

小功率电机

〔苏〕Н. П. 叶尔穆林著



机械工业出版社

小 功 率 電 機

〔苏〕H. П. 叶尔穆林著

朱仁初 何秀偉 勵鶴鳴合譯



机械工业出版社

本书簡明地闡述了小功率直流电机、通用整流子电动机、小功率同步电动机、小功率异步电动机、自整角机和週轉变压器的理論和計算方法。

本书可作为高等学校电机制造专业的教学参考书，同时也是微电机設計人員有益的参考书。

本书由西安交通大学电机教研室朱仁初、何秀偉和励鶴鳴同志合譯。全书的譯稿經朱仁初同志校閱。

Н. П. ЕРМОЛИН
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ
ВЫСШАЯ ШКОЛА 1962
(根据苏联高等学校出版社一九六二年版譯出)

* * *

小 功 率 电 机
〔苏〕Н. П. 叶尔穆林著
朱仁初 何秀偉 励鶴鳴合譯

*

第一机械工业部教材編审委员会編輯 (北京复兴門外三里河第一机械工业部)

机械工业出版社出版 (北京苏州胡同 141 号)

(北京市书刊出版业营业許可証出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印張 $15 \frac{6}{8}$ · 字数 400 千字
1965 年 8 月北京第一版·1965 年 8 月北京第一次印刷
印数 0,001—7,000 · 定价 (科五) 2.10 元

*

統一书号: K 15033 · 3961

前 言

現今，功率範圍从零点几瓦到数百瓦的直流和交流的小功率电机，在工业、特种技术和家庭日常生活的各个方面，得到广泛的和多种的应用。在这些方面，基于上述小功率电机的种种应用，目前正广泛地实现着生产过程、伺服机构和各种装置的自动化。

目前，由专门的电机制造部门大量地和成批地生产这些电机。各工业企业、科研机构和专业部门都在从事着小功率电机的设计与制造。同时，还有许多企事业单位在研究已制成的小功率电机在各种一般的和专门的自动装置中的应用。

为了解决这些重要的技术任务，在小功率电机的设计、生产和应用方面，需要大量的专家。因而，目前各工业大学、电工、电工仪表制造及航空高等学校和有关学科的教师、研究生及学生，在研究各类小功率电机的理论、工作特性和计算方法及其可能应用于各种自动装置和许多其他目的时，对小功率电机的文献有着很大的兴趣。在高等学校的课程设计及毕业设计中，这些文献也是必需的教学参考资料。

对于从事小功率电机设计、生产和应用的许多工程技术人员来说，这些文献亦颇为有益。

研究小功率电机的各高等学校、各种设计、生产和其他企业工作的实际经验表明，为了节约时间和工作方便，必需有一本书籍，能简明和适当地把各类小功率电机的理论和系统计算的基本问题汇集在一起。目前，这些问题主要叙述于许多杂志的文章内，或在只有这些电机的某些类型的少数书籍内。

为此，在介绍给读者的本书内，简明地阐述了各类小功率电机的理论和计算方法的基本问题和特点。同时，主要在分析电机

的物理現象的基础上，运用必要的解析关系来闡明这些問題。由于本书篇幅的限制，对小功率电机的結構研究及机械計算問題未加討論。这些問題是闡述于其他文献內的独立部分。

在本书內，也沒有担負建立小功率电机的系統教程的任务，而只研究这些电机固有的特点。因此，在本书內对电机学一般教程中所熟知的許多公式不加推导。本书內列有小功率电机的詳細的图书索引，在必要时，讀者可应用它来补充研究书中沒有詳細闡明的个别問題的某些細節。这样，讀者既能方便地获得各类小功率电机理論和計算的基本問題的必要資料，在需要时，又能从图书索引列出的文献內进一步深入研究感到兴趣的問題。

写出一本能够完全包括基本理論特点及有系統地叙述各类小功率电机計算的簡明书籍，无疑是有一定困难的，并且难免会有一些缺点。因此，作者先向能将本书的意見通知作者的讀者表示感謝。

列宁格勒的列宁电工学院电机教研室的教师 A. P. 杰罗 在校对和出版本书中做了很多的工作，作者特此表示感謝。

作 者

目 录

前言	3
主要符号	12
緒論	21
§ 1 小功率电机在现代技术中的作用和意义	21
§ 2 电机的应用范围	21
§ 3 对小功率电动机和发电机提出的主要技术要求	23

第一篇 小功率直流电机

第一章 小功率直流电动机	25
§ 1-1 小功率直流电动机的应用范围及对其提出的要求	25
§ 1-2 小功率电动机的结构形式	26
§ 1-3 电动机的激磁和线路图	27
§ 1-4 电动机的起动和反转	29
§ 1-5 电动机的工作特性	33
§ 1-6 直流电动机转速的稳定	36
§ 1-7 直流伺服电动机	40
第二章 小功率直流发电机	43
§ 2-1 无刷发电机	44
§ 2-2 三电刷汽车发电机	46
§ 2-3 直流测速发电机	48
第三章 永久磁钢激磁的直流电机	54
§ 3-1 永久磁钢的特性	54
§ 3-2 小功率永磁电机的磁系统结构	56
§ 3-3 永磁电机内的电枢反应	57
第四章 电机功率放大器	58
§ 4-1 交轴磁场电机放大机的作用原理及结构	59
§ 4-2 交轴磁场电机放大机的结构	62
§ 4-3 交轴磁场电机放大机的放大系数及时间常数	64
§ 4-4 交轴磁场电机放大机的负载运行	67

§ 4-5	直軸磁場电机放大机的作用原理及結構	68
第五章	直流及交直流单樞換流机	71
§ 5-1	直流单樞換流机	71
§ 5-2	交直流单樞換流机	75

第二篇 小功率直流电机的計算

第六章	概論	78
第七章	直流电动机和发电机的計算	79
§ 7-1	設計題目	79
§ 7-2	电机的主要尺寸	80
§ 7-3	电樞繞組	86
§ 7-4	电樞齿、槽及繞組导綫的尺寸	89
§ 7-5	換向器、刷握及电刷	100
§ 7-6	电机的磁系統	107
§ 7-7	激磁繞組的計算	116
	串激电动机	116
	并激电动机及发电机	118
	用离心式振动調速器穩定轉速的并激电动机	120
§ 7-8	电机的損耗和效率	123
§ 7-9	小功率直流电动机系列的計算	131
§ 7-10	小功率直流电动机計算的例題	139
第八章	用永久磁鋼激磁的直流电机的計算特点	157
§ 8-1	永磁直流电机的計算程序	157
§ 8-2	电机每极永久磁鋼长度的确定	157
第九章	小功率交軸磁場电机放大机的計算	160
§ 9-1	設計題目	160
§ 9-2	电机放大机的主要尺寸	161
§ 9-3	电樞繞組及換向器	163
§ 9-4	电机放大机的磁系統	166
	放大机第二級磁系統的計算	167
	放大机第一級磁系統的計算	171
§ 9-5	电机放大机的損耗及效率	173

第十章 小功率单樞換流机的計算	174
§ 10-1 設計題目	174
§ 10-2 单樞換流机的主要尺寸	174
§ 10-3 电樞繞組	178
§ 10-4 单樞換流机的磁系統	180
第十一章 小功率整流子电机的热計算	183
§ 11-1 概述	183
§ 11-2 电樞的温升	183
§ 11-3 換向器的温升	185
§ 11-4 激磁繞組的温升	185
§ 11-5 小功率整流子电机簡化的热計算	188

第三篇 通用整流子电动机

第十二章 通用整流子电动机的基本特性	191
§ 12-1 通用整流子电动机的結構和工作过程	191
§ 12-2 通用整流子电动机的电压矢量图	193
§ 12-3 通用整流子电动机的工作特性	197
§ 12-4 小功率整流子电动机的噪音	197
§ 12-5 整流子电机所产生的无綫电干扰的抑制	201
第十三章 小功率通用整流子电动机的計算	205
§ 13-1 設計題目	205
§ 13-2 电动机的主要尺寸	205
§ 13-3 通用整流子电动机的电樞	208
§ 13-4 通用整流子电动机的磁系統	210
§ 13-5 通用整流子电动机的激磁繞組	211
交流激磁繞組的計算	211
附加的直流激磁繞組	214
§ 13-6 通用整流子电动机的損耗和效率	217

第四篇 小功率同步电动机

第十四章 小功率三相反应式电动机	221
第十五章 小功率单相反应式电动机	227

§ 15-1 具有凸极定子及一个激磁线圈的单相反应式电动机	227
§ 15-2 轉子有齿的单相反应式电动机	229
§ 15-3 单相电容反应式电动机	230
§ 15-4 分段式轉子的反应式电动机	232
第十六章 同步的磁滞轉矩电动机	234
§ 16-1 单相电容同步的磁滞轉矩电动机	235
§ 16-2 具有凸极定子的单相同步磁滞电动机	240
第十七章 小功率同步测速发电机	243

第五篇 小功率同步电动机的計算

第十八章 具有隐极定子的反应式电动机的計算	245
§ 18-1 設計題目	245
§ 18-2 反应式电动机的主要尺寸	245
§ 18-3 定子繞組	249
§ 18-4 电动机的磁系統	250
§ 18-5 电动机的空载电流及参数	254
§ 18-6 电动机在起动及旋轉时的轉矩	256
三相反应式电动机	256
单相电容反应式电动机	257
第十九章 具有隐极定子的小功率磁滞电动机的計算	260
§ 19-1 設計題目	260
§ 19-2 磁滞电动机的主要尺寸	263
§ 19-3 定子繞組	269
§ 19-4 电动机的磁系統	269
§ 19-5 电动机的空载电流	272
§ 19-6 电动机在起动及旋轉时的轉矩	272

第六篇 小功率异步电动机

第二十章 小功率三相鼠籠式异步电动机	274
§ 20-1 三相异步电动机的轉矩和轉差率	275
§ 20-2 鼠籠轉子的电流	278
§ 20-3 三相异步电动机的等效电路和起动电流	279

第二十一章 小功率单相异步电动机	282
§ 21-1 具有輔助繞組的电容异步电动机工作过程的方程式	283
§ 21-2 电容异步电动机的轉矩	290
§ 21-3 控制用电容异步电动机起动和工作特性的分析	294
§ 21-4 具有非磁性杯形轉子的小慣性控制用电容异步电动机	308
§ 21-5 一般用途的单相电容异步电动机	313
§ 21-6 裂极或罩极式单相异步电动机	315
第二十二章 异步测速发电机	318

第七篇 小功率异步电动机的計算

第二十三章 具有隱极定子的异步电动机的計算	322
§ 23-1 設計題目	322
§ 23-2 异步电动机的主要尺寸	323
§ 23-3 定子繞組	328
三相异步电动机	328
一般用途的单相电容异步电动机	335
控制用电容异步电动机	338
§ 23-4 鼠籠轉子	339
三相异步电动机	341
一般用途的单相电容异步电动机	343
控制用电容异步电动机	343
§ 23-5 薄壁非磁性杯形轉子	345
§ 23-6 电动机的磁系統	346
§ 23-7 电动机的空載电流	351
§ 23-8 电动机的短路电流和起动轉矩	356
三相异步电动机	356
单相电容异步电动机	357
§ 23-9 电动机的損耗和效率	359
§ 23-10 电动机的起动時間	361
§ 23-11 控制用电容异步电动机的工作特性	363
§ 23-12 鼠籠式控制用电容异步电动机系列的計算	366
§ 23-13 电容异步电动机計算的例題	371
第二十四章 裂极式或罩极式小功率单相异步电动机的	

計算	387
§ 24-1 設計題目	387
§ 24-2 具有凸极定子的单相异步电动机的主要尺寸	387
§ 24-3 定子繞組	390
§ 24-4 电动机的磁系統	394
§ 24-5 电动机在起动及旋轉时的轉矩	396

第八篇 自 整 角 机

第二十五章 具有单相及三相自整角机的同步傳遞系統的

基本特性	399
§ 25-1 概述	399
§ 25-2 具有三相自整角机的感应式同步傳遞系統的作用原理 及工作过程	402
§ 25-3 具有单相自整角机的指示式同步傳遞系統的作用原理 及工作过程	405
§ 25-4 具有差动式自整角机的单相感应式同步傳遞系統	412
§ 25-5 单相无接触式自整角机	413
§ 25-6 同步傳遞系統在运行时誤差的性质及提高精确度的 方法	414

第二十六章 自整角机的計算

§ 26-1 設計題目	420
§ 26-2 自整角机的主要尺寸	421
§ 26-3 自整角机的磁系統	424
§ 26-4 自整角机的激磁繞組	427
§ 26-5 同步繞組	433
§ 26-6 自整角机等效电路的参数	435
凸极自整角机直軸等效电路的参数	435
凸极自整角机交軸等效电路的参数	437
§ 26-7 自整角机的工作特性	439

第九篇 週轉变压器

第二十七章 週轉变压器的基本特性

§ 27-1 概述	441
§ 27-2 迴轉變压器的作用原理	442
§ 27-3 正弦-余弦迴轉變压器	446
§ 27-4 綫性迴轉變压器	449
§ 27-5 迴轉變压器的定子及轉子繞組	453
第二十八章 迴轉變压器的計算	460
§ 28-1 設計題目	460
§ 28-2 迴轉變压器的主要尺寸	461
§ 28-3 迴轉變压器的定子及轉子繞組	462
§ 28-4 迴轉變压器的磁系統	463
附录	464
参考文献	496

主要符号

- A_s ——电枢或定子线负荷的模数。
- a ——电枢绕组并联支路的对数。
- a_{n1}, a_{n2} ——定子和转子的槽口宽度。
- AS ——电枢或定子的线负荷。
- AS_d, AS_q ——电机放大机直轴和交轴电流的电枢线负荷。
- AS_N ——额定的电枢线负荷●。
- AW_B ——整流子电机的激磁磁势。
- AW_q, AW_β, AW_K ——交轴、直轴和换向的电枢反应磁势。
- AW_R ——电枢反应的总磁势。
- $AW_\delta, AW_s, AW_a, AW_{n\lambda}, AW_c$ ——整流子电机的气隙、电枢齿、电枢轭●、磁极铁芯和机座的磁势。
- AW_{ad}, AW_{aq} ——电机放大机直轴和交轴电流的电枢反应磁势。
- AW_{k0} ——电机放大机补偿绕组的磁势。
- $AW_{\partial d}$ ——电机放大机附加极的磁势。
- AW_n ——电机放大机助磁绕组的磁势。
- AW_y ——电机放大机控制绕组的磁势。
- AW_1, AW_3 ——单相异步电动机定子主绕组和辅助绕组随时间脉振的基波磁势的幅值。
- $AW_{1f}, AW_{2f}, AW_{3f}$ ——单相异步电动机定子和转子绕组顺序旋转磁势的幅值。
- $AW_{1b}, AW_{2b}, AW_{3b}$ ——同上，逆序旋转磁势。
- AW_0 ——异步和磁滞电动机的空载磁势。
- $AW_{sc}, AW_c, AW_{sp}, AW_p$ ——同步和异步电动机定子及转子的齿和轭的磁势。
- AW_{0d} ——同步反应式电动机的空载磁势。

● 原文为“额定的电枢负荷”。

● 为了明确起见，这里将原文的“电枢铁芯”改为“电枢轭”。

$aw_s, aw_a, aw_{nA}, aw_c$ ——整流子电机的电枢齿、电枢轭、磁极铁芯和机座的单位磁势。

$aw_{sc}, aw_c, aw_{sp}, aw_p$ ——同步和异步电动机定子及转子的齿和轭的单位磁势。

$B_\delta, B_s, B_a, B_{nA}, B_c$ ——整流子电机的气隙、电枢齿、电枢轭、磁极铁芯和机座内的磁感应。

B_r ——永久磁钢的剩余磁感应。

$B_{\delta\gamma}$ ——电机放大机交轴磁场的气隙磁感应。

B_{sc}, B_c, B_{sp}, B_p ——同步和异步电动机定子及转子的齿和轭内的磁感应的幅值。

$B_{sf}, B_{cf}, B_{spf}, B_{pf}$ ——单相异步电动机定子及转子的齿和轭内顺序磁场磁感应的幅值。

$B_{sb}, B_{cb}, B_{spb}, B_{spb}$ ——同上，逆序磁场。

b_0 ——计算极弧。

b_n ——电枢的槽宽，或电机放大机的几何极弧。

b_{nA} ——磁极铁芯的宽度。

b_K ——换向区域的宽度。

b_{u1} ——沿换向器圆周的电刷宽度。

b_β ——归算到电枢圆周上的电刷从中性线的位移。

b_q ——电机放大机极间的弧长。

b_{s1}, b_{s2} ——定子和转子的齿宽。

b_{n1}, b_{n2} ——定子槽的上宽和下宽。

C, C_B ——电机常数。

C ——电容器的电容。

c ——电枢绕组常数。

D_n ——磁极内腔的直径。

D_a ——电枢或定子内圆的直径。

D_K ——换向器的直径，或为鼠笼式转子短路环的直径，或为伺服电机机壳的外径。

D_p ——同步和异步电动机转子的直径。

D_n ——定子铁芯的外径。

d_a, d_{au}, d_b, d_{bu} ——电枢绕组及激磁绕组的裸导线和绝缘导线的直径。

d_1, d_{1u}, d_3, d_{3u} ——定子繞組裸導線和絕緣導線的直徑。

d_n, d_{nA} ——電樞槽或轉子槽的直徑和轉軸的直徑。

E, E_H, E_B ——電樞的電勢 (H ——低壓的, B ——高壓的)。

E_d, E_q ——電機放大機直軸和交軸電刷迴路內的電樞電勢。

E_{nc}, E_{np} ——交直流換流機的直流和交流電樞電勢●。

E_1, E_2, E_3 ——單相異步電動機定子和轉子繞組內的電勢, 或為自整角機定子和轉子的電勢, 或為迴轉變壓器的電勢。

E_{1f}, E_{2f}, E_{3f} ——單相異步電動機定子和轉子繞組內的順序電勢。

E_{1b}, E_{2b}, E_{3b} ——同上, 逆序電勢。

E_ϕ ——自整角機同步繞組的電勢。

e_a ——短接元件內電樞反應的電勢。

e_r ——短接元件內的平均電抗電勢●。

e_p ——短接元件內總電勢的平均值●。

e_t ——短接元件內的變壓器電勢●。

f ——電樞鋼內的交變磁化頻率。

f_1 ——交流電網的頻率。

f_0, f_0' ——考慮到在電樞或定子槽內嵌線和激磁線圈的繞制不整齊的工藝系數。

$G_{ca}, G_{cs}, G_{cc}, G_{cn}$ ——電樞軛、電樞齒、機座和磁極的鋼重。

$G_{cc}, G_{cs}, G_{pp}, G_{ps}$ ——定子及轉子的軛和齒的鋼重。

H_c ——永久磁鋼的矯頑磁力。

H_p ——磁滯電動機轉子有效材料在工作點上的磁場強度。

h_a, h_n, h_{nA}, h_c ——電樞軛、電樞槽、磁極鐵芯和機座的高度。

h_c, h_{n1}, h_p, h_{n2} ——定子及轉子的軛和槽的高度。

h_{uq} ——電刷高度。

● 原文沒有“直流和交流”幾字。

● 原文沒有“短接”兩字。

I_a, I_B ——电枢电流和激磁电流。

$I_1, I_{1\phi}$ ——三相异步电动机的线电流和相电流。

I_1, I_3 ——单相同步及异步电动机定子主绕组和辅助绕组的电流。

I_2 ——转子电流。

I'_1, I'_2 ——单相异步电动机归算到定子主绕组后的顺序和逆序的转子电流。

I_d, I_q ——三相反应式电动机定子绕组的直轴和交轴电流。

I'_d, I'_q ——罩极式单相异步电动机归算到定子主绕组后的转子直轴和交轴电流。

I_{1n}, I_{3n} ——单相异步电动机的起动电流。

I_0 ——同步和异步电动机的空载电流。

I_{0a}, I_{0r} ——上述电动机空载电流的有功和无功分量。

I_{2m} ——自整角机同步绕组的最大相电流。

i_a ——电枢电流对其额定值的相对值。

i_{am} ——电枢起动电流对额定电流的倍数。

J ——电枢或转子的转动惯量。

i_a, i_B, i_{u4} ——电枢绕组和激磁绕组导线内及电刷的电流密度。

i_1, i_3 ——定子绕组导线内的电流密度。

K ——换向片数。

K_0 ——自整角机外形尺寸的利用系数。

k_δ ——气隙系数。

k_n ——电动机磁系统的饱和系数。

k_w ——绕组系数。

k_p ——小惯性电动机非磁性杯形转子的长度对定子计算长度的比值。

k'_p ——定子绕组的分布系数。

k_p ——电机放大机的放大系数。

k'_p ——绕组的短距系数。

k_{nu}, k_{1u}, k_{3u} ——电枢槽和定子槽内绝缘导线的填充系数。

k_u ——槽内裸导线的填充系数。

k_m ——交流电动机最大转矩对额定转矩的比值。

- k_d, k_q ——定子直軸和交軸磁勢归算到轉子的系数。
 k_ϕ ——自整角机的磁通系数。
 k_r ——由于阻尼繞組的影响自整角机交軸同步繞組电阻的增大系数。
 k_s ——定子和轉子齿部的飽和系数。
 k_c ——鋼的单位損耗。
 k_e, k_i ——自整角机电势和电流的变比。
 $k_{\phi\kappa}$ ——自整角机交軸磁通系数。
 k_2 ——自整角机阻尼繞組系数。
 k_1 ——迴轉變压器变比的倒数。
 $L_a, L_s, L_\delta, L_{nA}, L_c$ ——电樞軀、电樞齿、气隙、磁极鉄芯和机座的磁路平均长度。
 $l_0, l_\kappa, l_{nA}, l_c$ ——电樞鉄芯或定子鉄芯、換向器、磁极和机座的軸向长度。
 l_a, l_{a1} ——电樞繞組和定子繞組导綫的平均长度。
 l_{A1} ——定子繞組的端部长度。
 l_{cp} ——激磁繞組每匝的平均长度。
 l_{w1}, l_{w2} ——自整角机轉子和定子繞組导綫的平均长度。
 M ——电动机总的电磁轉矩。
 M_2 ——电动机的輸出轉矩。
 M_n ——电动机的起動轉矩。
 $M_{\max}$ ——电动机的最大轉矩。
 M_1, M_b ——单相异步电动机順序和逆序磁場的总的电磁轉矩。
 M_n ——額定負載轉矩。
 M_0 ——电动机空載时的損耗轉矩。
 m ——异步伺服电动机的电磁轉矩对其起動轉矩的相对值。
 m_n ——电动机起動轉矩对額定轉矩的倍数。
 m_y ——自整角机的比整步轉矩。
 m_1, m_2 ——定子和轉子的相数。
 N ——电樞繞組的导体数。
 n ——电机的轉速。