的课程。本书包含关于静电场、恒定电流场、静磁场、慢时变(低频)电磁场、快时变(高频)电磁场、均匀平面电磁波、传输线、波导和谐振腔、天线和无线通信系统等 14 章内容。

很显然,有很多关于本科生电磁学的教材(或许其中多数是适合于其他学科的)都很好,也很重要。然而,本书的目的在于结合所有这些书的最精彩部分和优势。本书也引入一些目前已有的教材里没有提到的新的教学理念。

本书介绍了许多非常规的章节内容,在理论和实际方面都很重要,包含了展示挑战性的课题、抽象化的电磁现象、创新方略和教学指导,提供了电磁场与波的计算及问题的求解,还有最重要的(根据学生们目前的判断)例题解析、作业问题、概念性问题和 MATLAB 编程练习,目标是显著提高学生对于电磁学的理解,以及对待电磁学这一学科的态度。总体来说,本书旨在作为本科生电磁学的“终极资源”。

本书特色如下:

- 371 个带有详细分析和引导性解题方法的实例,与理论紧密结合,也包括解题的方略。
- 650 个基于现实的课后问题,完全受求解的例题支撑(每个问题都对应一个例题)。
- 没有任何遗漏步骤的清晰、严谨、完整、有逻辑的内容展示,广度和深度的平衡,静态场($1/3$)与动态场($2/3$)的平衡。
- 包括传输线问题的首选方案,在内容的选择、重点、课程中材料的排序上都体现了灵活性。
- 很多非常规的标题和小标题以及新的推导、说明、证明、解释、例题、教学指导和可视化展示。
- 500 个多选概念问题(在同步网站上),检验读者对本书内容的概念理解。
- 400 个 MATLAB 上机练习和工程项目(在本书同步网站上),带有详细的解答(指导)和 MATLAB 程序代码(m 文件)。

本书同步网站: www.pearsonhighered.com/notaros。

下面更详细地介绍上述内容和本书的其他特点。

例题与课后问题

本书最重要的一个特点就是给出大量带有详细解答和引导性方法的实例以及与例题一一对应的课后问题(作业)。本书共有 371 个实例,都与理论紧密结合,很好地补充了理论性的概念,系统地培养学生解决问题的能力。本书还提供了 650 个问题,作为课后练习在章末出现。

最重要的是,对于每一个或一系列的作业问题,都对应一个或一系列的例题,其详细的解答为学生和其他读者提供了必要的指导并引导他们独立解决问题,完成作业任务,为测试和考试做准备。丰富且高质量的例题和习题对于一个课程和班级来说是至关重要的:学生们要求有越来越多的例题,随之而来的就是大量的习题(作为作业和考试的准备),这正是本书所能提供的。

本书中的例题和问题侧重于实体概念的推理和数学合成方法,不是纯粹公式化的(枯燥无味)解题方法。也没有枯燥、复杂的纯数学公式。这些例题的基本目标是教会读者从不同的(或多或少具有挑战性)方面对问题进行推导,并帮助他们获取信心,真正地理解并喜欢这些材料。很多的例题和问题都具有实际的工程背景。

例题的解答展示并解释了每个步骤,有大量对方法、策略及其他解题方法的讨论。解题的方法通常会给出不止一种,以帮助读者真正地理解并培养解决实际电磁场问题的能力。通过获取这样的能力,读者也会得到在电磁场学习、理论基础和实际应用上的信心,这种能力不限于通过浏览书本去搜索一个“黑匣子”一样抽象的公式或者一连串的公式,也不是对计算器熟练地使用,进行枯燥的计算。

实际上,重要例题对于教师来说也是非常有用的——尤其在教学过程中——因为这些例题更适合在班级内进行逻辑性描述和讨论,要比枯燥的或者纯粹的“数学”例题更令学生感兴趣。

清晰,精确,全面

连同大量的各种类型的例题和问题(还有简答题和练习题),为了兼顾宽度和深度的最佳平衡,本书最具特色的就是整部教材贯穿始终的、专注内容的清晰性、完整性和教学方法。作为科学和工程学科的基础,电磁学给几乎所有它所涵盖的领域提供完整的物理解释和严密的数学模型。因此,除了几个基本的实验定律(例如库仑定律)以外,理所当然地必须考虑模型的建立,在建立令人印象深刻和激动的电磁学理论过程中,所有的过程步骤都以一致的、有意义的方式及足以让读者理解和领略到的细节清晰地展示给读者。这就是本书所试图做到的。

简单地说,新的引出、说明、证据、解释和可视化都逐字逐句地进行了推导、证明和解释(除了几个实验定律以外)。困难的、重要的概念和推导均有规律地以不少于一种方式展示出来,帮助学生理解和掌握学习的内容。尽管偶尔会跳过某些步骤和细节,但我们做了最大的努力使论题、概念、方程和构思具有连贯的逻辑性。然而,这些也可以做成模块化结构,感到一些步骤、推导和证明在某个地方被忽视的读者(以后有机会)也可以这么做,但是这个留

给读者来考虑(或者留给课程指导教师来考虑和建议),而不是由作者来完成。

总的来说,我的方法是,在书中理论部分和例题中提供所有可能的(或者必要的)解释、引导和细节,而学生的实际理解材料的能力、思考能力和独立作业能力要通过每章后面的大量的相关的习题和概念性问题来测试和经受挑战。

另一方面,我也完全意识到,乍看之下简洁会吸引学生,因为这明显意味着课后的阅读量较少。然而多数学生会承认,与一页有太多缺口的浓缩的材料截然相反,使用几页完整的解释和展示的材料会更容易、更快速地阅读和理解。在我这些年接触的学生中,我经常告诉他们事实上我更喜欢有完全推导和解释的,有大量作为例子并提供解答的问题的书,而不喜欢页数较少,许多重要部分、步骤和解释都空缺的,几乎没有详细解答的书。这就是我编写本书的原始动机。

内容的选择

在电磁学教学过程中,本书提倡并采用直接的或者按时间先后的顺序,而不是相反,这一点可以简要地概括为先静后动或者先场(静、准和快速时变的)后波(均匀平面波、传输线、波导和天线)。另外,本书以静态场(三分之一)和动态场(三分之二)的顺差为特色。如果有把一些章节安排给学生作为阅读作业的可能性,理想地使用本书的一门课程或者一个系列课程能完整地涵盖本书的所有内容。然而,在实际教学内容或者其中某些部分以及在一门课程(或者多门课程)中安排章节方面,本书允许很大的灵活性和很多不同的选择。

第一个方案是快速浏览第 1~7 章,只做基本概念和方程,以及每章里面的一些例题,快速达到第 8 章(一般形式的麦克斯韦方程等),然后做所有关于一般形式麦克斯韦方程的应用,包括从第 1~7 章选出的论题,适量地完成所有其他章节涵盖的内容。这个方案基本上反映了电磁学教学过程中论题的反序(非时间先后顺序)。实际上,可以有很多适应不同重点领域和课程专业化成果的不同方案和有效的时间安排,所有这些按照时间先后顺序进展,贯穿本书的第 1~14 章,按照独立章节的内容选择不同的速度和不同的水准。

为了帮助使用本书的老师制订教学计划,帮助学生和其他读者根据自己的学习目标和需要优化安排书的内容,表 1 和表 2 分别按照必修、选修和优先次序给出两种章节分类,以指出哪些章节可以跳跃或者略读。这仅仅是个参考,我希望书中的章节标题将会有大量的富有创造性的、有效的、多种多样的组合,定制出满足老师、学生和其他读者兴趣和需要的连贯的课程大纲和教学计划。

表 1 按照必修和选修进行章的分类。基于特定的重点领域和课程或者系列课程所期望的内容以及可能的课时,其中必修的章是那些将来会在多数课程覆盖的内容,而一些选修的章可能会被跳过(或者略读)。在课程内容选择过程中,这个在章层面上的分类可以结合表 2 所给的章节层次分类

必修的章		选修的章	
第 1 章	自由空间的静电场	第 2 章	电介质、电容和电能量
第 3 章	恒定电流	第 5 章	材料媒质中的静磁场
第 4 章	自由空间的静磁场	第 7 章	电感和磁场能
第 6 章	慢时变电磁场	第 10 章	平面波的反射与透射

续表

必修的章	选修的章
第 8 章 快时变电磁场	第 11 章 传输线的场分析
第 9 章 均匀平面电磁波	第 13 章 波导和谐振腔
第 12 章 传输线的电路分析	第 14 章 天线和无线通信系统

表 2 根据覆盖范围的优先次序,按照两个“层次”进行章节分类。如果特定的重点领域、课程或者系列课程期望的具体内容以及可能的课时,任何某一章中的某一节或者更多的节被跳过(或者被略读),就建议从第二层次选修,当然这个对于第一层次的节,不排除可能的遗漏(或者只是略提一下)

章	第一层次的节	第二层次的节
第 1 章 自由空间的静电场	1.1~1.4,1.6,1.8~1.10,1.13~1.16	1.5,1.7,1.11,1.12,1.17~1.21
第 2 章 电介质、电容和电能量	2.1,2.6,2.7,2.9,2.10,2.12,2.13,2.15,2.16	2.2~2.5,2.8,2.11,2.14,2.17
第 3 章 恒定电流	3.1~3.4,3.8,3.10,3.12	3.5~3.7,3.9,3.11,3.13
第 4 章 自由空间的静磁场	4.1,4.2,4.4~4.7,4.9	4.3,4.8,4.10~4.13
第 5 章 材料媒质中的静磁场	5.1,5.5,5.6,5.8,5.11	5.2~5.4,5.7,5.9,5.10
第 6 章 慢时变电磁场	6.2~6.5	6.1,6.6~6.8
第 7 章 电感和磁场能	7.1,7.4,7.5	7.2,7.3,7.6
第 8 章 快时变电磁场	8.2,8.4,8.6~8.8,8.11,8.12	8.1,8.3,8.5,8.9,8.10
第 9 章 均匀平面电磁波	9.3~9.7,9.11,9.14	9.1,9.2,9.8~9.10,9.12,9.13
第 10 章 平面波的反射与透射	10.1,10.2,10.4~10.7	10.3,10.8,10.9
第 11 章 传输线的场分析	11.4~11.6,11.8	11.1~11.3,11.7,11.9,11.10
第 12 章 传输线的电路分析	12.1~12.6,12.11,12.12,12.15	12.7~12.10,12.13,12.14,12.16~12.18
第 13 章 波导和谐振腔	13.1~13.3,13.6,13.8,13.9,13.12	13.4,13.5,13.7,13.10,13.11,13.13,13.14
第 14 章 天线和无线通信系统	14.1,14.2,14.4~14.6,14.8,14.14,14.15	14.3,14.7,14.9~14.13

最终重要的是,如果在课堂上一些章节被跳过或者略读,但是在教材中却没有被跳过或者简略,学生可以利用本书那些没有安排为详细讲解的章节内容快速找到并领会其他信息,填补缺失的部分。

传输线问题的首选方案

在使用本书过程中,按照章节(主题)顺序的一个可能的例外就是第 12 章(传输线的电路分析)。该章可以安排在不同位置,即安排在任何时间甚至课程的开始,接着继续传输线问题的首选方案,以达到教和学的目的。也就是说,本书传输线场和路的分析完全被解偶了。因此,任何场理论方面的内容都放在第 11 章(传输线的场分析),而纯电路理论放在第 12 章。如果首先讲电路分析,传输线的单位长度特性(分布参数)被认为理所当然(假设已

知)来自场的分析。表 3 给出使用本书学习一阶传输线分析的方案。

表 3 对于传输线问题的首选方案,本书内容的排序。第 12 章仅用电路理论的概念阐述(所有关于传输线的场论方面的内容放在第 11 章),因此传输线的内容可以放在课程的开始(或者课程开始后的任何时间)。注意有两节介绍(或者复习)时谐电压和电流的复数表示(8.6 节和 8.7 节),必须放在第 12 章之前讲解

8.6 节 时谐电磁场
8.7 节 时谐场和电路品质因数的复数表示
第 12 章 传输线的电路分析
第 1~11、13、14 章或者表 1 中的章和表 2 中的节的选择

多项选择的概念性问题

本书在同步网站提供 500 个概念性问题。这些都是多项选择题,集中于教材的核心理念,要求概念推理和理解而不是计算。它们用来检查读者理论学习和例题学习的效果(作业问题和概念问题参考每节的最后)。总体来说,概念性问题看起来简单一些,但是学生经常发现这些概念性问题比标准的问题还难。在教学方法上,这些概念性问题是宝贵的资源。这些概念性问题作为课内问题和讨论(所谓的主动式教学)与传统教学的结合也是理想的。

此外,概念性问题非常适合课堂评价,即评定学生的成绩和评价教学效果,通常作为课程的“预备测试”和“期末测试”分数之间的“收益”,尤其 ABET 和类似的考核标准(在这些标准中的关键词是“评价”)。本书提供了大量经过选择的概念性问题,在课程中和整个课堂教学中,对于不同点上的个别主题,指导教师可以很容易地用作部分和最终的评价手段。

MATLAB 练习,学习指南和课程设计

本书在同步网站上提供大量综合性的 MATLAB 练习,并与教材密切结合。不论理论还是例题,都被设计成有助于提高学生对电磁学更强的直观感觉和更深入的理解,并让学生发现电磁学更吸引人和令人喜爱。之所以选择 MATLAB,主要是因为它是在科学和工程教育的世界范围内被普遍接受的标准。

同步网站上共有 400 个 MATLAB 练习,涉及本书所有章节,在每节的最后还有补充问题和概念性问题。每节都有大量的辅导练习,且都有非常详细的解答以及 MATLAB 代码(m 文件)。这个资源给指导教师提供了丰富的资源来安排课内和课后作业。

矢量代数和微积分

本书介绍了矢量代数和矢量微积分的内容,并逐渐在本书各章节使用,着重于物理的理解和与电磁场理论概念的即时联系,而不是单纯的数学知识。它们完全与电磁场理论的发展相结合。电磁场理论确实实地属于生活并指导生活。

梯度、散度、旋度、拉普拉斯以及线(环量)、面(通量)和体积分逐步地从物理学(电磁学)视角加以推导。它们很自然地作为电磁场方程和定律的积分部分,并且其物理意义鲜明,而

且容易理解。此外,即使没有学过矢量代数和矢量微积分的读者,直接通过前面几章(见附录 3“矢量代数和微积分索引”),也能实实在在地学习或者更新矢量分析概念。

电路理论的链接

本书关于电磁理论和电路理论之间的联系の詳細讨论贯穿所有章节。书中有对包含直流和交流电路理论的所有单元的物理解释。所有基本的电路理论方程(电路定律、元件定律等)都是从电磁场理论推导的。总的来说,以电磁理论作为电路理论和电气工程的基础,目标是使读者培养对电磁理论的欣赏;以电路理论作为电磁场理论的近似,可以使读者理解电路理论的局限性。

历史回顾

本书几乎所有章都给出相当详细的、引人入胜的电磁场领域的著名科学家和先驱者的传记。有 40 个传记,按我的观点,这些传记不仅从历史上看非常有趣,而且也是有益的。这些传记给整个科学技术界提供了令人难忘的、始终如一的、完整的理论——电磁理论——按照时间顺序发生的真实的故事。同时很多还提供了技术事实和解释,以补充本书的材料不足。我也感觉到关于发现者的一些基本知识——他们对于人类取得了划时代的科学进步,做出了深远的贡献——例如法拉第、麦克斯韦、亨利、赫兹、库仑、特斯拉、海维赛德、奥斯特、安培、欧姆、韦伯等,是工程和物理学学生“综合教育”中不能替代的部分。

补充读物

本书每章末配有问题详细解答过程(书中例题的求解用同样的方式提供)的解答手册(给指导教师),概念性问题的答案,所有 MATLAB 计算机练习和设计的 MATLAB 代码(m 文件),以及用 PowerPoint 幻灯片制作的教材和补充读物中的图解。网站上也提供了本书的电子教材。

致谢

本书基于作者在前南斯拉夫(塞尔维亚)贝尔格莱德大学、美国柯林斯堡的博尔德科罗拉多大学、马萨诸塞州达特茅斯大学和科罗拉多州立大学 20 多年的电磁教学和研究。我感谢在这些机构工作的同事,还有我以前的博士研究生,他们的讨论、建议、想法、热情、首创精神、协作教学以及合作著书形成了我在电磁学方面的知识、教学风格、教授方法和著作,他们是 Branko Popović 教授(已故)、Milan Ilić 教授、Miroslav Djordjević 教授、Antoniје Djordjević 教授、Zoyo Popović 教授、Gradimir Božilović、Momčilo Dragović 教授(已故)、Branko Kolundžijavić 教授、Vladimir Petrović 教授以及 Jovan Surutka 教授(已故)。

我感谢这些年来我所教过的所有学生,他们给了我在教授电磁学过程中的全部快乐,教会我如何把教学做得更好。

我尤其感谢我现在的博士研究生 Nada Šekeljić、Ana Manić 和 Sanja Manić,他们在撰写 MATLAB 计算机练习、教程和代码过程中给予我非常宝贵的帮助,并且检查书中的引出和例题,求解精选的每章后面的问题。我把特别的感激之情献给我的同事和曾经的学生 Milan Ilić 教授,感谢他在写书伊始的计算机插图方面的出色的工作和帮助。我的同事和曾经的学生 Andjelija Ilić、Miroslav Djordjević 教授以及 Olivera Notaroš 对书中的插图也做了非常有益的贡献,在此表示衷心的感谢。

我感谢本书原稿的评审专家,他们提出了极其详细的、有用的、积极的和充分的意见,我认为这些意见帮助我提高了书的质量,他们是 Indra Chatterjee 教授、Robert J. Coleman 教授、Cindy Harnett 教授、Jianming Jin 教授、Leo Kempel 教授、Edward F. Kuester 教授、Yifei Li 教授、Krzysztof A. Michalski 教授、Michael A. Parker 教授、Andrew F. Peterson 教授、Costas D. Sarris 教授和 Fernando L. Teixeira 教授。

特别感谢 Pearson Prentice Hall 出版团队的所有成员,他们都很优秀。尤其要感谢我的编辑 Andrew Gilfillan,他给了我极大的帮助和支持,他的输入在手稿和书形成的几个阶段都是最基本的工作。感谢我制作人 Scott Disanno 非常熟练地引导书的制作。感谢 Prentice Hall 出版社的副主编和编辑部主任 Marcia Horton 在设计初始阶段的大量交流和支持。感谢 Prentice Hall 出版社早期的发行人 Tom Robbins 最初的鼓励。我希望他们喜欢我们广泛的交流和讨论。

我要感谢我的妻子 Olivera Notaroš,她也在科罗拉多州立大学电子与计算机工程系任教,她不仅给予我一贯的大力支持和理解,而且直接参与手稿写作和书的制作,提出了非常独特的想法和建议,如果没有她,这本书是不可能的,或者至少是非常困难的。我还要感谢我可爱的女儿 Jelena 和 Milica 非凡的支持,希望我能实现对她们的承诺,离开写作休息一段时间。和我以前的书一样,我很悲伤本书的写作占据我这么长的时间,我挚爱的父母 Smilja 和 Mile 没有收到本书的清样就去世了。

最后就个人而言,我的确热爱电磁学和电磁学教学,我希望本书将至少会把我的一部分热爱和热情传递给读者,帮助越来越多的学生开始喜欢和欣赏这个迷人的、具有无穷无尽影响力的学科。我很骄傲我能够在我的班级传递这些,而且现在很高兴也很渴望利用这本书把这些传播给更多的读者。请把关于这本书的评论、建议、问题和修正(我希望不会有很多)发给我: notaros@colostate.edu。

Branislav M. Notaroš
柯林斯堡,科罗拉多

“我坚信,学生们花在这本书上的时间是值得的。但我说不清楚怎样才能把作者的信心传递给学生。”

——本书手稿的匿名评审专家

“I believe but cannot explain that the author's confidence is somehow transferred to the student as a trust that the text they are reading and learning from is worth their time.”

——Anonymous reviewer of the book manuscript

目 录

第 1 章 自由空间的静电场	1
1.1 库仑定律	2
1.2 电场强度矢量的定义	6
1.3 连续电荷分布	6
1.4 体积分和面积分	8
1.5 给定电荷分布下的电场强度矢量	9
1.6 电标量位的定义	14
1.7 给定电荷分布的电位	16
1.8 电压	18
1.9 静电场中电场和电位之间的微分关系	19
1.10 梯度	20
1.11 三维和二维电偶极子	23
1.12 高斯定律及其证明	24
1.13 高斯定律的应用	27
1.14 高斯定律的微分形式	30
1.15 散度	32
1.16 静电场中的导体	35
1.17 带电导体产生的电场和电位的分析	37
1.18 静电屏蔽	40
1.19 任意形状金属体的电荷分布	42
1.20 带电金属体数值分析的矩量法	43
1.21 镜像理论	44
问题	46
第 2 章 电介质、电容和电能量	56
2.1 电介质的极化	56
2.2 极化矢量	57
2.3 束缚体电荷密度和面电荷密度	58
2.4 极化电介质产生的电场和电位的分析	61
2.5 广义高斯定律	64
2.6 电介质材料的性质	64
2.7 静电场的麦克斯韦方程	67
2.8 线性、各向同性和均匀媒质中的静电场	67
2.9 电介质-电介质的边界条件	71
2.10 泊松方程和拉普拉斯方程	73

2.11	拉普拉斯方程数值解法的有限差分法	75
2.12	电容器电容的定义	77
2.13	均匀电介质电容器的分析	78
2.14	不均匀电介质电容器的分析	85
2.15	静电系统的能量	92
2.16	电场能量密度	94
2.17	静电系统的电介质击穿	97
	问题	103
第3章	恒定电流	115
3.1	电流密度矢量和电流强度	115
3.2	电导率与局部形式的欧姆定律	118
3.3	导体的损耗和焦耳定律的局部形式	121
3.4	连续性方程	122
3.5	恒定电流的边界条件	125
3.6	恒定电流场的电荷分布	126
3.7	弛豫时间	127
3.8	电阻、欧姆定律和焦耳定律	128
3.9	电导和电容之间的对偶	134
3.10	外部电能体积源和电源	136
3.11	不均匀非理想电介质电容器的分析	139
3.12	载有恒定电流的有损传输线的分析	142
3.13	接地电极	148
	问题	153
第4章	自由空间的静磁场	160
4.1	磁场力和磁通密度矢量	160
4.2	毕奥-萨伐尔定律	163
4.3	给定电流分布的磁通密度矢量	165
4.4	安培定律的公式	171
4.5	安培定律的应用	173
4.6	安培定律的微分形式	178
4.7	旋度	180
4.8	磁通守恒定律	183
4.9	磁矢量位	186
4.10	安培定律的证明	188
4.11	磁偶极子	189
4.12	洛伦兹力与霍尔效应	191
4.13	磁场力的计算	194

问题	198
第 5 章 媒质中的静磁场	205
5.1 磁化矢量	205
5.2 导磁材料的性能和分类	206
5.3 磁化体电流和面电流密度	210
5.4 广义安培定律	215
5.5 导磁材料的磁导率	217
5.6 静磁场的麦克斯韦方程和边界条件	219
5.7 磁场的镜像理论	221
5.8 磁化曲线与磁滞	224
5.9 磁路——基本分析假设	226
5.10 磁路的基尔霍夫定律	229
5.11 非时变电磁场的麦克斯韦方程	236
问题	237
第 6 章 慢时变电磁场	243
6.1 感应电场强度矢量	244
6.2 慢时变电场与磁场	248
6.3 法拉第电磁场感应定律	250
6.4 慢时变电磁场的麦克斯韦方程	254
6.5 变压器感应的计算	255
6.6 由于运动产生的电磁感应	261
6.7 总电磁感应	266
6.8 涡流	271
问题	277
第 7 章 电感和磁场能量	289
7.1 自感	289
7.2 互感	295
7.3 磁耦合电路的分析	300
7.4 载流导体的磁场能量	307
7.5 磁场能量密度	310
7.6 从磁场能量计算内电感与外电感	316
问题	319
第 8 章 快时变电磁场	325
8.1 位移电流	325
8.2 快时变电磁场的麦克斯韦方程	330
8.3 电磁波	333
8.4 快时变电磁场的边界条件	334
8.5 快时变电流连续性方程的不同形式	335
8.6 时谐电磁场	338