

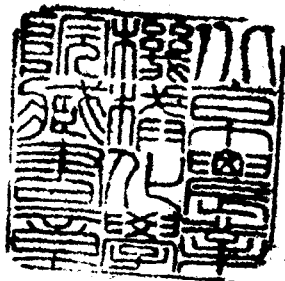
休特电能技术手册

电机分卷

〔西德〕W·伯宁格主编

胡迪如 蒋承勋 孙希同 沈康英等译

樊虎 凌松年 等校



机械工业出版社

本书扼要地系统介绍了：1. 各类电机的电磁和机械设计计算、通风散热计算以及有关环境保护如噪声、无线电干扰的测定等方面的主要公式、方法和经验数据。2. 各类电机包括直流、同步、异步、牵引以及各种小功率和特殊电机的结构、原理、特性参数和工作特性。3. 电机的主要特性参数的测定方法与计算以及运行监视方面实用问题。4. 电工技术通用基础资料包括电气计算的基本定律、电工常用标准与规范、电工材料及测试技术等。

对近代电机技术上的主要成就如近代计算技术的应用、近代变流技术的应用、大型电机设计上的问题以及直线电机、超导电机等新型电机均有所叙述。

本书可供从事电机研究和设计制造以及运行维护方面的工程技术人员和大专院校师生参考。

HÜTTE Taschenbücher der Technik
Elektrische Energietechnik Band 1 Maschinen

Herausgegeben vom
Wissenschaftlichen Ausschuss des Akademischen Vereins Hütte e. V.

29. Auflage.

Springer-Verlag 1978.11

休特电能技术手册
电机分卷

[西德] W. 伯宁格 主编
胡迪如、蒋承勋、孙希同、沈康英等译
樊虎、**凌松年** 等校

2581/27

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经营

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $23 \frac{5}{8}$ · 插页 2 · 字数 610 千字
1984 年 3 月北京第一版 · 1984 年 3 月北京第一次印刷
印数 0,001—7,300 · 定价 5.00 元

统一书号：15033 · 5327

译者的话

本手册是根据德意志联邦共和国Springer出版社1978年11月出版的W. Böning主编的HÜTTE技术手册29版《电能技术》卷第一分册《电机》译出的。HÜTTE技术手册初版始于1857年，迄今有120余年历史，有多种文种译本，国际上享有盛誉。

本手册是在近代电机基础理论各种新成就的基础上，（例如：统一的电机理论，近代物理数学对空间磁场分布与铁心饱和等非线性问题的精密分析，强度理论和断裂力学对电机机械结构的分析，电机振动理论以及电子电机学与控制论相结合的理论等）以精练笔墨系统地介绍电机的电磁、机械、散热与通风的设计计算以及噪声和无线电干扰的测算的主要公式、方法和经验数据，概论了各类电机（直流、同步、异步、牵引、小功率和特殊电机）的原理、结构、特性参数与工作特性，阐述了各种参数的试验与测定方法以及运行监视中实用问题；此外，书中还分别按不同的技术内容附有详细的参考文献。

原著序言强调指出：近20年来，由于冷却技术的发展，决定电机极限功率的主要因素，不再是温升极限和绝缘结构而是机械应力。鉴于这种发展的需要，HÜTTE手册是第一个将电机机械设计和电磁设计中所涉及的边缘问题纳入工具书这一类出版物中并加以详细介绍。序言还强调了本手册较全面地反映近代电机技术各种成就的这一特色，包括传递矩阵、矢量分析、微分形式论、与有限单元法等计算方法以及近代变流技术、半导体励磁理论和近代测试技术等电机设计计算、调节控制和试验监测等方面的应用；特高速、特低速电机，移动场电机以及磁浮式直线电机等新型电机在近代驱动技术领域中的应用等。

本手册对近代电机技术的精华作了高度的概括，为全面了

解、吸收和消化德意志联邦共和国在电机技术领域方面的特长提供了条件。

本书由下列同志参加翻译与校核：

一、第一部分 通用基础资料

胡明忠等译 鲁学平等校

二、第二部分 设计与计算要点

胡迪如（电气设计计算）陈元春（机械设计计算）吴硕麟（散热、环境保护）译 樊虎等校

三、第三部分 电机的结构、特性参数与工作特性

蒋承勋（同步、牵引电机）孙希同（异步电机）沈康英（直流、特殊电机）凌松年（小功率电机）译 林金铭、凌松年、樊虎等校

四、第四部分 电机试验与运行监测

沈耀南、王雅娟译 樊虎、游善良校

本书在翻译、校核过程中，得到华中工学院、哈尔滨大电机研究所、上海电器科学研究所、上海电机厂、上海电工仪器研究所、上海电表厂等单位以及林金铭、程福秀、周克定、杨赓文、李朗如、禹玉贵、陶醒世、陈贤珍、郑时刚、刘禄臣、陈熙、黄国治、丁寿永、范之平、王其平、戴礼智、余鹤栋、赵仲秀、吴世豪、许仲枚、杨靖华和李秋英同志的大力支持与协助，对此我们深表感激。

由于本书涉及的知识面很宽、内容新颖、翻译德文电工手册在国内又是初次尝试，我们的业务水平和实践经验有限，译文中错误在所难免，热忱希望读者批评指正。

重要说明

本卷的章节条款标记采用按流水号顺序编排，使文中内容的段落划分更为清晰便查。这是与以前的版本不同的。

德意志联邦共和国有关“计量单位的准则”是1970年7月5日开始生效的。1971年11月出版的西德工业标准 (DIN) 1301 的新版本已考虑到这项准则及其实施后的影响。因此，休特 (HÜTTE) 手册采用国际单位制 (SI) 的基本量和基本单位，即：长度：米，m；质量：公斤，kg；时间：秒，s；电流强度：安培，A；温度：开尔文，K；发光强度：坎德拉，cd；物质的量：摩尔，mol。

根据“计量单位的准则”，至今习用的各种单位到1977年年底失效。在本卷内只有国际单位制部分仍沿用1971年11月颁布的 DIN1301 规范。

在手册各章节结尾处的后面，附有编号的参考资料目录，其内容包括标准、规范、专著、杂志和论文等。在正文中以方括弧中注出文献号来代表有关的资料，如[15]。在目录中列出了各文献号的标题，提示资料的来源，从中可以找出有关章节所引证的完整内容。

在引证休特手册其他卷的参考资料时，也采用在方括弧中注出大写字母 H 和卷号的方式表示。如 [H3]，就是指休特手册第三卷，即休特材料手册。在参考资料目录中的专著部份，还注明了专著的版次和出版年月。

本卷内所列的 DIN 标准是具有权威性的最新版本，引自西德标准化研究所每年出版的活页标准目录。

为了使本卷的内容与最新标准一致，将向休特手册编辑部建议按标准的发展与更新情况，及时加以订正。

缩 略 语

AEF	德意志联邦共和国工业化研究所所属单位与公式量委员会	VDE	德意志联邦共和国电工学会
ASA	美国标准协会	VDI	德意志联邦共和国工程师协会
ASTM	美国材料试验协会	VdTÜV	德意志联邦共和国技术监督协会联合会
DIN	德意志联邦共和国工业标准化研究所	ZVEI	电气工业中央联合会
EG	欧洲联合会	betr.	关系, 事由, 有关的, 关于
EDV	电子数据处理	bzw.	或, 亦即, 说得确切一些
EVU	供电公司	ca.	大约, 将近…左右
HGÜ	高压直流输电	d.h.	也就是说, 亦即
IEC	国际电工委员会	Dmr.	直径
ISA	国际标准化协会	einschl.	包括在内的
ISO	国际标准化组织	evtl.	可能的, 或许
IUPAC	理论和应用化学国际联合会	i. allg.	一般地, 在一般情况下
NBS	(美国)国家标准局	l. W.	内径
PTB	工程物理研究所(德意志联邦共和国)	max.	最大的
REFA	工时定额研究委员会(德意志联邦共和国)	mind.	最少
RKW	德意志联邦共和国经济合理化建议委员会	Mio.	百万
SI	国际单位制	Mrd.	十亿
TÜO	技术监督协会	NN	基准点
TÜV	德意志联邦共和国技术监督协会	s	参看, 见…
UGGI	大地测量与地球物理国际协会(加拿大, 多伦多大学)	sog	所谓(的)
		u. a	此外, 尚有, 其中
		usw.	等等
		vgl.	参照, 对照
		zul.	容许的
		z. B.	例如,
		z. Z.	当前, 目前

目 录

1. 通用基础资料	1
1.1 各种量及其符号与单位	1
1.2 标准与规范	9
1.2.1 DIN-标准	10
1.2.2 VDE规范	16
1.3 图形符号	19
1.3.1 通用电路元件	19
1.3.2 电机	20
1.4 材料	23
1.4.1 磁性材料	23
1.4.1.1 分类	23
1.4.1.2 参数	24
1.4.1.3 应用	27
1.4.2 绝缘材料	30
1.4.2.1 无机绝缘材料	30
1.4.2.2 有机绝缘材料	38
1.4.3 电触头材料与导电材料	56
1.4.3.1 概述	56
1.4.3.2 纯金属与非合金材料	56
1.4.3.3 电触头材料	57
1.4.3.4 导体材料	65
1.4.4 材料的参考文献	84
1.5 测量技术	87
1.5.1 概述	87
1.5.2 测量方法	87
1.5.2.1 电流测量与电压测量	88
1.5.2.2 交流电流参量的测量	89
1.5.2.3 功率、功率因数和功的测量	91

1.5.2.4	电阻测量和绝缘测量	93
1.5.2.5	电感测量和电容测量	95
1.5.2.6	频率测量和时间测量	96
1.5.2.7	磁场的测量	98
1.5.2.8	转速和角加速度测量	99
1.5.2.9	转矩的测量	100
1.5.2.10	温度的测量	100
1.5.3	值得选用的测量仪器	102
1.5.3.1	示波器和记录仪	102
1.5.3.2	数字式测量仪表	104
1.5	测量技术的参考文献	108
2.	设计与计算要点	110
2.1	结构型式, 防护类型, 出线端标志	110
2.1.1	轴中心高	110
2.1.2	结构型式	111
2.1.3	防护类型	118
2.1.3.1	防护类型	118
2.1.3.2	防爆电机的防爆类型	123
2.1.4	旋转方向	123
2.1.5	接线标志	123
2.1	电机基本标准的参考文献	128
2.2	电气计算基本定律	128
2.2.1	全电流定律和毕奥-萨伐尔公式	128
2.2.2	磁感应强度、磁导率和磁通	130
2.2.3	磁位, 磁场计算	132
2.2.4	电磁感应定律	133
2.2.5	电感和互感, 漏磁, 等效电路图	134
2.2.6	磁场能量, 磁场力	138
2.2.7	电感电路、参考箭头和参考系统	139
2.2.8	对称三相系统基本定律	142
2.2.9	三相系统的简化计算	143
2.2.9.1	对称分量	143
2.2.9.2	α , β , 0 分量	145

2.2.9.3	$d, q, 0$ -分量, 双轴变换	146
2.2	电气计算基本定律的参考文献	148
2.3	电气设计计算	148
2.3.0	符号说明	148
2.3.1	电机几何尺寸确定	151
2.3.1.1	设计原始数据	151
2.3.1.2	主要尺寸选择	156
2.3.1.3	磁负荷与电负荷	158
2.3.2	绕组	160
2.3.2.1	电枢绕组结构概述	160
2.3.2.2	交流电枢绕组	161
2.3.2.3	直流电枢绕组	173
2.3.2.4	短路绕组	175
2.3.2.5	磁极绕组	177
2.3.3	气隙磁场与磁路	177
2.3.3.1	空载运行气隙磁场	178
2.3.3.2	各部分磁压降	182
2.3.3.3	励磁磁动势与磁化电流	186
2.3.3.4	电枢电流建立的气隙磁场	187
2.3.4	主电感与漏电感	191
2.3.4.1	主电感的计算	191
2.3.4.2	漏磁通与漏电感	194
2.3.5	电损耗	201
2.3.5.1	铁耗	201
2.3.5.2	绕组损耗	206
2.3.5.3	电刷接触损耗	211
2.3.5.4	效率	212
2.3	电气设计计算的参考文献	212
2.4	机械设计计算	213
2.4.1	基础	213
2.4.1.1	设计计算	213
2.4.1.2	应力	217
2.4.1.3	应变	217

2.4.1.4	静载荷下的材料性能	218
2.4.1.5	脉动载荷下的材料性能	219
2.4.1.6	对脆断的概要说明	220
2.4.1.7	安全系数	220
2.4.1.8	超速转速	221
2.4.2	圆柱形(或鼓形)转子与笼形转子	221
2.4.2.1	槽楔	221
2.4.2.2	转子齿	225
2.4.2.3	整圆冲片转子铁心	227
2.4.2.4	扇形冲片转子铁心(“叠片铁心”)	228
2.4.2.5	叠片铁心的压紧	233
2.4.2.6	绕组端箍	236
2.4.2.7	绑线	239
2.4.2.8	笼形转子短路环	241
2.4.3	凸极转子(磁) 轭轮、转子(星形) 支架和磁极	241
2.4.3.1	盘形轭轮	241
2.4.3.2	辐条形轭轮与转子(星形) 支架	248
2.4.3.3	带斜锥的盘形轭轮与辐条形轭轮及考虑自重 时的计算	253
2.4.3.4	径向分割式轭轮的连接件	254
2.4.3.5	磁极	255
2.4.3.6	励磁绕组	259
2.4.3.7	阻尼绕组	260
2.4.3.8	制动	260
2.4.4	飞轮	263
2.4.4.1	绪言	263
2.4.4.2	变壁(臂) 厚飞轮	263
2.4.4.3	恒壁(臂) 厚飞轮	265
2.4.4.4	几何尺寸选择原则	266
2.4.5	转动与静止部件之间的导电装置	267
2.4.5.1	拱形换向器	267
2.4.5.2	绑环换向器	274
2.4.5.3	集电环	277

2.4.5.4	刷握	279
2.4.6	轴承与轴承座	279
2.4.6.1	滑动轴承	279
2.4.6.2	滚动轴承	286
2.4.6.3	轴承的绝缘	289
2.4.6.4	轴承支架	289
2.4.7	轴	295
2.4.7.1	确定轴的尺寸	295
2.4.7.2	轴系验算	301
2.4.7.3	扭转振动	302
2.4.7.4	弯曲振动	308
2.4.8	基础上的定子	310
2.4.8.1	近似公式	310
2.4.8.2	精确计算	312
2.4.8.3	磁极螺栓	316
2.4.8.4	热膨胀	317
2.4.8.5	耐压机座	317
2.4.8.6	耐震定子	317
2.4.9	电力机车牵引电动机的耐震定子	319
2.4.9.1	牵引电机的固有频率	319
2.4.9.2	干扰频率	322
2.4	机械设计计算的参考文献	323
2.5	电机的散热	327
2.5.1	冷却方法	327
2.5.1.1	外部冷却	327
2.5.1.2	管道冷却	328
2.5.1.3	内部冷却	328
2.5.2	冷却介质	330
2.5.3	冷却介质流	332
2.5.3.1	冷却介质流的负荷能力	332
2.5.3.2	海拔高度的影响	333
2.5.4	压力消耗	333
2.5.4.1	电机的压力消耗	334

2.5.4.2	流阻系数	334
2.5.4.3	旋转效应	336
2.5.4.4	旋转部件产生的压力	336
2.5.4.5	外部设备的压力消耗	337
2.5.4.6	自供风压	338
2.5.4.7	外供风压	339
2.5.5	热阻	340
2.5.5.1	热传导	340
2.5.5.2	对流	340
2.5.5.3	辐射	344
2.5.5.4	露天辐射换热	345
2.5.6	通风损耗	346
2.5.7	冷却方式与冷却介质的代号	346
2.5.7.1	代号概述	347
2.5.7.2	完整代号	348
2.5	电机的散热的参考文献	349
2.6	环境保护问题	349
2.6.1	噪声	349
2.6.1.1	噪声评定与测量	350
2.6.1.2	旋转电机的噪声源	351
2.6.1.3	振动性能与强迫振动	358
2.6.1.4	轴承与电刷的噪声	362
2.6.1.5	削弱噪声的辅助措施	363
2.6.1.6	噪声限值	366
2.6.1	环境问题(噪声)的参考文献	366
2.6.2	无线电干扰的抑制	368
2.6.2.1	定义	368
2.6.2.2	无线电干扰源	369
2.6.2.3	有关规程, 干扰防护符号	369
2.6.2.4	频率范围, 传播, 测量	370
2.6.2.5	极限值	371
2.6.2.6	干扰的抑制	372
2.6.2.7	抗干扰电路的实例	375

2.6.2 无线电干扰的抑制的参考文献	376
3. 电机的结构、特性参数和工作特性	378
3.1 直流电机	378
3.1.1 直流电机结构	378
3.1.1.1 定子	379
3.1.1.2 转子结构, 电枢绕组	381
3.1.1.3 换向器	386
3.1.2 工作原理与特性参数	387
3.1.2.1 电枢磁通	387
3.1.2.2 电压与转速	391
3.1.2.3 转矩与功率	392
3.1.2.4 片间电压	392
3.1.2.5 换向	393
3.1.2.6 损耗, 发热, 效率	396
3.1.2.7 时间常数	398
3.1.2.8 利用系数, 极限功率	400
3.1.3 直流电机分类	404
3.1.3.1 励磁的可能方式	404
3.1.3.2 直流电机的原理电路	404
3.1.3.3 发电机, 电动机	404
3.1.4 直流电动机的工作特性	407
3.1.4.1 变速的可能方式	408
3.1.4.2 负载图(或可能运行范围)	408
3.1.4.3 静态转速特性曲线	409
3.1.4.4 转速与转矩的四象限图解	411
3.1.4.5 动态特性	412
3.1.5 变流器馈电	414
3.1.5.1 常用电路	415
3.1.5.2 电压谐波与电流谐波	415
3.1.5.3 变流器馈电对直流电动机运行的影响	418
3.1.5.4 无平波电抗器的变流器馈电的直流电动机	420
3.2 同步电机	421
3.2.1 概述	421

3.2.1.1	规范, 名词说明, 运行条件	421
3.2.1.2	特性量	422
3.2.2	机械结构	426
3.2.2.1	凸极电机	427
3.2.2.2	隐极电机	431
3.2.2.3	轴电压与轴电流	435
3.2.2.4	电磁拉力	436
3.2.3	工作特性的计算	436
3.2.3.1	双轴理论	436
3.2.3.2	运算 电感, 电抗和时间常数	442
3.2.3.3	等效电路图	444
3.2.3.4	阻尼绕组	445
3.2.4	特性参数	446
3.2.4.1	电感, 互感, 电抗	446
3.2.4.2	电阻	454
3.2.4.3	时间常数	455
3.2.4.4	额定起动时间与惯性常数	456
3.2.4.5	空载短路比	457
3.2.4.6	相对值	457
3.2.4.7	漏磁系数与屏蔽系数	457
3.2.5	同步电机的稳态运行	461
3.2.5.1	相量图与电流圆图	461
3.2.5.2	转矩与稳态稳定	463
3.2.5.3	功率圆图	464
3.2.5.4	特性曲线	465
3.2.5.5	移相运行	467
3.2.5.6	持续不对称运行	467
3.2.6	瞬变过程	468
3.2.6.1	三相绕组瞬时短路	469
3.2.6.2	两相绕组瞬时短路	470
3.2.6.3	一相短路与双重接地	472
3.2.6.4	异步运行	473
3.2.6.5	周期性的转速变化 (振荡)	475

3.2.6.6	动态稳定	478
3.2.6.7	负载变动	479
3.2.7	起动与制动	479
3.2.7.1	异步起动	480
3.2.7.2	同步起动	480
3.2.7.3	部分绕组起动	481
3.2.7.4	电制动	481
3.2.8	励磁	482
3.2.8.1	带串接静止二极管的三相交流励磁机	482
3.2.8.2	带旋转二极管的三相交流励磁机	483
3.2.8.3	静止晶间管励磁	484
3.2.8.4	线端自励(复励)	484
3.2.8.5	非复励发电机的励磁增长速度	485
3.3	异步电机	486
3.3.1	多相异步电机工作原理	486
3.3.1.1	结构	486
3.3.1.2	电压方程	488
3.3.1.3	等效电路图	492
3.3.1.4	功率与转矩	494
3.3.1.5	恒速运行	499
3.3.1.6	圆图	503
3.3.1.7	损耗与效率	516
3.3.2	深槽转子三相异步电机	519
3.3.2.1	笼形绕组的结构和特性参数	519
3.3.2.2	电压方程(与无挤流效应的电机对照)	523
3.3.2.3	电流圆图	524
3.3.2.4	加速性能	526
3.3.2.5	降低起动电流的方法	527
3.3.3	三相异步电动机的调速	529
3.3.3.1	绕线型转子电动机串接可调变阻器调速	529
3.3.3.2	直流串级调速	533
3.3.3.3	次同步整流器串级调速	535
3.3.3.4	变极调速	536

3.3.3.5	变频调速	539
3.3.4	三相异步电动机的特殊应用	540
3.3.4.1	异步发电机	540
3.3.4.2	感应调压器	543
3.3.4.3	变频器	544
3.3.5	单相异步电动机	549
3.3.5.1	单相与三相异步电动机间的物理概念的关系	549
3.3.5.2	电流与电压方程及其对称分量	549
3.3.5.3	圆图	553
3.3.5.4	转矩	555
3.3.5.5	起动电路	556
3.3.6	三相异步电机动态的基本问题	556
3.4	小功率电动机	559
3.4.1	带电容器或高电阻辅助绕阻的单相异步电动机	559
3.4.1.1	结构	559
3.4.1.2	基本原理	560
3.4.1.3	单相异步电动机设计参考值的选择	567
3.4.1.4	特殊接线	569
3.4.2	罩极电动机	570
3.4.2.1	结构与工作原理	570
3.4.2.2	工作特性	573
3.4.2.3	脉动转矩	574
3.4.2.4	特殊结构	574
3.4.3	单相同步电动机	575
3.4.3.1	磁阻电动机	575
3.4.3.2	磁滞电动机	577
3.4.3.3	极化同步电动机	580
3.4.4	单相串励电动机(交直流两用电机)	581
3.4.4.1	结构	581
3.4.4.2	基本原理	582
3.4.4.3	工作特性	584
3.4.4.4	专用接线方式	585
3.4.5	小功率直流电动机	586