

电工高新技术丛书

中国电工技术学会
编

- 电力电子技术的最新发展
- 电动机的新发展
- 电动汽车

第6分册



机械工业出版社
China Machine Press

电工高新技术丛书

第 6 分册

- 电力电子技术的最新发展
- 电动机的新发展
- 电动汽车

中国电工技术学会 编



机械工业出版社

电工高新技术丛书共六个分册，本书为第6分册。本分册共分三个专题，其技术内容包括电力电子技术的最新发展；电动机的新发展和电动汽车三个部分。

随着高新技术对传统的电工技术的渗透，电工技术的更新和创造日新月异，读者可从这套书中开拓视野、增长才智、启迪借鉴并从中汲取营养，以促进事业的发展 and 再创造。

本丛书的内容新颖、文字深入浅出、适于中级以上的工程技术人员、国家公务员、企事业单位技术管理人员及工科院校的师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工高新技术丛书/中国电工技术学会编. —北京: 机械工业出版社, 2000.3

ISBN 7-111-07898-5

I. 电… II. 中… III. 电工技术: 高技术—丛书
IV. TM-51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 03631 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 牛新国 版式设计: 冉晓华 责任校对: 程俊巧

封面设计: 姚毅 责任印制: 何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 1 月第 1 版·第 2 次印刷

787mm×1092mm¹/₃₂·11.875 印张·253 千字

2 001—3 500 册

定价: 21.00 元 (全套 6 册, 共 108.00 元)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

《电工高新技术丛书》编辑委员会名单

主 任：赵明生

常务副主任：张林昌

副 主 任：赖 坚 严陆光 姚福生 石定寰

周鹤良 冯冠平 陈瑞藻

委 员：汪 耕 梁维燕 万遇良 吴维韩

王赞基 林良真 陈伯时 吴济钧

罗命钧 李方训 胡必权

主 编：张林昌

副 主 编：万遇良 吴维韩 李方训 满慧文

编辑部主任：王玉洁

编辑部副主任：王琳

前 言

人类历史的发展证明，科学精神、科学思想和科学方法在物质文明和精神文明建设中发挥着先导和支柱的作用。中国电工技术学会受科学技术部高新技术发展及产业化司委托，组织编写《电工高新技术丛书》，以下简称《丛书》。我会一贯具有面向人民群众宣传普及科学知识的光荣传统，最近几年来，我们以《中共中央、国务院关于加强科学普及工作的若干意见》为指导思想，经过各方面专家、教授的努力，着手编辑出版《电工高新技术丛书》（以下简称《丛书》），面向各级领导干部、技术人员普及科学知识，弘扬科学精神，提倡科学态度，传播科学思想。

本套《丛书》分为六个分册，内容包括新能源发电技术、超导技术、智能控制技术、电气设备状态监测技术、电力电子技术、电动车技术等。每个分册约 25 万字，由若干个相近专题组成，内容新颖，通俗易懂，文字精炼，引人入胜。《丛书》的定位为高科技科普读物，包括新理论、新产品、新方法、新技术、新工艺、新材料，主要涉及国际上技术已经成熟，且国内尚未完全掌握或属于世界电工技术的前沿课题，这样，保证了《丛书》普及高新技术的特点。

《丛书》的出版，对宣传电工技术最新发展动态，对加强技术创新，发展高科技，推动生产力跨越式发展，具有十分重要的现实意义和深远影响。《丛书》的出版，为国家公务员、科技人员提供一个了解当今世界先进电工技术的窗

口，使读者开拓视野、增长才智，起到启迪借鉴、触类旁通的作用。

《丛书》的出版，在列选题、写作及编辑过程中得到了清华大学、北京邮电大学、北方交通大学、中国科学院电工研究所、天津电源研究所和文章作者的支持，在《丛书》出版之际，谨向支持的部门、单位和作者致以深切的谢意。

由于时间所限，还有其他一些电工高新技术没有编入本丛书，编写中也难免会出现某些差错，欢迎读者给予批评指正。

中国电工技术学会

2000年3月

目 录

前言

I 电力电子技术的最新发展

序言	2
概述	3
第 1 章 高频电力电子技术及其应用	14
1.1 场控型器件的最新进展	17
1.1.1 第五代功率 MOSFET	17
1.1.2 用做同步整流器的 MOSFET	22
1.1.3 耐雪崩能量的 MOSFET	23
1.1.4 IGBT 的最新进展	24
1.1.5 高性能快恢复整流器件	26
1.2 高频电力电子技术实施中的几个问题	29
1.2.1 工频变压器革除原理	29
1.2.2 高频电力电子技术实施中的问题	29
1.2.3 讨论几个问题	30
1.3 高频逆变的最新应用	37
1.3.1 50kHz/500~1000kW IGBI 超音频感应 加热电源	37
1.3.2 绿色照明工程实施中的电子镇流器	39
1.4 高频化电源的最新进展	45
1.4.1 无速度传感器的交流电动机变频调速	46

1.4.2	无电解电容、能量双向流动的变频调速系统	49
1.4.3	高性能的高压变频调速装置	50
1.4.4	具有良好非线性负载适应能力的高性能 UPS 电源	53
1.4.5	代表焊机电源发展方向的高频逆变 - 整流式焊接电源	59
1.4.6	开关电源的未来发展	62
	参考文献	68
第 2 章	软开关技术	71
2.1	软开关技术的基本概念	72
2.2	几种典型软开关电路的简单工作原理及特点	74
2.2.1	准谐振软开关 (QR-ZVS/ZCS) 电路	74
2.2.2	零电压/零电流过渡软开关 (ZVT/ZCT) 电路	76
2.2.3	谐振环技术	78
2.2.4	能量双向流动的软开关变流系统	82
2.3	软开关技术的几个应用例子	84
2.3.1	(120~150W/in ³) 高功率密度 DC/DC 开关电源	84
2.3.2	单相全桥相移软开关技术的应用	87
2.3.3	软开关技术在医用 X 射线机电源中的应用	88
2.4	软开关技术的研究动向	90
	参考文献	91
第 3 章	有源功率因数校正及有源滤波技术	94
3.1	有源功率因数校正的基本概念和原理	95
3.1.1	网侧功率因数定义	95
3.1.2	有源功率因数校正器所担负的基本任务	97
3.1.3	有源功率因数校正器工作原理	98
3.1.4	单相有源功率因数校正芯片	100

3.2 三相功率因数校正技术	101
3.2.1 三相功率因数校正技术的特点	101
3.2.2 几种典型的三相有源功率因数校正电路拓扑的特点简介	101
3.3 有源滤波技术	106
3.3.1 有源滤波技术及其工作原理	106
3.3.2 几种典型的有源滤波器的特点	108
3.3.3 关于谐波综合治理	112
3.4 矩阵变换器	113
参考文献	116
第4章 功率组合技术	121
4.1 程控一次开关电源——高可靠直流电源的扩容	121
4.1.1 程控交换机对程控电源的要求	121
4.1.2 扩容措施——均流原理	122
4.2 交流电源的扩容	124
4.2.1 不间断电源(UPS)的并联	124
4.2.2 感应加热电源的并联	125
4.2.3 SVG(静止无功发生器)的扩容措施	126
参考文献	129
第5章 电力电子系统的积木式集成技术	130
5.1 积木式集成技术思想产生的背景	130
5.2 积木式集成技术的基本思想及构成设想	131
5.3 积木式集成技术的应用前景	133
参考文献	134
编后话	135

II 电动机的新发展

序言	138
----------	-----

第 1 部分 同步电动机

第 1 章 交 - 直 - 交自控式同步电动机	140
-------------------------------	-----

1.1 交 - 直 - 交自控式同步电动机的基本结构和 工作原理	140
1.1.1 电机定子磁动势分析	141
1.1.2 转子位置与定子通电相的配合	143
1.2 转子位置检测器	145
1.2.1 转子位置检测器简介	145
1.2.2 转子位置检测器产生触发脉冲信号	147
1.3 逆变器的换相	148
1.3.1 反电动势换相法	148
1.3.2 断续换相法	150
1.4 交 - 直 - 交自控式同步电动机的运行性能	151
1.4.1 转速特性	151
1.4.2 转矩公式和机械特性	152
1.4.3 调速方法	153
1.4.4 电动机的过载能力	154
1.5 交 - 直 - 交电流型自控式同步电动机的调速系统	155
1.5.1 系统的构成	155
1.5.2 气隙磁通控制及换相剩余角恒定控制	157
1.6 同步电动机的软起动	158
1.7 交直交自控式同步电动机的应用和发展	159

第 2 章 交 - 交变频同步电动机	162
--------------------------	-----

2.1 交 - 交变频同步电动机的工作原理	162
2.2 交 - 交变频磁场定向控制同步电动机调速系统	166

2.2.1 交-交变频同步电动机的矢量控制	166
2.2.2 交-交变频气隙磁场定向控制同步电机 调速系统	168
2.3 交-交变频同步电动机调速系统的特殊问题	170
2.3.1 谐波问题	170
2.3.2 同步电动机阻尼绕组问题	171
2.4 交-交变频同步电动机调速系统的应用与发展	171
第3章 永磁无刷电动机	173
3.1 永磁无刷电动机的基本结构和工作原理	173
3.2 永磁无刷电动机的基本电磁关系	175
3.3 脉宽调制(PWM)改变逆变器的输出	176
3.4 方波电机与正弦波电机的转矩比较	178
3.5 弱磁调速	180
3.6 具有附加轴向磁场的混合式永磁电动机	181
3.7 永磁无刷电机的应用及发展	181
第4章 永磁磁阻同步电动机	183
4.1 永磁磁阻同步电动机的特点	183
4.2 磁铁转矩和磁阻转矩	184
4.3 永磁体层数不同对电机性能的影响	185
第2部分 异步电动机	
第5章 异步电动机的驱动和控制	188
5.1 变频调速的机械特性	189
5.1.1 基频以下的恒磁通变频调速	189
5.1.2 基频以上的恒功率变频调速	190
5.2 变频变换器分类及比较	191
5.2.1 脉冲宽度调制电压源逆变器(PWM-VSI)	192

5.2.2 电压源逆变器	194
5.2.3 电流源逆变器	194
5.3 磁场定位矢量控制	196
5.4 智能控制	198
5.4.1 模糊控制	199
5.4.2 神经网络控制	200
第6章 逆变器供电下的异步电机设计和分析	202
6.1 运行条件 and 设计策略	202
6.2 最优设计原理	204
6.2.1 主要尺寸公式优化	204
6.2.2 转子电阻与漏抗	205
6.3 计算机辅助设计和分析	207
6.4 设计特性比较	208
6.4.1 转子外径和体积差与额定功率	208
6.4.2 转子电阻和漏抗与额定功率	209
6.4.3 最大转矩、额定转差与额定功率	209
第7章 异步电机的变异——双馈电机	211
7.1 双馈无刷磁阻电机的结构与原理	212
7.2 DFBRM 运行特性	214
7.3 双馈无刷磁阻电机的优缺点	217
7.4 工业应用	217
第8章 异步电动机与电力电子控制系统集成化	219
8.1 集成系统的特征及基本构成	219
8.2 集成系统中的异步电机高频模型	221
8.3 最优集成技术	222
8.3.1 目标函数	222
8.3.2 约束条件	223

8.3.3 变量	223
8.4 集成系统故障容错技术	224

第3部分 开关磁阻电动机

第9章 开关磁阻电动机驱动系统的基本

工作原理	227
9.1 开关磁阻电动机驱动系统的构成	227
9.1.1 开关磁阻电动机	228
9.1.2 功率变换器	229
9.1.3 控制器	231
9.1.4 位置检测器	231
9.2 开关磁阻电动机驱动系统的基本工作原理	232
9.3 开关磁阻电动机驱动系统的特点	237

第10章 开关磁阻电动机的电磁关系

10.1 开关磁阻电动机的基本电磁关系	240
10.1.1 绕组磁链	240
10.1.2 电磁转矩	242
10.1.3 线性化的电磁关系	243
10.2 开关磁阻电动机驱动系统的机械特性	248

第11章 开关磁阻电动机驱动系统的运行控制

11.1 开关磁阻电动机驱动系统运行方式的控制	251
11.1.1 低速斩波控制	251
11.1.2 高速角度位置控制	252
11.1.3 调压调速控制	253
11.1.4 起动运行控制	254
11.1.5 制动运行控制	256

11.1.6 正反转运行控制	257
11.2 开关磁阻电动机调速系统的控制策略	257
11.3 开关磁阻电动机微机数字控制系统	259

第 12 章 开关磁阻电动机驱动系统的应用和

发展方向	261
12.1 开关磁阻电动机驱动系统的应用	261
12.2 开关磁阻电动机驱动系统存在的问题与 发展方向	262
参考文献	265

III 电 动 汽 车

第 1 章 概述

1.1 电动汽车概述	269
1.2 电动汽车的发展历史	270
1.3 发展电动汽车的意义及困难	272
1.3.1 电动汽车本身不排放有害气体, 可减少汽车 对环境的污染	272
1.3.2 解除人们对石油资源日渐枯竭的担心	273
1.3.3 充分利用晚间富余电力, 提高经济效益	274
1.3.4 提高能源利用效率	274
1.3.5 促进科技进步和产业结构的改组	275
1.4 电动汽车在一些国家投入小规模商业化生产及实际 应用探索的情况	276
1.4.1 美国	277
1.4.2 法国	278
1.4.3 日本	280
1.4.4 德国	281

1.5 我国电动汽车的研究和发展	284
第2章 电动汽车整车结构	287
2.1 电动汽车分类及整车结构特点	287
2.2 改装型电动汽车	288
2.2.1 动力-驱动系统的优化匹配	289
2.2.2 总体布置设计	290
2.2.3 制动能量回馈与真空助力制动系统	292
2.2.4 减少空气阻力和滚动阻力	295
2.2.5 直流至直流(DC-DC)充电器	296
2.2.6 仪表及监控系统	297
2.2.7 整车电器的安全保护系统	298
2.2.8 空调与采暖系统	298
2.3 全新设计型电动汽车	298
2.4 混合动力电动汽车	301
2.4.1 什么是混合动力电动汽车	302
2.4.2 混合动力电动汽车的优点	302
2.4.3 混合动力电动汽车的驱动系统	303
2.4.4 混合动力电动汽车的关键技术	307
参考文献	308
第3章 电动汽车电驱动系统	309
3.1 概述	309
3.2 直流电机驱动系统	311
3.2.1 直流电机的基本结构与工作原理	311
3.2.2 直流电机斩波控制调速原理	313
3.2.3 斩波控制器的电流闭环控制及对应的机械特性	315
3.2.4 不同励磁方式的直流电机调速系统	317
3.3 无刷直流电机驱动系统	317
3.3.1 无刷直流电机的结构与工作原理	318

3.3.2 无刷直流电机的控制	320
3.4 异步电机驱动系统	323
3.4.1 异步电动机的结构和工作原理	323
3.4.2 异步电机调速方法	324
3.4.3 异步电机变频调速	324
3.4.4 转差频率控制	325
3.4.5 异步电机矢量控制	327
3.4.6 直接转矩控制	331
3.5 开关磁阻电机驱动系统	332
3.5.1 开关磁阻电机的结构和工作原理	332
3.5.2 开关磁阻电机的转矩控制原理	333
3.5.3 开关磁阻电机调控系统主电路	334
3.6 四种电驱动系统的综合性能比较	337
3.7 电动汽车电驱动系统的研究方向	338
参考文献	339
第4章 电动汽车电源系统	340
4.1 概述	340
4.2 电动汽车电池	340
4.2.1 蓄电池的电特性	341
4.2.2 铅酸蓄电池	344
4.2.3 镉镍 (Ni-Cd) 电池	347
4.2.4 氢镍 (MH-Ni) 电池	350
4.2.5 燃料电池	351
4.2.6 其他电池	352
4.3 电动汽车电池管理系统	353
4.4 电动汽车电池充电系统	354
4.4.1 蓄电池的充放电特性	354
4.4.2 蓄电池的充电方法	356
4.4.3 充电系统	358
参考文献	361

I 电力电子技术的最新发展

清华大学 赵良炳 李鹤轩 杨德刚
杨 勇