

高等学校教学用书



# 电机学

上册

DIANJI XUE

浙江大学电机教研室编著 王毓东主编

浙江大学出版社

高等学校教学用书

# 电 机 学

(上 册)

浙江大学电机教研室 编著

王毓东

浙江大学出版社

高等学校教学用书

# 电 机 学

浙江大学电机教研室编著

浙江大学出版社

## 内 容 简 介

本书基本上是根据电工技术类和电力类两个高校教学指导委员会编写的电机学教学大纲进行编写的。

全书分上、下两册。上册包含导论和三篇共十五章，内容为电机学的基础知识概述、直流电机和变压器的基本结构、基本工作原理和运行分析，以及交流电机理论的一般问题；下册包含两篇共十五章和附录，内容为异步电机和同步电机的基本结构、工作原理和运行分析以及一个附录，介绍如何编制计算机程序求解较复杂的电机学习题的方法。

本书可供高等院校电机、电气技术、电力、电器、电气自动化以及其它强电专业作为本科生教材，也可作为多学时强电类高等专科学校教材或参考书，以及有关科技工程技术人员学习参考。

2P31/23

### 电 机 学 上 册

浙江大学电机教研室 编著

王毓东 主编

责任编辑 樊建勳

\* \* \*

浙江大学出版社出版

浙江省煤田地质局制图印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

\* \* \*

开本 850×1168 1/32 14 印张 349.6 千字

1990年6月第1版 1996年3月第5次印刷

印数:15501—18500

ISBN 7-308-00497-X

C·M·008 定价:14.00元

## 内 容 简 介

本书基本上是根据电工技术类和电力类两个高校教学指导委员会编写的电机学教学大纲进行编写的。

全书分上、下两册。上册包含导论和三篇共十五章,内容为电机学的基础知识概述、直流电机和变压器的基本结构、基本工作原理和运行分析,以及交流电机理论的一般问题;下册包含两篇共十五章和附录,内容为异步电机和同步电机的基本结构、工作原理和运行分析以及一个附录,介绍如何编制计算机程序求解较复杂的电机学习题的方法。

本书可供高等院校电机、电气技术、电力、电器、电气自动化以及其它强电专业作为本科生教材,也可作为多学时强电类高等专科学校教材或参考书,以及有关科技工程技术人员学习参考。

2P31/33

## 电 机 学

### 下 册

浙江大学电机教研室 编著

王毓东 主编

责任编辑 龚建勋

\* \* \*

浙江大学出版社出版

浙江省煤田地质局制图印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

\* \* \*

开本 850×1168 1/32 12.25印张 307千字

1996年6月第1版 1996年3月第5次印刷

印数:15501—18500

ISBN 7-308-00498-8

---

TM1·009 定价:12.50元

# 前 言

电机学是电机系各专业公共的重要专业基础课，对各有关专业高级工程技术人才的培养起着重要的作用。浙江大学电机教研室曾于1961年和1965年两次为全国高等工业院校编写了电机学通用教材，分别由中国工业出版社和机械工业出版社出版，在国内有一定的影响，为了继承和发展这两次教材的编写经验，并总结我校电机教研室三十多年来在电机学课程所累积的心得体会，为了满足“三个面向”对高等工程教育提出的更高要求，自1985年起，我们决定组织力量新编一本电机学教材。经过我教研室电机学教学组的充分准备。在多次深入讨论的基础上，拟定了编写提纲、进行分工，确定本书的编写一定要贯彻“少而精、适应面广、内容新颖、便于教学”等原则。全书内容篇幅按120学时作为参考基准来编写。考虑到有些内容并非对各授课专业都必要，因此在这些章节加上“\*”号，作为选学内容，供不同专业按照实际需要来选用。本书基本按照传统体系编写，但也适当吸取了国内外按机电能量转换体系所编电机学教材的优点，加强了对旋转电机共同性理论问题的分析。全书包含导论、五篇正文以及一个附录，依次讲授直流电机、变压器、交流电机理论的一般问题、异步电机和同步电机。为了照顾到电力类专业与后续课程的衔接，也可将讲授顺序改为由变压器篇开始，而将直流电机移到最后，而不致产生困难。为了使学生在学习了计算机语言和数值计算两门基础课后进一步熟悉计算机应用和掌握程序编制技术，书末增添了一个介绍电机学计算机解题方法的附录。

本书由王毓东副教授担任主编，任礼维副教授、张杰官、张昆

雄和潘再平同志参加编写。书稿的编写分工如下：任礼维编写第一篇直流电机；张杰官编写第四篇异步电机；张昆雄编写第二篇变压器；潘再平编写附录电机学的计算机解题方法及程序实例；王毓东编写前言、导论、第三篇交流电机理论的一般问题、第四篇中的13-1和13-2两节以及第五篇同步电机，并对全书进行统稿。

本书稿在编成校内讲义后已在我校电机系电机和电力系统自动化等专业使用过两届。浙大教务处聘请罗荣杰副教授、罗君骅副教授担任主审，他们从体系编排到具体问题的分析和编写方法提出了大量宝贵的建议和修改意见，电机学教学组各位老师也都提出了不少宝贵意见。太原工业大学熊大慰教授，哈尔滨工业大学王宗培教授，浙江大学许大中教授和陈永校教授都对本书的出版给予了关心、推荐和支持，哈尔滨大电机研究所、哈尔滨电机厂、东方电机厂、上海电机厂、北京重型电机厂等单位为本书的撰写提供了丰富的图片和技术资料。由于以上同志和单位的关心、帮助和支持，才使本书得以在原来校内讲义的基础上，在质量上有了很大的提高，对此全体编者表示衷心的感谢。刘先义同志对本书图稿做了大量工作，此外在文稿和图稿的整理加工过程中，我校电机专业研究生黄焱、赵昌兴、陈溯，电机86和87级学生梁亚东、耿卫东、杨晓波、邹向东、王蔚、陈辉等二十余位同学付出了大量的劳动，为保证本书按期交稿，作出了贡献，在此一并表示深切的感谢。

编者

1989年12月

# 目 录

导论	i
0-1 电机在国民经济建设中的作用和我国电机工业简况	1
0-2 磁路	4
0-3 铁磁材料特性	7
0-4 电机的机电能量转换过程	13
0-5 电机产生持续机电能量转换的条件	19
0-6 旋转电机的主要形式	20
习题	25

## 第一篇 直流电机

第一章 直流电机的工作原理和基本结构	26
1-1 直流电机的工作原理	26
1-2 直流电机的基本结构	28
1-3 直流电机按励磁方式的分类	33
1-4 额定值	35
习题	35
第二章 直流电机的电枢绕组和电枢反应	37
2-1 直流电枢绕组的基本特点	37
2-2 单叠和复叠绕组	41
2-3 单波和复波绕组	46
*2-4 直流电枢绕组的对称条件	52
*2-5 均压线概念及蛙形绕组	53



2-6	直流电机的磁场和磁路	60
2-7	电枢绕组的感应电动势	74
2-8	直流电机的电磁转矩	76
	习题	78
<b>第三章</b>	<b>直流发电机</b>	<b>82</b>
3-1	直流发电机的基本方程式	82
3-2	他励发电机的特性	86
3-3	并励发电机的自励条件和特性	89
3-4	复励发电机的特点	98
	习题	99
<b>第四章</b>	<b>直流电动机</b>	<b>104</b>
4-1	直流电机的可逆原理	104
4-2	直流电动机的基本方程式	106
4-3	直流电动机的工作特性和机械特性	108
4-4	直流电动机的起动	122
4-5	直流电动机的调速	127
4-6	直流电动机的制动	131
	习题	141
<b>第五章</b>	<b>直流电机的换向</b>	<b>146</b>
5-1	换向的电磁理论	146
5-2	产生火花的原因	156
5-3	改善换向的方法	159
5-4	电位差火花、环火及其防止方法	163
5-5	无火花区和换向的试验调整	166
	习题	169
<b>第六章</b>	<b>特种直流电机</b>	<b>173</b>
6-1	直流伺服电动机	173
6-2	永磁直流电机	176

6-3	直流力矩电动机	182
6-4	直流调速发电机	185
6-5	单极直流电机	188
	习题	190

## 第二篇 变 压 器

<b>第七章</b>	<b>变压器的用途、分类与结构</b>	191
7-1	变压器的用途和分类	191
7-2	变压器的主要部件及冷却系统	193
7-3	额定值	196
	习题	196
<b>第八章</b>	<b>变压器的基本原理</b>	198
8-1	变压器的空载运行	198
8-2	变压器的负载运行	206
8-3	漏抗计算和参数测定	219
8-4	标么值及其应用	224
8-5	变压器的运行性能	227
	习题	233
<b>第九章</b>	<b>三相变压器</b>	238
9-1	三相变压器的磁路系统	238
9-2	三相变压器绕组的连接法和连接组	240
9-3	三相变压器空载时的电动势波形	246
*9-4	对称分量法和三相变压器各相序的等效电路	248
*9-5	三相变压器的不对称运行	254
*9-6	V/V 连接变压器的运行	265
	习题	267
<b>第十章</b>	<b>变压器的并联运行</b>	273
10-1	变压器并联运行的理想条件	273

10-2	变比不等时的并联运行	274
10-3	短路阻抗不等时变压器的并联运行	275
	习题	280
<b>第十一章</b>	<b>变压器的瞬变过程</b>	283
11-1	变压器空载合闸的瞬变过程	283
11-2	变压器副边突然短路时的瞬变过程	287
*11-3	变压器的过电压现象	290
	习题	295
<b>第十二章</b>	<b>三绕组变压器及其它用途变压器</b>	296
12-1	三绕组变压器	296
12-2	自耦变压器	304
12-3	互感器	312
*12-4	分裂变压器	314
	习题	319

### 第三篇 交流电机理论的一般问题

<b>第十三章</b>	<b>交流电机的绕组和电动势</b>	323
13-1	交流绕组的构成原则和分类	323
*13-2	三相单层绕组	325
13-3	三相双层绕组	329
13-4	在基波磁场下的绕组电动势	337
13-5	感应电动势中的高次谐波及其削弱方法	346
*13-6	齿谐波电动势及其削弱方法	358
	习题	373
<b>第十四章</b>	<b>交流电机绕组的磁动势和气隙磁场</b>	376
14-1	单相绕组的磁动势——脉振磁动势	376
14-2	脉振磁动势和旋转磁动势	389
14-3	三相绕组的磁动势——旋转磁动势	395

14-4	圆形和椭圆形旋转磁动势·····	407
*14-5	交流电机的气隙磁场和激磁电抗·····	411
	习题·····	418
<b>第十五章</b>	<b>交流电机的电磁转矩·····</b>	<b>422</b>
*15-1	铁芯转矩概念·····	422
15-2	从 $Bli$ 观点来研究电磁转矩·····	426
15-3	转矩公式的分析、产生恒定转矩的条件·····	430
	习题·····	432

# 目 录

## 第四篇 异步电机

<b>第十六章 异步电机的类型和基本结构</b> .....	434
16-1 异步电动机的作用原理和运行状态.....	434
16-2 异步电机结构的主要部件.....	437
习题.....	442
<b>第十七章 异步电机的基本原理</b> .....	444
17-1 转子静止时的异步电机.....	446
17-2 转子旋转时的异步电机.....	458
17-3 异步电机的等效电路.....	468
17-4 笼型转子的极数、相数和参数折算.....	474
习题.....	478
<b>第十八章 异步电动机的功率、转矩和运行性能</b> .....	482
18-1 异步电动机的功率和转矩方程式.....	482
18-2 异步电动机的机械特性.....	487
18-3 异步电动机的工作特性.....	497
*18-4 异步电动机圆图法求最大转矩.....	500
18-5 异步电动机参数测定.....	507
习题.....	512
<b>第十九章 三相异步电动机的起动、调速和制动</b> .....	515
19-1 异步电动机的起动性能要求.....	515
19-2 笼型转子异步电动机的起动.....	515

19-3	绕线转子异步电动机的起动	521
19-4	深槽和双笼型异步电动机	523
•19-5	异步电动机的附加转矩及其对起动的影 响	526
19-6	异步电动机的调速	532
19-7	异步电动机的制动方法	552
	习题	555
<b>第二十章</b>	<b>三相异步电动机的不对称运行和单相异步电动机</b>	558
20-1	三相异步电动机在不对称电压下运行	558
20-2	转子单相断线时异步电动机的运行	562
20-3	单相异步电动机	566
	习题	575
<b>第二十一章</b>	<b>异步发电机及特种异步电机</b>	577
21-1	异步发电机	577
21-2	交流伺服电动机	581
21-3	交流测速发电机	583
21-4	感应调压器	584
•21-5	移相器	586
21-6	自整角机	587
•21-7	回转变压器	590
21-8	电磁调速异步电动机	591
21-9	直线异步电动机	593
•21-10	单相串激换向器电动机	596
	习题	598

## 第五篇 同步电机

<b>第二十二章</b>	<b>同步电机的基本结构</b>	600
22-1	同步电机的类型和主要结构部件	600
•22-2	同步电机的冷却方式	605

•22-3	同步电机的励磁方式·····	609
22-4	额定值·····	615
习题	·····	616
<b>第二十三章</b>	<b>同步电机的基本原理</b> ·····	<b>617</b>
23-1	同步发电机的空载运行·····	617
•23-2	电压波形畸变率和电压谐波因数·····	619
23-3	对称负载时的电枢反应·····	620
23-4	隐极同步发电机的负载运行·····	624
23-5	凸极同步发电机的双反应理论·····	631
23-6	凸极同步发电机的负载运行·····	635
习题	·····	641
<b>第二十四章</b>	<b>同步发电机的运行特性</b> ·····	<b>644</b>
24-1	同步发电机的空载特性和短路特性·····	644
24-2	同步发电机的零功率因数负载特性、外特性 和调整特性·····	648
24-3	同步发电机的直轴同步电抗和短路比·····	655
24-4	用作图法求取额定励磁电流和电压变化率·····	658
24-5	稳态参数的测定·····	663
习题	·····	666
<b>第二十五章</b>	<b>同步发电机的并联运行</b> ·····	<b>670</b>
25-1	并联合闸的条件与方法·····	670
25-2	同步发电机的功率和转矩方程·····	674
25-3	同步发电机的稳态功角特性·····	676
25-4	同步发电机与大电网并联运行时有功功率调 节和静态稳定·····	679
25-5	无功功率的调节和V形曲线·····	685
习题	·····	687
<b>第二十六章</b>	<b>同步电动机和同步调相机</b> ·····	<b>691</b>

26-1	同步电动机的基本方程、相量图和功角特性	691
26-2	无功功率的调节	694
26-3	同步电动机的起动	696
26-4	同步调相机	700
	习题	701
<b>第二十七章</b>	<b>同步发电机的不对称运行</b>	<b>704</b>
27-1	同步发电机不对称运行时的参数和 等效电路	704
27-2	同步发电机的不对称运行	708
*27-3	负序和零序参数的测定	714
	习题	716
<b>第二十八章</b>	<b>同步电机的突然短路</b>	<b>719</b>
28-1	超导体回路磁链守恒原理	719
28-2	对称突然短路的物理过程	720
28-3	瞬变电抗和超瞬变电抗	727
28-4	突然短路电流的分析	732
*28-5	不对称突然短路概念	739
*28-6	突然短路对电机的影响	740
	习题	742
<b>第二十九章</b>	<b>同步电机的振荡</b>	<b>745</b>
29-1	同步电机振荡的物理过程	745
29-2	同步电机振荡时的转矩平衡方程式	747
29-3	同步电机的自由振荡	750
*29-4	动态稳定概念	753
*29-5	强迫振荡概念	757
	习题	761
<b>第三十章</b>	<b>其它同步电动机</b>	<b>763</b>
30-1	磁阻同步电动机	763



30-2	永磁同步电机	765
30-3	爪极同步电机	768
30-4	步进电动机	770
	习题	773
<b>附录</b>	<b>电机学的计算机解题方法及程序实例</b>	<b>775</b>
	一、例    题	775
例 1	直流并励发电机空载电动势计算	775
例 2	直流电动机起动过程中电流和转速的变化	779
例 3	单相变压器实验数据处理	789
例 4	单相变压器 $T$ 形等值电路求解	799
例 5	三相异步电动机单相运行时的 $M-S$ 曲线	803
例 6	同步发电机电压变化率计算	811
	二、习    题	815