

21 世纪电子电气工程师系列

电磁学

双色

〔日〕 正田英介 主编
高木正藏 编

电子电气工程师

科学出版社

OHM 社

21 世纪电子电气工程师系列

电 磁 学

〔日〕正田英介 主编 高木正藏 编
赵立竹 董玉琦 译



科学出版社 OHM 社

2001 北京

图字:01-2000-3681 号

Original Japanese edition

Arute 21 Denjiki

Edited by Shouzou Takaki

Copyright © 1997 by Shouzou Takaki

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

アルテ21

電磁気

高木正蔵 オーム社 1997

图书在版编目(CIP)数据

电磁学/[日]高木正蔵编;赵立竹,董玉琦译.-北京:科学出版社,2001

(21世纪电子电气工程系列/[日]正田英介主编).

ISBN 7-03-009346-1

I. 电… II. ①高… ②赵… ③董… III. 电磁学-基本知识 IV. 0441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 23239 号

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 7 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2001 年 7 月第一次印刷 印张: 6 3/8

印数: 1—4 000 字数: 202 000

定 价: 19.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

主编的话

当今,电子设备已广泛应用于国民经济的各个领域。为了用好这些电子设备,科技人员必须掌握电子技术方面的有关知识。目前,电子技术的应用领域也在迅速扩展,人材需求量很大的状况一直没有改变。因此对电子工程专业的毕业生有必要从应用的角度进行二次培训,也有必要为非电专业的技术工作者学习电气电子技术的相关知识创造更多的机会。

为了适应这一形势的需要,组织编写了“21 世纪电子电气工程师系列”丛书。目的是要编写一套全面系统介绍电子电气专业基础知识的,既适用于企业技术人员培训,也适于非电专业技术人员阅读的新型教科书。丛书编委都是在日本有名的电子电气企业中长期从事职工教育培训的专家,丛书结构及各册内容均由编委会讨论决定。

本套丛书的特点首先表现在教材内容紧密联系实际。通过产品和技术模型说明基础知识与产品、系统的关系,通过具体产品的结构和系统中所发生的现象说明其工作原理或理论。另外,本丛书的所有执笔者均为在相应企业中长期从事实际技术工作或从事职工教育工作的专家。所以,具有丰富的实际经验,书中的举例和例题都是他们多年工作经验的结晶。

此外,在电子技术的专业教学中,由于所涉及内容非常广泛,所以以往在对教学内容细化的同时常常忽略了对基础内容的充分消化。本丛书充分注意到了这一问题,从现象入手说明原理,从而保证了基础知识易学易懂,教材内容紧密联系实际。本丛书还可用于大专院校的专业课教学。

由于受产业全球化和社会环境的影响,21 世纪的工程学科必将会发生巨大地变化。读者通过对本套丛书的学习,可以对新时期的电子技术知识有较系统的了解,并在各种领域的产品和系统的革新中充分发挥自己的聪明才智。

东京理科大学教授,工学博士

正田英介

21 世纪电子电气工程师系列

编辑委员会

主 编 正田英介（东京大学）

编 委 楠本一幸（株式会社东芝）

岛田 弥（三菱电机株式会社）

高木正藏（东芝综合人材开发株式会社）

常深信彦（株式会社日立制作所 日立京浜工业专科学院）

丹羽信昭（东京电力株式会社 东电学园）

春木 弘（株式会社富士电机能力开发中心）

吉冈芳夫（株式会社日立制作所）

吉永 淳（福井工业大学 前三菱电机株式会社）

执 笔 高桥义则（东芝综合人材开发(株)东芝学园）

铃木政善（(株)日立制作所 日立茨城工业专科学院）

田边信二（三菱电机(株)先端技术综合研究所）

浦崎修治（三菱电机(株)情报技术综合研究所）

前 言

技术人员在从事电子电气技术工作时,首先必须理解产品的电磁技术;其次对具体情况,必须具有深刻理解相关电磁现象的能力及解决错综复杂问题的能力。本书的编写目的就是要培养解决实际技术问题的能力。有关电磁学的书籍已出版了很多,但本书叙述以实际产品的电磁技术作为基本出发点,具有下述特点:

① 本书中编制了技术/产品对应表,使读者能掌握电磁现象与产业之间关系的全貌(参见卷末里页)。

② 通过具体说明各种产品所利用的电磁现象,来讨论其理论背景。即使在需要展开严密的理论时,也是尽可能地介绍在实际经常用到的知识。

③ 技术人员在学习电磁学的过程中,不可避免地要遇到数学公式。因此,讲解时要尽量抓住电磁现象的特征,先使其现象公式化再展开相关理论。

④ 在理论说明中,对于必要的数学表达式尽可能做到能从视觉上直观地理解其物理意义。

⑤ 列出适量习题并给出详细解答,以帮助学习和理解。

有些人认为电磁学是运用繁杂数学的难懂的学问,我们希望诸位读者通过本书的学习,把电磁学看成我们身边的学问,并成为具有科学素质的技术工作者。

本书的“电磁学与电器产品的关系”及第1章、第2章、第3章由高桥义则执笔,第4章及第6章由铃木政善执笔,第5章由田边信二执笔,第7章由浦崎修治执笔。在本书出版之际,谨向编委们的尽心尽力和欧姆社的各位所给予的种种支持表示深深的谢意。

作者

目 录

电磁学与电器产品的关系

第 1 章 电荷、电场、电位

1.1 电的本质	5
1.1.1 原子里潜藏着电	5
1.1.2 摩擦起电的机理	7
1.1.3 电池的原理	8
1.1.4 电荷之间的相互作用力	12
1.2 电 场	13
1.2.1 电力线的表示	17
1.2.2 高斯定理	18
1.2.3 高斯定理的应用	21
1.3 电 位	23
1.3.1 等位面的性质	24
1.3.2 电位差与电位	25
1.3.3 泊松方程的推导	26
1.3.4 半导体 pn 结的接触电位	27
1.4 放电机理	31
1.4.1 真空放电和气体放电	31
1.4.2 气体中电子的行为	32
1.4.3 放电的种类	34
1.4.4 日光灯的原理	35
1.4.5 气体绝缘开关装置(GIS)	37
练 习 题	38

第2章 静电感应与电容器

2.1	电场中的导体	39
2.2	电场中的电介质	42
2.3	电介质中的电场和电通量密度	44
2.3.1	电介质中的电场	44
2.3.2	电介质中的电通量密度	45
2.4	电荷的存储	47
2.4.1	电容器是储电装置	47
2.4.2	电容器可储蓄能量	47
2.5	电容与电能的实例	48
2.5.1	孤立导体球的电容与电能	48
2.5.2	平行板电容器的电容	48
2.5.3	静电型话筒与平行板电容器的关系	50
2.5.4	平行板电容器极板之间的作用力	51
2.5.5	平行板电容器存储的电能	51
2.5.6	平行导线间的电容	52
2.6	电介质交界面处的电场和电通量密度	53
2.6.1	在交界面处的电通量密度和电场强度	54
2.6.2	交界面上的作用力	55
2.6.3	插入两种电介质的平行板电容器的电容	57
	练习题	59

第3章 电流与电阻

3.1	电流的种类	61
3.1.1	电流的载体	61
3.1.2	直流与交流	61
3.1.3	电流的流动方式	62
3.2	导体中的电流和电阻	62
3.2.1	欧姆定律	62

3.2.2 电阻的产生	65
3.3 对流电流的流动方式	67
3.4 在真空或电介质中流动的电流	70
3.5 与电流有关的现象	71
3.5.1 电流的热作用	71
3.5.2 热电动势	74
3.5.3 珀耳帖效应	77
3.5.4 电解的机理	78
练 习 题	80

第 4 章 磁铁产生的磁场与电流产生的磁场

4.1 奥斯特的发现	81
4.2 磁铁产生的磁场	84
4.2.1 磁极间的作用力——库仑定律	84
4.2.2 容易被磁化的标准——相对磁导率 μ_s	85
4.2.3 磁场强度的确定	85
4.2.4 磁位和磁位差与磁场的关系	87
4.2.5 磁力线、磁通量、磁通密度 ——磁力线的面密度表示磁场强度	89
4.3 电流激发的磁场	93
4.3.1 在电线周围产生的环状磁场	93
4.3.2 计算电流产生的磁场强度 ——毕奥-萨伐尔定律	94
4.3.3 用简单的方法求导体形状对称的磁场强度 ——安培环路定理	96
4.4 电流与磁场的相互作用	98
4.4.1 力正比于电流与磁场的积,方向与电流和 磁场垂直	98
4.4.2 在直流电机和磁电式电流计中怎样利用的 电磁力	100

4.4.3	怎样表示作用于平行导体之间的电磁力	101
4.4.4	磁场中运动电子所受的力	102
练 习 题		105

第5章 磁 路

5.1	磁铁与铁的区别	107
5.1.1	磁化曲线	107
5.1.2	硬磁材料,软磁材料	109
5.1.3	退磁场	109
5.1.4	软硬磁材料的应用	111
5.2	磁 铁	113
5.2.1	磁 畴	113
5.2.2	磁性体与非磁性体	114
5.2.3	磁 矩	115
5.3	磁 路	115
5.3.1	磁 路	115
5.3.2	磁通量的起源——磁通势	116
5.3.3	磁 阻	117
5.4	磁路的应用	117
5.4.1	应用的具体实例	117
5.4.2	在实际机器、装置中的磁路	118
5.5	磁导率	119
5.5.1	磁导率	119
5.5.2	磁性材料的磁化过程	119
5.5.3	高频磁场的磁导率	120
5.5.4	高磁导率材料	121
5.6	磁路中的磁铁	122
5.6.1	磁铁必须具有的特性	122
5.6.2	磁性材料	123
5.7	电路与磁路	123

5.7.1 比 较	123
5.7.2 在磁路中空间也是回路的一部分	124
5.7.3 磁饱和	125
5.7.4 为何产生磁饱和	125
5.7.5 磁路与电路的异同性	125
练 习 题	126

第 6 章 电磁感应

6.1 电的产生机理	127
6.1.1 使世界发生变化的电磁感应的发现	127
6.1.2 感应电动势由通过回路的磁通匝链数的 时间变化率决定(法拉第-诺曼公式)	128
6.1.3 磁场中运动的导体内产生怎样的感应电动势 ...	129
6.1.4 变压器中产生怎样的感应电动势 ——共用铁芯的两个线圈之间的电磁感应	130
6.1.5 发电机中产生怎样的感应电动势 ——线圈在磁铁之间旋转,产生交流电压	131
6.1.6 大平面上流动的感应电流——涡电流	133
6.1.7 感应电动机原理——阿喇戈圆盘	137
6.2 自感与互感	138
6.2.1 什么是自感现象——通过自身的磁通量 发生变化而在自身引起电动势	138
6.2.2 什么是互感现象——因其它回路的磁通量 发生变化而引起电动势	139
6.2.3 储存于载流线圈中的能量——线圈是储 能元件	141
6.2.4 怎样理解磁能——分布于线圈内部空 间(磁场)的能量	142
练 习 题	143

第 7 章 电磁波

7.1 电磁波的发射	145
7.1.1 电磁波的产生	147
7.1.2 电磁波的传导	151
7.1.3 发射高效率电磁波	153
7.2 电磁波的传播	158
7.2.1 电磁波是怎样传播的	158
7.2.2 电磁波的传播方向	164
7.2.3 电磁波的接收	166
7.3 移动电话	167
7.3.1 移动电话是怎样联通的	168
7.3.2 用移动电话收发电磁波	169
7.3.3 21 世纪的移动电话	170
练 习 题	171
练习题解答	173
参考文献	187

电磁学与电器产品的关系

电器产品利用的是电磁的基本现象。为了制成品质优良的电器产品,还要解决许多实际技术问题。我们先通过实例来了解电磁学与电器产品的关系。具体以电动机为例,说明其基本的电磁现象与技术问题。作为电动机大多使用的是感应电动机。在需要机械动力的地方几乎使用的都是三相感应电动机。此外,作为家用电器的动力源,使用的是单相感应电动机。感应电动机有许多优点,无论三相或单相电机,电源容易获得;且因构造及使用简单而容易操作;同时具有价格低且输出特性好等特点。图1是三相感应电动机构造的示意图,图中列出对应于各元件的电磁学技术因素和应用中的技术问题。

首先,简单说明感应电动机的工作原理。

① 在定子铁芯上缠绕线圈,若给线圈通以交流电,可产生N极与S极交替变化的交变磁场。若设法缠绕线圈使其形状与交变磁场的产生时间相一致,则可产生环绕定子铁芯的旋转磁场。图2给出了三相交流电内产生4极旋转磁场的示意图。

② 环绕定子铁芯的磁场的磁力线,通过空隙流入转子铁芯并被转子导体横切。这时在转子导体内将产生感应电动势且有感应电流流动。

③ 转子铁芯一旦有电流流动,这个电流就要受到旋转磁场的作用,转子开始旋转。

④ 定子铁芯的旋转磁场带动转子持续转动。以上过程应用的是阿拉哥盘原理。

⑤ 若在转子上加机械负载,就要增加转子电流,产生电磁感应的定子线圈的电流也要增加。

以上是感应电动机的工作原理,在实际制造中为了达到高转矩、稳定旋转、低噪音还要克服各种技术问题。

从第1章起我们将详细介绍电磁学基础知识与实际应用,同时结合具体产品加以说明。我们希望读者能够理解,不管是什么电器产品,都有电磁学的基本现象。为了最佳地实现这些现象,还存在着实际的技术问题。

固定子铁芯

交变磁场

旋转磁场

磁路

叠片钢板

高电阻率
高饱和磁通密度
高磁导率

钢板之间绝缘

铁损

磁滞损耗
涡流损耗

铁芯的电磁振动

电磁声

磁性楔

空隙(定子, 转子之间的间隙)

磁路

非平衡的磁力
电磁波

定子铁芯

磁路

电磁振动

转子铁芯

磁路
叠片钢板
铁损

短路环

铜损

轴

轴承

轴电流

轴承支架

定子绕组

定子电流

铜线

铜损(焦耳热)

绝缘

线圈端的振动

线圈的电晕放电

转子导体

铜棒或铝铸件

电磁感应(弗莱明右手定则)

电动势

感应电流

电磁力

风扇

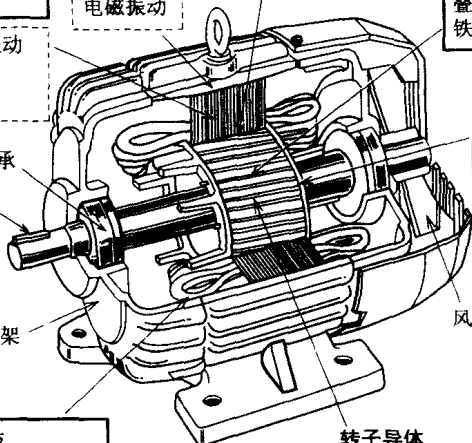


图 1 三相感应电动机的构造

(电磁学的 技术因素, 技术问题)

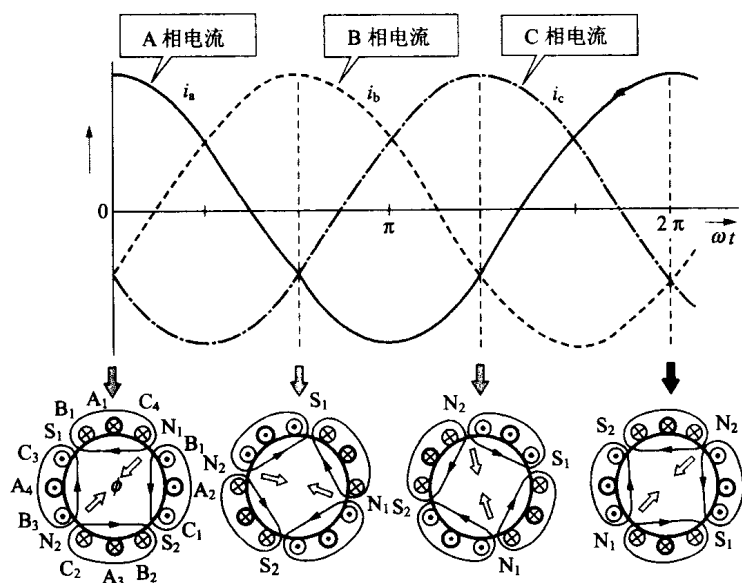


图 2 4 极旋转磁场的产生

原书空白页

第 1 章 电荷、电场、电位

从本章起让我们一起来学习电磁学的基本理论,理解电磁学最基本的概念——电荷、电场及电位,了解电的起因源于原子内的物质。具体地说,通过学习摩擦起电现象了解电的本质;掌握电荷之间相互作用力的规律;了解传播这种作用力空间的性质;理解放电原理。另外应理解与力学相同,由于电荷之间的相互作用,对于不同的位置电荷具有不同的位能。通过这些内容的学习,掌握电磁学的基本思考方法。诸如电池、荧光灯等我们身边的电器产品、半导体构造中特别重要的电场层、以及高电压、大电流领域的气体绝缘开关装置等,在这些产品及装置中应用了怎样的电磁原理,在此我们都要进行学习。

1.1 电的本质

到了冬天,在气候干燥的日子里,当衣服缠身或脱衣服时,有时会发出劈啪劈啪声。这是由于衣服因摩擦而带了静电。将用布摩擦过的塑料尺靠近切碎的纸屑,纸屑立刻被吸附到尺上。这个现象在儿时的游戏中谁都知道,但是,就带电现象进行说明,因它与衣服的颜色、尺寸的变化,尺子着色或变形的原因不同,想必对电的本质的认识仍模糊不清。那么就让我们对身边的类似现象进行深入的思考,直到弄清电的实质。

● 1.1.1 原子里潜藏着电

任何物体都是由原子分子组成。原子是直径大约为一百亿分之一米的粒子,它是由置于中心的原子核和绕其中心旋转的电子组成。原子核内有质子和中子。质子、中子和电子都具有质量,质子和电子除此之外还具有叫