

中等专业学校試用教科书

电 机 学

賴松年 鄔基烈 李煥章 等編



中国工业出版社

中等专业学校試用教科书



电 机 学

賴松年 郎基烈 李煥章 等編

中国工业出版社

本书系中等专业学校“发电厂、电力网及电力系统”专业的试用教科书。全书分为四篇：一、变压器；二、同步电机；三、无换向器式异步电机；四、直流电机。书末附有习题和符号与缩语表。教学时酌加精简，本书也适用于和上述相近的专业。

本书初稿由西安电力学校赖松年、上海电力学校郎基烈、郑州电力学校李焕章编写，后经西安电力学校郭肇欽、陈正岳、李学博、张爱莲、张廷甫等改编，并由郭肇欽校对。

电 机 学

赖松年 郎基烈 李焕章 等编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南街5号）

中国工业出版社出版（北京修门内大街10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $10^{1/2}$ ·字数276,000

1963年7月北京第一版·1965年10月北京第五次印刷

印数12,854—18,893·定价（科四）1.10元

*

统一书号：K15165·2178（水电-298）

目 录

緒論.....	7
---------	---

第一篇 变压器

第一章 变压器的基本知識.....	11
§1-1 变压器的基本原理和类型.....	11
§1-2 定額及額定值.....	12
§1-3 变压器的基本构造.....	13
第二章 单相变压器的空載情况.....	18
§2-1 空載时繞組中的感应电势.....	19
§2-2 空載損失.....	22
§2-3 空載电流.....	23
§2-4 变压器的变比.....	25
§2-5 变压器空載时的向量图.....	26
第三章 单相变压器負載时和短路时的情况.....	27
§3-1 单相变压器負載时的物理情况.....	27
§3-2 变压器負載时的向量图.....	29
§3-3 变压器的折算.....	30
§3-4 变压器的等值电路及負載时的簡化向量图.....	33
§3-5 变压器的短路.....	37
§3-6 变压器的电压变动和电压調整.....	39
第四章 变压器的空載試驗和短路試驗.....	43
§4-1 空載試驗.....	43
§4-2 短路試驗.....	44
§4-3 变压器的效率.....	46
第五章 三相变压器.....	48
§5-1 三相变压器的基本概念.....	48
§5-2 三相变压器的結綫組別.....	50

§11-3	三相繞組的磁勢	115
§11-4	三相繞組中电流不对称时的磁勢	118
§11-5	交流电机的漏磁感抗	119
第十二章	同步电机的电枢反应	119
§12-1	电枢反应的一般概念	119
§12-2	三相同步发电机在对称负载时的电枢反应	121
§12-3	单相电机的电枢反应	124
第十三章	同步发电机的向量图和参数	127
§13-1	负载时的电压变动	127
§13-2	基本电势向量图	128
§13-3	变换过的电势向量图	129
§13-4	简化电势向量图	133
§13-5	电势向量图中各参数的求法	134
§13-6	实用电势向量图	142
第十四章	同步发电机的特性曲线	145
§14-1	外特性曲线和调整特性曲线	145
§14-2	同步发电机的损失和效率	147
第十五章	同步发电机的突然短路	149
§15-1	概述	149
§15-2	超导回路的概念	150
§15-3	三相短路电流	151
§15-4	过渡感抗和次过渡感抗	158
§15-5	三相突然短路电流的大小	161
第十六章	同步发电机的不对称稳定短路	162
§16-1	概述	162
§16-2	正序电抗、负序电抗和零序电抗	163
§16-3	单相短路	166
§16-4	两相短路	167
第十七章	同步发电机的并列运行	171
§17-1	概述	171
§17-2	准确同步法并列的条件和方法	172
§17-3	同步发电机的自同步并列法	176

§17-4	同步电机的电磁功率	178
§17-5	同步发电机与无穷大容量电网并列运行	180
§17-6	同步发电机并列运行时负载的转移	185
§17-7	整步功率	186
§17-8	静态稳定与动态稳定的概念	187
§17-9	同步发电机并列运行时的振荡	188
第十八章	同步电动机	190
§18-1	同步电动机的基本知識	190
§18-2	同步电动机的向量图	190
§18-3	同步电动机的电磁功率	192
§18-4	同步电动机在轉矩不变而改变激磁电流时的 运行、U形曲线	193
§18-5	激磁电流不变而改变轉矩时的工作特性曲线	194
§18-6	同步补偿机	196

第三篇 无换向器式异步电机

第十九章	异步电机的基本知識	198
§19-1	异步电机的定义和类型	198
§19-2	三相异步电机的基本构造	199
§19-3	三相异步电机的工作原理及工作状态	201
第二十章	异步电机的运行情况	203
§20-1	轉子不动时的异步电机	203
§20-2	轉子旋轉时的异步电机	208
§20-3	异步电机的等值电路	210
§20-4	异步电动机的向量图	212
第二十一章	异步电动机的轉动力矩	213
§21-1	异步电动机的能量图	213
§21-2	异步电动机的轉矩公式	214
§21-3	异步电机的机械特性	216
第二十二章	异步电机的工作特性及圖图	221
§22-1	异步电机的工作特性	221
§22-2	异步电机的簡化圖图	222

§22-3 简化圆图的作法及应用	226
第二十三章 异步电机的起动和调速	230
§23-1 异步电动机的起动特性	230
§23-2 异步电动机的起动方法	231
§23-3 双鼠笼电动机和深槽电动机	234
§23-4 异步电动机的速度调节	237
第二十四章 异步电机的特殊工作状态	240
§24-1 异步发电机	240
§24-2 移相器	242
§24-3 三相感应调压器	243
§24-4 单相异步电动机	244

第四篇 直流电机

第二十五章 直流电机的基本知識	249
§25-1 直流电机的工作原理	249
§25-2 直流电机的基本构造	249
§25-3 直流电机的损失和效率	253
第二十六章 直流电机的电枢绕组及其电势	255
§26-1 有关绕组的基本知識	255
§26-2 单迭绕组	257
§26-3 复迭绕组	259
§26-4 单波绕组	260
§26-5 复波绕组	263
§26-6 直流电机的电势	264
第二十七章 直流电机的电枢反应	266
§27-1 电枢磁势	266
§27-2 直流发电机的电枢反应	267
§27-3 直流电动机的电枢反应	270
第二十八章 换向	270
§28-1 换向过程的本质	270
§28-2 $b_{u_1} = b_K$ 时换向回路的电流方程式	272
§28-3 $b_{u_1} = b_K$ 时的电阻换向	274

§28-4	$b_{u1}=b_{u2}$ 时的曲綫換向	274
§28-5	改善換向的主要方法	275
第二十九章	直流发电机	279
§29-1	直流发电机的分类	279
§29-2	直流发电机的能量图及电势方程式	280
§29-3	电磁轉矩及轉矩平衡方程式	281
§29-4	直流发电机的特性	283
§29-5	他激发电机	284
§29-6	并激发电机	286
§29-7	串激发电机	289
§29-8	复激发电机	290
§29-9	并激直流发电机的并列运行	291
第三十章	直流电动机	293
§30-1	直流电机的可逆原理和直流电动机的分类	293
§30-2	直流电动机的能量图和电势方程式	294
§30-3	电动机的轉矩和轉矩平衡方程式	295
§30-4	直流电动机的特性	296
§30-5	并激电动机的特性	298
§30-6	串激电动机的特性	305
§30-7	复激电动机的特性	308
第三十一章	电机的发热与冷却	310
§31-1	概述	310
§31-2	均质固体的发热理論	310
§31-3	电机溫升的測定方法	313
§31-4	絕緣材料的分級	314
§31-5	电机各部分的溫升限度	315
§31-6	电机的主要工作方式	319
§31-7	电机的冷却与通风	320
练习题		325
主要符号与縮語		332

目 录

緒論.....	7
---------	---

第一篇 变压器

第一章 变压器的基本知識.....	11
§1-1 变压器的基本原理和类型.....	11
§1-2 定額及額定值.....	12
§1-3 变压器的基本构造.....	13
第二章 单相变压器的空載情况.....	18
§2-1 空載时繞組中的感应电势.....	19
§2-2 空載損失.....	22
§2-3 空載电流.....	23
§2-4 变压器的变比.....	25
§2-5 变压器空載时的向量图.....	26
第三章 单相变压器負載时和短路时的情况.....	27
§3-1 单相变压器負載时的物理情况.....	27
§3-2 变压器負載时的向量图.....	29
§3-3 变压器的折算.....	30
§3-4 变压器的等值电路及負載时的簡化向量图.....	33
§3-5 变压器的短路.....	37
§3-6 变压器的电压变动和电压調整.....	39
第四章 变压器的空載試驗和短路試驗.....	43
§4-1 空載試驗.....	43
§4-2 短路試驗.....	44
§4-3 变压器的效率.....	46
第五章 三相变压器.....	48
§5-1 三相变压器的基本概念.....	48
§5-2 三相变压器的結綫組別.....	50

§5-3	三相变压器中的高次谐波与绕组联结方式的关系	54
§5-4	三相变压器在负载不平衡时的运行	57
§5-5	变压器的V/V接线	62
第六章	变压器的并列运行	63
§6-1	变压器并列运行的意义及条件	63
§6-2	短路电压不等时变压器的并列运行	64
§6-3	变比不等时变压器的并列运行	67
§6-4	接线组别不同时变压器的并列运行	69
第七章	变压器的过渡过电流	70
§7-1	概述	70
§7-2	突然短路过电流	70
§7-3	变压器的空载合闸电流	70
第八章	特种变压器	75
§8-1	自耦变压器	75
§8-2	三绕组变压器	77
§8-3	电焊变压器	81

第二篇 同步电机

第九章	同步电机的基本知识	82
§9-1	同步电机的定义及类型	82
§9-2	汽轮发电机和水轮发电机的基本构造	83
第十章	同步电机的电枢绕组及电势	90
§10-1	导体中的电势	90
§10-2	高次谐波的概念	93
§10-3	线圈中的电势	95
§10-4	单相绕组及其电势	99
§10-5	三相单层全节距绕组	105
§10-6	三相单层全节距绕组的实际线路图	106
§10-7	三相双层短节距绕组的安排	107
第十一章	同步电机电枢绕组的磁势	110
§11-1	电枢磁势及电枢磁场	110
§11-2	单相绕组的磁势	111

§11-3	三相繞組的磁勢	115
§11-4	三相繞組中电流不对称时的磁勢	118
§11-5	交流电机的漏磁感抗	119
第十二章	同步电机的电枢反应	119
§12-1	电枢反应的一般概念	119
§12-2	三相同步发电机在对称負載时的电枢反应	121
§12-3	单相电机的电枢反应	124
第十三章	同步发电机的向量图和参数	127
§13-1	負載时的电压变动	127
§13-2	基本电势向量图	128
§13-3	变换过的电势向量图	129
§13-4	简化电势向量图	133
§13-5	电势向量图中各参数的求法	134
§13-6	实用电势向量图	142
第十四章	同步发电机的特性曲线	145
§14-1	外特性曲线和調整特性曲线	145
§14-2	同步发电机的损失和效率	147
第十五章	同步发电机的突然短路	149
§15-1	概述	149
§15-2	超导回路的概念	150
§15-3	三相短路电流	151
§15-4	过渡感抗和次过渡感抗	158
§15-5	三相突然短路电流的大小	161
第十六章	同步发电机的不对称稳定短路	162
§16-1	概述	162
§16-2	正序电抗、負序电抗和零序电抗	163
§16-3	单相短路	166
§16-4	两相短路	167
第十七章	同步发电机的并列运行	171
§17-1	概述	171
§17-2	准确同步法并列的条件和方法	172
§17-3	同步发电机的自同步并列法	176

§17-4	同步电机的电磁功率	178
§17-5	同步发电机与无穷大容量电网并列运行	180
§17-6	同步发电机并列运行时负载的轉移	185
§17-7	整步功率	186
§17-8	静态稳定与动态稳定的概念	187
§17-9	同步发电机并列运行时的振荡	188
第十八章	同步电动机	190
§18-1	同步电动机的基本知識	190
§18-2	同步电动机的向量图	190
§18-3	同步电动机的电磁功率	192
§18-4	同步电动机在轉矩不变而改变激磁电流时的 运行、U形曲綫	193
§18-5	激磁电流不变而改变轉矩时的工作特性曲綫	194
§18-6	同步补偿机	196

第三篇 无換向器式异步电机

第十九章	异步电机的基本知識	198
§19-1	异步电机的定义和类型	198
§19-2	三相异步电机的基本构造	199
§19-3	三相异步电机的工作原理及工作状态	201
第二十章	异步电机的运行情况	203
§20-1	轉子不动时的异步电机	203
§20-2	轉子旋轉时的异步电机	208
§20-3	异步电机的等值电路	210
§20-4	异步电动机的向量图	212
第二十一章	异步电动机的轉动力矩	213
§21-1	异步电动机的能量图	213
§21-2	异步电动机的轉矩公式	214
§21-3	异步电机的机械特性	216
第二十二章	异步电机的工作特性及圖图	221
§22-1	异步电机的工作特性	221
§22-2	异步电机的簡化圖图	222

§22-3 简化圆图的作法及应用	226
第二十三章 异步电机的起动和调速	230
§23-1 异步电动机的起动特性	230
§23-2 异步电动机的起动方法	231
§23-3 双鼠笼电动机和深槽电动机	234
§23-4 异步电动机的速度调节	237
第二十四章 异步电机的特殊工作状态	240
§24-1 异步发电机	240
§24-2 移相器	242
§24-3 三相感应调压器	243
§24-4 单相异步电动机	244

第四篇 直流电机

第二十五章 直流电机的基本知識	249
§25-1 直流电机的工作原理	249
§25-2 直流电机的基本构造	249
§25-3 直流电机的损失和效率	253
第二十六章 直流电机的电枢绕组及其电势	255
§26-1 有关绕组的基本知識	255
§26-2 单迭绕组	257
§26-3 复迭绕组	259
§26-4 单波绕组	260
§26-5 复波绕组	263
§26-6 直流电机的电势	264
第二十七章 直流电机的电枢反应	266
§27-1 电枢磁势	266
§27-2 直流发电机的电枢反应	267
§27-3 直流电动机的电枢反应	270
第二十八章 换向	270
§28-1 换向过程的本质	270
§28-2 $b_{u1}=b_k$ 时换向回路的电流方程式	272
§28-3 $b_{u1}=b_k$ 时的电阻换向	274

§28-4	$b_{u\kappa} = b_{\kappa}$ 时的曲綫換向	274
§28-5	改善換向的主要方法	275
第二十九章 直流发电机		279
§29-1	直流发电机的分类	279
§29-2	直流发电机的能量图及电势方程式	280
§29-3	电磁轉矩及轉矩平衡方程式	281
§29-4	直流发电机的特性	283
§29-5	他激发电机	284
§29-6	并激发电机	286
§29-7	串激发电机	289
§29-8	复激发电机	290
§29-9	并激直流发电机的并列运行	291
第三十章 直流电动机		293
§30-1	直流电机的可逆原理和直流电动机的分类	293
§30-2	直流电动机的能量图和电势方程式	294
§30-3	电动机的轉矩和轉矩平衡方程式	295
§30-4	直流电动机的特性	296
§30-5	并激电动机的特性	298
§30-6	串激电动机的特性	305
§30-7	复激电动机的特性	308
第三十一章 电机的发热与冷却		310
§31-1	概述	310
§31-2	均质固体的发热理論	310
§31-3	电机溫升的測定方法	313
§31-4	絕緣材料的分級	314
§31-5	电机各部分的溫升限度	315
§31-6	电机的主要工作方式	319
§31-7	电机的冷却与通风	320
练习题		325
主要符号与縮語		332

緒 論

一、电机的定义和分类

电机是把一种能量形态轉換为另一种适合要求和便于利用的能量形态的机构；且輸出或輸入的能量，至少有一方为电能，或者两方都为电能，但具有不同的电压、波形、頻率或相角。可是，通常所指的电机，并不包括与电能有关的一切机械，而仅指以电磁感应为基本原理的那一部分。严格地说，它們应叫做电磁机。这一部分电机，目前在产生、控制和利用电能方面占有重要地位。

电机的分类方法很多，但为了在理論上叙述方便，通常分为：

1. 变压器；
2. 同步电机；
3. 异步电机；
4. 直流电机。

二、电机在电力系统中的地位和工业上的应用

因为电能便于远距离輸送，而且效率很高，可以改变工业为靠近动力资源而不能合理分布的情况；电能的广泛应用又改进了生产技术，使生产效率显著提高，所以近二、三十年来，世界各国的发电量成几倍、几十倍地增加，巨大的电力系统也迅速形成。

在电力系统中，电机是主要元件。要将机械能变为电能須用发电机；为远距离輸送电能并进行分配，需要能升压和降压的变压器；而应用电能的受电器則主要是电动机。

电机除了是发电厂和变电所的主要設備外，在工业企业、农业、国防和交通运输业中的应用也十分广泛。如在机器制造业中，工作母机需要电动机拖动。在冶金工业中，高炉和平炉都要用

电动机操作和控制。拖动大型轧钢机常需 5,000 千瓦或更大的直流电动机。在化学工业中，拖动大型压缩设备的同步电动机和感应电动机单机容量也高达数千千瓦。用于电解的直流发电机可以供给数万安的巨大电流。在交通运输方面，城市电车、铁路电气机车等又需要满足各种特殊要求的牵引电动机。此外，现代工业的自动化装备中，则需要各种容量极小的微电机。

三、电机的作用原理

电机的作用原理是以**电磁力**和**电磁感应**的物理现象为基础的。这些现象已在物理学和电工理论中详加说明，并已写成了相应的定律。

作用于在磁场中移动的电荷上的力，叫做电磁力。在磁感应为 B 的均匀磁场中，垂直于磁力线放置一根长为 l 、通以电流 I 的导体，则导体受到的电磁力

$$F = B l I.$$

电磁感应定律有两种表达方式——法拉第公式和**馬克斯威尔**公式。

长为 l 的导体，垂直于磁感应为 B 的均匀磁场，以速度 v 运动时，在导体中感应而生的电势

$$e = B l v,$$

这是法拉第公式。

闭合回路中，在 dt 时间内穿过它的磁通发生 $d\Phi$ 的变化，则在此回路中的感应电势

$$e = - \frac{d\Phi}{dt},$$

这是**馬克斯威尔**公式。

四、电机制造发展的几个主要阶段和近代的电机制造业

1831年，即距今一百三十多年以前，法拉第发现电磁感应定