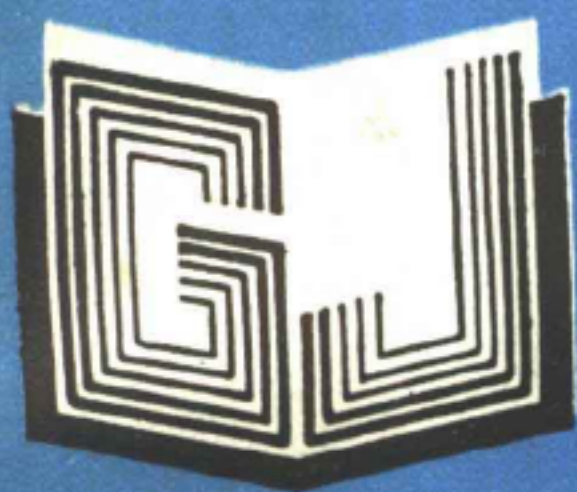


977659

2741



高等学校教材

专科适用

电 机 学

上海电力学院 邬基烈 编



(京)新登字 115号

高等学校教材

(专科适用)

电机学

上海电力学院 邬基烈 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 30.5印张 687千字

1994年10月第一版 1994年10月北京第一次印刷

印数 0001—3960册

ISBN 7-120-02012-9/TM·544

定价 17.10元

高等学校教材

//////////////////// 专 科 适 用 //////////////////////

电 机 学

上海电力学院 邬基烈 编

水利电力出版社

前 言

1988年11月能源部高等专科电力工程类专业教学组在苏州会议上通过了电力系统自动化专业和发电厂及电力系统专业的“电机学教学大纲”。以后在这一基础上又于1989年5月在郑州会议上通过了“电机学编写大纲”。本书系按上述大纲的要求编写的，是能源部组织编写的第一轮电机学大专教材。

根据电力类各专业的特点，本书讲述的顺序是变压器、同步电机、异步电机、直流电机，其中以变压器为基础、同步电机为重点。

本书采用的体系和主要内容及大部分习题曾在上海电力学院有关专科中试用过多年，一般来说，在教学计划中本书与先修课程和后续的专业课程是能够密切配合的。考虑到大专教材的特点在于针对性和应用性，为此本书在阐明电机基本理论的同时，还以一定的篇幅阐述如何应用这些基本原理来分析电力生产中所需解决的具体问题，以期对分析工程应用问题的能力有所提高。

本书经长沙水利电力师范学院李昌浩副教授主审，提出了不少宝贵意见。另外，江苏电力职工大学汪经武副教授对本书的编写也提出过许多有价值的建议。在此，谨对以上诸位老师表示感谢。

由于水平有限，加之时间仓促，书中可能会有不少缺点，请使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

1993年9月

CA97/09

主要符号说明

绪论、第一篇 变压器

u_1, u_2 ——初、次级电压的瞬时值
 U_1, U_2 ——初、次级电压的有效值
 U_{1N}, U_{2N} ——初、次级的额定电压
 U_{20} ——空载时次级的电压
 ΔU ——额定情况下的电压变化率
 ΔU_β ——任意负载情况下的电压变化率
 U_K ——短路电压
 u_K ——短路电压的百分值
 u_{Kr}, u_{Kx} ——短路电压百分值的有功分量、无功分量
 $\dot{U}_{A+}, \dot{U}_{B+}, \dot{U}_{C+}$ —— A, B, C 三相的正序电压
 $\dot{U}_{A-}, \dot{U}_{B-}, \dot{U}_{C-}$ —— A, B, C 三相的负序电压
 $\dot{U}_{A0}, \dot{U}_{B0}, \dot{U}_{C0}$ —— A, B, C 三相的零序电压
 e_1, e_2 ——初、次级绕组电势的瞬时值
 E_1, E_2 ——初、次级绕组电势的有效值
 $e_{1\sigma}, e_{2\sigma}$ ——初、次级绕组漏磁电势的瞬时值
 $E_{1\sigma}, E_{2\sigma}$ ——初、次级绕组漏磁电势的有效值
 $\dot{E}_{A0}, \dot{E}_{B0}, \dot{E}_{C0}$ —— A, B, C 三相绕组的零序电势
 w_1, w_2 ——初、次级绕组的匝数
 k ——双绕组变压器的变比
 k_a ——自耦变压器的变比
 i_1, i_2 ——初、次级电流的瞬时值
 I_1, I_2 ——初、次级电流的有效值
 I_{1N}, I_{2N} ——初、次级的额定电流
 i_0, I_0 ——空载电流的瞬时值、有效值
 I_{Fe} ——铁损耗电流的有效值
 I_μ ——励磁电流的有效值
 i_K, I_K ——短路电流的瞬时值、稳态有效值
 I_{C1}, I_{C2} ——并联运行时，初、次级绕组的环流
 $\dot{I}_{A+}, \dot{I}_{B+}, \dot{I}_{C+}$ —— A, B, C 三相的正序电流
 $\dot{I}_{A-}, \dot{I}_{B-}, \dot{I}_{C-}$ —— A, B, C 三相的负序电流
 $\dot{I}_{A0}, \dot{I}_{B0}, \dot{I}_{C0}$ —— A, B, C 三相的零序电流
 F ——磁势，作用力

F_0 ——空载时的磁势
 F_1, F_2 ——初、次级绕组的磁势
 F_m ——初、次级绕组的合成磁势
 ϕ, Φ_m ——主磁通的瞬时值、幅值
 Φ_0 ——零序磁通
 $\phi_{1\sigma}, \phi_{2\sigma}$ ——初、次级绕组漏磁通的瞬时值
 $\Phi_{1\sigma m}$ ——初级绕组漏磁通的幅值
 R_m ——磁阻
 μ ——磁导率
 H ——磁场强度
 B ——磁通密度，磁感应强度
 L ——电感
 $L_{1\sigma}$ ——初级绕组的漏电感
 r_1, r_2 ——初、次级绕组的电阻
 $x_{1\sigma}, x_{2\sigma}$ ——初、次级绕组的漏磁电抗
 Z_1, Z_2 ——初、次级绕组的漏阻抗（复量）
 z_1, z_2 ——初、次级绕组的漏阻抗（复量中的模，即绝对值）
 r_m ——励磁电阻（反映铁芯损耗的等效电阻）
 x_m ——励磁电抗（和主磁通 ϕ 相对应的电抗）
 Z_m ——励磁阻抗（复量）
 z_m ——励磁阻抗（复量中的模）
 r_K, x_K, Z_K ——短路电阻、短路电抗、短路阻抗
 Z_L ——负载阻抗
 x_{m0}, Z_{m0} ——零序励磁电抗、零序励磁阻抗
 Z_0 ——零序阻抗，空载阻抗
 Z_{Ka} ——自耦变压器的短路阻抗
 Z_{Ks} ——穿越阻抗
 Z_B ——半穿越阻抗
 Z_F ——分裂阻抗
 k_F ——分裂系数
 S_N ——变压器的额定容量
 S_{aN} ——自耦变压器的额定容量
 P_1 ——初级输入有功功率

P_2 ——次级输出有功功率
 p_{Fe} ——铁芯损耗
 p_{Cu} ——变压器绕组的铜损耗
 p_K ——短路损耗
 p_{KN} ——额定电流时的短路损耗
 β ——负载系数
 β_m ——最大效率时的负载系数
 η ——效率
 η_N ——额定负载时的效率

η_{max} ——最大效率
 θ ——温度
 m ——相数
 t ——时间
 φ_2 ——次级负载的功率因数角
 f ——频率
 ω ——电角频率
 $*$ ——右上角加星标为标么值
 $'$ ——右上角加撇为折算值

第二篇 交流电机的绕组、电势及磁势

p ——极对数
 n ——转速
 n_1 ——同步转速, 定子旋转磁场的转速
 y_1 ——交流绕组的节距
 Z_1 ——定子槽数
 q ——每极每相槽数
 α ——槽距电角, 空间位移电角
 τ ——极距
 e ——电势的瞬时值
 ν ——高次谐波的次数
 B_δ ——气隙磁通密度
 B_{1m}, B_{vm} ——气隙磁通密度的基波幅值、 ν 次谐波幅值
 Φ_1, Φ_ν ——基波、 ν 次谐波磁通密度的每极磁通量
 $E_{c1}, E_{c\nu}$ ——导体中基波、 ν 次谐波电势的有效值
 $E_{T1}, E_{T\nu}$ ——线匝中基波、 ν 次谐波电势的有效值
 $E_{y1}, E_{y\nu}$ ——线圈中基波、 ν 次谐波电势的有效值

$E_{q1}, E_{q\nu}$ ——线圈组电势基波、 ν 次谐波的有效值
 $E_{\phi 1}, E_{\phi \nu}$ ——一相绕组电势基波、 ν 次谐波的有效值
 E_1, E_ν ——线电势基波、 ν 次谐波的有效值
 w_c ——每一线圈的匝数
 w ——一相绕组的串联总匝数
 i_c, I_c ——线圈中电流的瞬时值、有效值
 I ——相绕组中的电流
 $k_{y1}, k_{y\nu}$ ——基波、 ν 次谐波短距系数
 $k_{q1}, k_{q\nu}$ ——基波、 ν 次谐波分布系数
 $k_{w1}, k_{w\nu}$ ——基波、 ν 次谐波绕组系数
 a ——交流绕组每相的并联支路数
 $F_{q1}, F_{q\nu}$ ——线圈组磁势基波、 ν 次谐波的最大波幅
 $F_{\phi 1}, F_{\phi \nu}$ ——一相绕组磁势基波、 ν 次谐波的最大波幅
 F_1, F_ν ——三相绕组合成磁势基波、 ν 次谐波的波幅
 F_+, F_- ——正向、反向旋转磁势

第三篇 同步电机

δ ——气隙长度
 w_f ——励磁绕组的每极匝数
 γ ——转子磁极的分度比
 k_f ——励磁磁势分布波的波形系数
 k_μ ——电机的饱和系数
 k_u ——电压波形正弦性的畸变率
 F_f ——励磁磁势波的波幅

F_{f1} ——励磁磁势波中的基波波幅
 F_a ——电枢磁势
 F_δ ——气隙磁势
 F'_a ——折算到磁极边的电枢磁势
 F'_δ ——折算到磁极边的气隙磁势
 k_a ——折算系数
 F_{ad}, F_{aq} ——直轴、交轴电枢反应磁势

F'_{ad} 、 F'_{aq} ——折算到磁极边的直轴、交轴电枢反应磁势

k_{ad} 、 k_{aq} ——直轴、交轴电枢磁势的折算系数

Φ_0 ——空载时的主磁通，磁极磁通

Φ_a ——电枢反应磁通

Φ_δ ——气隙磁通

Φ_{ad} 、 Φ_{aq} ——直轴、交轴电枢反应磁通

Φ_σ ——定子漏磁通

$\Phi_{Dd\sigma}$ ——直轴阻尼绕组的漏磁通

$\Phi_{f\sigma}$ ——转子励磁绕组的漏磁通

B_{ad1} 、 B_{aq1} ——直轴、交轴电枢反应磁场的基波磁通密度

B_{f1} ——励磁磁场的基波磁通密度

E_0 ——空载电势，励磁电势

E_a ——电枢反应电势

E_{ad} 、 E_{aq} ——直轴、交轴电枢反应电势

E_σ ——漏磁电势

I ——电枢电流

I_d 、 I_q ——电枢电流的直轴分量(或称直轴电流)、交轴分量(或称交轴电流)

I_f ——转子的励磁电流

I_{f0} ——使定子产生空载额定电压所需要的励磁电流(励磁电流的基值)

I_{fK} ——使定子短路电流等于额定电流时所需要的励磁电流

x_a ——电枢反应电抗

x_σ ——定子漏磁电抗

x_F ——保梯电抗

x_l ——同步电抗

x_{ad} 、 x_{aq} ——直轴、交轴电枢反应电抗

x_d 、 x_q ——直轴、交轴同步电抗

x''_d 、 x''_q ——直轴、交轴超瞬变电抗

x'_d 、 x'_q ——直轴、交轴瞬变电抗

$x_{Dd\sigma}$ 、 $x_{Dq\sigma}$ ——折算到定子边直轴、交轴阻尼绕组的漏抗

$x_{f\sigma}$ ——折算到定子边转子励磁绕组的漏抗

X_+ 、 X_- 、 X_0 ——正序、负序、零序电抗

r_a ——电枢绕组的电阻

r_f ——磁场绕组的电阻

r_{Dd} ——直轴阻尼绕组的电阻

r_+ 、 r_- 、 r_0 ——正序、负序、零序电阻

Z_+ 、 Z_- 、 Z_0 ——正序、负序、零序阻抗

$i_{A\sim}$ 、 $i_{B\sim}$ 、 $i_{C\sim}$ ——A、B、C三相突然短路电流的周期性分量(或称交流分量)

i_{A-} 、 i_{B-} 、 i_{C-} ——A、B、C三相突然短路电流的非周期性分量(或称直流分量)

i_{Dd-} 、 $i_{Dd\sim}$ ——突然短路时，阻尼绕组中感应的非周期性、周期性电流

di_{f-} 、 $di_{f\sim}$ ——突然短路时，励磁绕组中感应的非周期性、周期性电流

I''_m 、 I'_m 、 I_m ——超瞬变、瞬变、稳态短路电流的幅值

I_{K1} 、 I_{K2} ——单相、两相稳态短路电流的有效值

ψ ——相位角，磁链

P_N ——额定功率(有功)

P_{em} ——电磁功率

P_{emmax} ——最大电磁功率

k_M ——过载能力

P_{syn} ——整步功率

p_{Fe} ——定子铁芯的基本铁损耗

p_{Cu} ——定子绕组的基本铜损耗

p_{ad} ——杂散损耗

p_f ——励磁损耗

p_{mec} ——机械损耗

M_{em} ——电磁力矩

M_{emmax} ——最大电磁力矩

M_N ——额定力矩

Ω_1 ——同步机械角速度

θ ——功角(或称功率角)

S.C.R.——同步电机的短路比

K ——强励倍数

v ——励磁电压上升的速度

z_2 ——转子槽数

第四篇 异步电机

n ——转子转速

n_2 ——转子基波磁势相对于转子的转速

s ——转差率

w_1 、 w_2 ——定、转子绕组的匝数

k_{w1} 、 k_{w2} ——定、转子绕组的绕组系数
 m_1 、 m_2 ——定、转子绕组的相数
 F_1 、 F_2 ——定、转子绕组的旋转磁势（基波幅值）
 F_m ——定、转子绕组的合成磁势
 I_1 、 I_2 ——定、转子绕组的相电流
 I_m ——异步电机的励磁电流
 I_0 ——异步电机的空载电流
 k_I ——电流变比
 f_1 、 f_2 ——定、转子电势的频率
 E_1 、 E_2 ——定、转子绕组的相电势（转子不动时）
 E_{2r} ——转子旋转后的相电势
 E_{10} 、 E_{20} ——定、转子绕组的漏磁电势（转子不动时）
 Φ_{10} 、 Φ_{20} ——定、转子绕组的漏磁通
 L_{10} 、 L_{20} ——定、转子绕组的漏电感
 x_{10} 、 x_{20} ——定、转子绕组的漏抗（转子不动时）
 r_1 、 r_2 ——定、转子绕组的电阻
 Z_1 、 Z_2 ——定、转子绕组的漏阻抗（转子不动时）
 k_e ——电势变比
 r_m ——励磁电阻（反映定子铁损耗的等效电阻）
 x_m ——励磁电抗（和气隙磁通相对应）

Z_m ——励磁阻抗
 σ —— Γ 形等效电路的校正系数
 P_{mec} ——总机械功率
 M_2 ——负载力矩
 M_0 ——空载制动力矩
 M_L ——机组负载的总制动力矩
 M_{max} ——最大电磁力矩
 s_m ——临界转差率
 C_M ——力矩常数
 M_{st} ——起动转矩
 k_{st} ——起动转矩倍数
 I_{st} ——起动电流
 r_{st} ——起动电阻
 r_f ——调节电阻
 M_{pi} ——同步电动机异步起动时的牵入力矩
 M_{sin} ——同步电动机异步起动时的单轴力矩
 M_v —— v 次谐波力矩
 M_{em+} 、 M_{em-} ——正、反向电磁力矩
 s_+ 、 s_- ——正、反转磁场的转差率
 J ——转动惯量
 Ω ——转动的机械角速度

第五篇 直流电机

K ——换向片数
 S ——元件数
 Z ——实槽数
 Z' ——虚槽数
 y_1 、 y_2 、 y ——直流绕组的第一、第二、合成节距
 y_K ——换向器节距
 a ——直流电枢绕组的并联支路对数
 N ——电枢上的总导体数
 C_e ——电势常数
 B_{av} ——磁极磁场的平均磁通密度
 Φ ——磁极磁场的每极磁通量
 i_a ——并联支路中的电流
 I_a ——电枢电流
 A ——线负荷，面积
 R_a ——电枢电阻

R_f ——直流电机并励磁场绕组的电阻
 r_f ——直流电机串励磁场绕组的电阻
 R_j ——直流电机电枢回路的调节电阻
 r_j ——直流电机磁场回路的调节电阻
 R_L ——直流负载电阻
 R_{st} ——直流电机的起动电阻
 R_{cr} ——临界电阻
 α_{cr} ——临界角
 I_{cr} ——临界电流
 e_L 、 e_M ——换向元件的自感、互感电势
 e_r ——换向元件的电抗电势
 e_k ——换向元件的旋转电势
 B_k ——换向元件所在处的磁通密度
 i_k ——附加换向电流
 T_k ——换向周期
 j ——电流密度

内 容 提 要

全书共分二十七章，内容包括：变压器；交流电机的绕组、电势及磁势；同步电机；异步电机；直流电机等五大主要部分。本书主要阐述电机的基本结构、运行原理及性能。每章附有小结及习题。

本书是按电力类高等专科教学大纲的要求编写的，在分析问题上以物理概念为主，避免过多、过深的数学推演。书中内容尽可能结合电力生产的特点。另外，对电力系统当前和今后所拟安装的国产大型机组的一些特点也作了一定的介绍。

本书系高等专科学校继电保护与自动远动技术专业、发电配电、电自专业教材，也可做电力系统继电保护专业、用电管理及监察专业的教材。对于本科院校和中等专业学校的师生以及有关工程技术人员也有参考价值。

目 录

前言

主要符号说明

绪论	1
第一节 电机的定义及研究对象	1
第二节 电机在电力系统中的作用	2
第三节 电机中所用的主要材料及其特性	3
第四节 研究电机时常用的基本电磁定律	5
第五节 电机学的研究方法	7

第一篇 变 压 器

第一章 变压器的基本知识及结构	9
第一节 变压器的基本工作原理和分类	9
第二节 变压器的主要结构部件	11
第三节 变压器的发热与冷却	18
第四节 变压器的额定值	20
小结	22
习题	22
第二章 变压器的基本原理及运行分析	23
第一节 变压器的空载运行	23
第二节 变压器的负载运行	33
第三节 变压器的折算	36
第四节 变压器负载时的等效电路	38
第五节 变压器的参数测定	41
第六节 标么值	46
第七节 变压器的运行性能	49
小结	55
习题	56
第三章 三相变压器	61
第一节 三相变压器的磁路系统	61
第二节 绕组的端点标志及极性	63
第三节 三相变压器绕组的接线方式与连接组	66
第四节 三相变压器空载运行时电流、磁通、电势的波形问题	71
第五节 三相变压器的不对称运行	74
第六节 V形连接的三相变压器	86
小结	86

习题.....	87
第四章 变压器的并联运行	90
第一节 并联运行的理想条件.....	90
第二节 变比不等时的并联运行.....	91
第三节 短路阻抗标么值不等时的并联运行.....	93
小结.....	96
习题.....	96
第五章 变压器的瞬变过程	98
第一节 变压器空载合闸时的瞬变过程.....	98
第二节 变压器次级突然短路时的瞬变过程.....	100
小结.....	104
习题.....	104
第六章 特种变压器	105
第一节 自耦变压器.....	105
第二节 三绕组变压器.....	109
第三节 分裂绕组变压器.....	113
第四节 仪用变压器.....	116
小结.....	118
习题.....	118

第二篇 交流电机的绕组、电势及磁势

第七章 交流电机的绕组及电势	120
第一节 交流电机的基本工作原理.....	120
第二节 交流绕组的基本知识.....	122
第三节 导体的电势.....	122
第四节 线圈的电势.....	124
第五节 线圈组的电势.....	127
第六节 三相单层绕组及其电势.....	130
第七节 三相双层绕组及其电势.....	134
第八节 齿谐波电势及其削弱方法.....	138
小结.....	141
习题.....	142
第八章 交流电机绕组的磁势	144
第一节 单只线圈的磁势.....	144
第二节 单相绕组的磁势.....	148
第三节 三相绕组的基波磁势.....	151
第四节 三相绕组合成磁势的高次谐波.....	157
第五节 椭圆形旋转磁势.....	160
第六节 定子漏磁通.....	162
小结.....	163
习题.....	164

第三篇 同步电机

第九章 同步电机的类型及结构	166
第一节 同步电机的基本类型	166
第二节 汽轮发电机的基本结构	168
第三节 水轮发电机的基本结构	177
第四节 同步电机的额定值	180
小结	182
习题	182
第十章 同步电机的对称运行	183
第一节 同步电机的空载运行	183
第二节 对称负载时的电枢反应	188
第三节 隐极同步电机的相量图	193
第四节 凸极同步电机的相量图	197
第五节 电压变化率及其求法	203
第六节 短路特性及短路比	205
第七节 零功率因数负载特性及定子漏抗的测定	208
第八节 同步电机的运行特性	211
第九节 稳态参数的测定	213
第十节 同步电机的损耗与效率	215
小结	216
习题	217
第十一章 同步发电机的并联运行	221
第一节 同步发电机并联运行的条件和方法	221
第二节 同步发电机的电磁功率	227
第三节 同步发电机有功功率的调节方法	230
第四节 同步发电机无功功率的调节方法	232
第五节 凸极同步发电机与电网并联运行的特点	237
第六节 同步发电机振荡的概念	240
小结	241
习题	241
第十二章 同步电动机及同步调相机	244
第一节 同步电机运行的可逆性	244
第二节 同步电动机	245
第三节 同步调相机	249
小结	250
习题	250
第十三章 同步发电机的突然短路	252
第一节 超导体闭合回路的磁链守恒原理	252
第二节 突然短路时定子绕组电抗的变化	254

第三节	瞬变电抗及超瞬变电抗的测定方法	258
第四节	三相突然短路电流	259
第五节	时间常数	266
第六节	突然短路时对电机及电力系统的影响	269
小结		270
习题		271
第十四章	同步发电机的不对称运行	273
第一节	发电机不对称运行的分析	273
第二节	三相同步发电机的不对称稳定短路	276
第三节	负序和零序阻抗的测定	280
第四节	不对称突然短路的概念	281
第五节	不对称运行所产生的影响	282
小结		285
习题		285
第十五章	同步电机的励磁方式	287
第一节	对励磁系统的要求	287
第二节	各种励磁方式简介	288
第三节	励磁系统中的交流副励磁机	292
小结		297
习题		297

第四篇 异步电机

第十六章	异步电机的基本结构及运行状态	298
第一节	异步电机的基本结构	298
第二节	异步电机的作用原理及三种运行状态	301
第三节	异步电机的额定值	303
小结		304
习题		304
第十七章	异步电机的基本原理	306
第一节	异步电机在转子不动时的电磁关系	306
第二节	异步电机在转子旋转时的电磁关系	313
第三节	异步电机的等效电路及相量图	316
小结		324
习题		324
第十八章	异步电机的功率及力矩	326
第一节	异步电机的功率及力矩平衡	326
第二节	异步电机的电磁力矩	328
小结		337
习题		338
第十九章	三相异步电动机的起动及调速	339

第一节	异步电动机的起动性能与机械负载对起动的要求	339
第二节	绕线式异步电动机的起动	341
第三节	鼠笼式异步电动机的起动	342
第四节	深槽式及双鼠笼式异步电动机	347
第五节	异步电动机的谐波力矩及其对电动机起动的影响	348
第六节	同步电动机的异步起动	352
第七节	异步电动机的调速	355
小结		363
习题		363
第二十章	单相异步电动机	365
第一节	三相异步电动机的缺相运行	365
第二节	单相异步电动机	370
第三节	单相异步电动机的起动方法	371
小结		373
习题		374
第二十一章	异步发电机及特种异步电机	375
第一节	异步发电机	375
第二节	感应调压器	379
第三节	移相器	382
第四节	电磁调速异步电动机	383
小结		385
习题		385

第五篇 直 流 电 机

第二十二章	直流电机的工作原理及基本结构	386
第一节	直流电机的工作原理	386
第二节	直流电机的主要结构部件	388
第三节	直流电机的额定值	391
小结		392
习题		392
第二十三章	直流电机的电枢绕组、感应电势及电磁力矩	394
第一节	直流电枢绕组的一般知识	394
第二节	单叠绕组	396
第三节	单波绕组	399
第四节	电枢绕组的感应电势	401
第五节	电枢绕组的电磁力矩	403
小结		404
习题		404
第二十四章	直流电机的电枢反应	406
第一节	直流电机负载时的气隙磁场	406

第二节	直流发电机的电枢反应	409
第三节	直流电动机的电枢反应	410
小结		411
习题		412
第二十五章	直流发电机	413
第一节	直流发电机的励磁方式	413
第二节	直流发电机的功率、力矩和电势平衡关系	414
第三节	他励发电机的运行特性	417
第四节	并励发电机的自励条件及运行特性	419
第五节	复励发电机的运行特性	423
第六节	直流发电机的应用	424
小结		425
习题		426
第二十六章	直流电动机	428
第一节	直流电机的可逆原理	428
第二节	直流电动机的功率、力矩和电势平衡关系	430
第三节	直流电动机的起动	431
第四节	直流电动机的机械特性	433
第五节	直流电动机的调速	436
小结		438
习题		439
第二十七章	直流电机的换向	440
第一节	直流电机的换向过程	440
第二节	火花的等级及产生火花的原因	446
第三节	改善换向的方法	448
第四节	环火的产生及防止措施	450
小结		452
习题		452
附录 I	直流法测定变压器的连接组	454
附录 II	分数槽绕组	455
附录 III	有关测定同步电机瞬变、超瞬变电抗的其他一些方法	461
附录 IV	同步发电机失磁时的异步运行	465

绪 论

第一节 电机的定义及研究对象

人类社会的生存和发展离不开利用能量。常见的能量形式有很多种,例如:热能、光能、化学能、机械能、电能、原子能等。其中电能和其他形式能量相比具有明显的优点。因为它适宜于大量生产、集中管理、远距离传输和自动控制,另外还易于转换为其他形式的能量。因此要实现四个现代化离开了电能是不可想象的,所以电力工业被誉为实现四化的先行。

能量在转换过程中有时必须借助于一定的器械。众所周知,器械本身并不能产生能量,在自然界里能量是守恒的,它既不会凭空产生,也不会自然消失。人类利用器械只能做到将一种形式的能量转换为其他形式的能量,使之满足人类的要求。

由于器械只是一种能量转换的工具,因此必须一方面有能量输入,另一方面经过转换后有能量输出。所谓“电机”是指和电能有关的转换器械,即在输入或输出能量中其中之一方属于电能;或者两方均为电能,但有不同的电压、或不同的波形、或不同的频率等。鉴于和电能有关的器械在原理上是各种各样的,例如,就电能产生的原理来说,利用电磁感应、光电效应、化学作用、热效应等都可以产生电能。但是能够大量生产电能的装置,却是以电磁感应为原理的那些器械,它们在现代电力生产中具有决定性的作用。所以通常所称的电机并不泛指有关电能的一切器械,而是仅指以电磁感应原理进行能量转换的那些电机。严格来说,电机应称为电磁机。

从能量转换方式来看,发电机和电动机是不相同的,前者属于机械能转换为电能,后者则反之。然而在研究电机时,这不应成为电机的分类方法。因为电机具有可逆性原理,所以发电机和电动机在运行上是可逆的,两者具有相同的原理,只是运行方式不同而已。因此从工作原理上来区分,电机可分为交流电机和直流电机两大类。而交流电机又可分为变压器、异步电机、同步电机等几大部分。通常静止的称“器”,旋转的称“机”。本课程将按以下次序讨论:①变压器;②交流电机的绕组、电势及磁势;③同步电机;④异步电机;⑤直流电机。

电机是一种具有电和磁的机构,对电机的分析离不开电和磁方面的研究。一台电机总是有电压、电流、功率、以及力矩、转速、效率等方面的问题需要考虑。读者应当能够计算这些量,通过这些量的计算提出它的规格和性能,只有这样才能正确使用它。上述各量进行计算时必须分析电机的电路和磁路。电机中的电路是指其绕组部分,主要是电枢绕组。它的结构和理论,即它的形式、连接方法,影响电势的数量和质量(波形)。绕组在带上负载后对磁场的影响,成为研究电机的核心问题。电机中电压、电势和电流之间的关系可用电路定律 $K \cdot V \cdot I$ ($\sum e = \sum u$)来联系,这样在电机中就出现了电阻、电抗等参数的概念。

不同的运行情况决定了电机中各种电量间具有不同的关系，由此必然引起各种不同参数来表达这些关系。

除了电路外电机中还有磁路。磁路分析的准确性直接反映到电路的计算中。通常磁路有饱和和未饱和之分。当磁路未饱和时，属于线性，这时电路参数为常数，计算比较简单。当磁路饱和后，属于非线性，这时和磁路有关的电路参数随磁路饱和情况而异，计算就变得非常复杂，有时还不得不用图解法来帮助分析。

在电机内也存在机械方面的问题。例如对于旋转电机，当电能与机械能在相互转换过程中，必然会涉及到电磁力矩以及与之相应的转速问题。这两者之间的关系通常称为机械特性。电机的机械特性除了与电机的结构参数有关外，还和运行时电枢绕组的端电压和频率等因素有关。在电机中还有机械结构、力的传递、强度核算等问题。即使是变压器，属于静止电路，也存在电磁力问题。

电机在能量转换过程中当然会产生各种损耗，其中主要是铜损耗和铁损耗。这些损耗的存在不但会降低电机的效率，同时还引起内部发热，影响电机的寿命。研究产生各种损耗的原因，以及降低损耗的各种措施，提高电机的效率，也是电机学的主要研究对象。

最后，在电机的研究中还有发热、冷却以及绝缘材料等问题需要考虑。因为电机是一种综合性的设备，它的问题是多方面的。但是在电机学中最主要研究对象还是电磁规律方面的问题。

电机学是电力类各专业的一门专业基础课，不论是发电厂及电力系统专业，或者继电保护专业，还有用电管理及监察专业，都必须对各种主要电机有比较深入的了解。本课程的内容是讨论各主要电机的结构概要、工作原理、分析方法和工作性能，它们主要是属于电方面、磁方面或者机械方面的问题，适当地也讨论一些发热、冷却问题。这些是后续专业课程分析的必要基础。

第二节 电机在电力系统中的作用

在电力系统中包含了电能的生产、输送和使用三个组成部分。对于这三个组成部分，电机都是不可缺少的主要电气设备。

先述电能的生产。现代发电厂中所使用的发电机几乎全部都是汽轮发电机或者水轮发电机，它们是发电厂中最主要的电气设备。虽然汽轮发电机和水轮发电机由不同的原动机拖动，但是对于被拖动的发电机来说，它们都是同步电机，其基本工作原理是一样的。原动机拖动同步发电机的转子，使转子转动的机械能转换为定子电枢绕组上电能输出。解放以前，我国自己不能生产发电设备。解放后，特别是改革、开放后，我国的电机制造工业获得了很大的发展。目前我国自己设计和制造的汽轮发电机和水轮发电机容量最大已达到300MW，引进国外技术所生产的汽轮发电机可达到600MW。这一水平与世界上一些工业发达的先进国家相比尚有一段差距。目前世界上已能生产出1200MW的两极汽轮发电机和700MW的水轮发电机。

发电机的电压一般不能很高，例如一台600MW的汽轮发电机其定子绕组的电压只有