

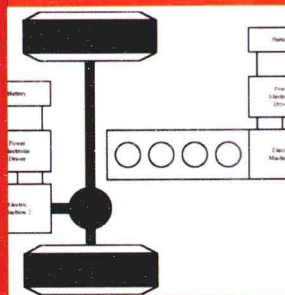


汽车先进技术译丛

汽车电力电子装置 与电机驱动器手册

HANDBOOK OF
AUTOMOTIVE POWER
ELECTRONICS AND MOTOR DRIVES

(美) Ali Emadi 主编
孙力 田光宇 杨正林 刘闯 姜岩峰 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车先进技术译丛

汽车电力电子装置 与电机驱动器手册

(美) Ali Emadi 主编

孙 力 田光宇 杨正林 刘 闯 姜岩峰 译



机械工业出版社

本手册共五个部分。介绍了传统汽车的电气系统、先进汽车的新型电气系统构架以及汽车控制网络协议；汽车功率半导体器件、传感器以及汽车电子的ESD防护措施；DC/DC变换器、AC/DC整流器、DC/AC逆变器、AC/AC变换器等汽车功率电子转换器；有刷直流电机、感应电动机、开关磁阻电机、无刷直流电机的驱动器；电动汽车的主要部件以及蓄电池、超级电容器、飞轮等储能系统；混合动力电动汽车的构型及其驱动系统，以及混合动力和燃料电池电动汽车的控制。本手册还介绍了电力电子技术在汽车转向、车辆安全和乘员安全中的应用，为与汽车相关的工业界、政府和学术界的工程师、学生、研究人员以及管理人员提供了一个关于汽车电气系统的全面参考。

Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives/by Ali Emadi/IS-NB; 978-0-8247-2361-3

Copyright© 2005 by CRC Press.

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书中文简体翻译版权由机械工业出版社独家出版并在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal.

本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签，无标签者不得销售。

本书版权登记号：图字 01-2010-5005

图书在版编目(CIP)数据

汽车电力电子装置与电机驱动器手册/(美)艾默迪
(Emadi,A.)主编;孙力等译. —北京:机械工业出版社,
2013.10

(汽车先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-43902-8

I. ①汽… II. ①艾…②孙… III. ①汽车—电气设备—技术手册②汽车—电力传动—传动机构—技术手册 IV. ①U463.6-62②U463.23-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第205580号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:徐巍 责任编辑:徐巍 王琪 版式设计:霍永明
责任校对:肖琳 封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

北京铭成印刷有限公司印刷

2014年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·34.5印张·858千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43902-8

定价:158.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版



译者的话

电动汽车与传统汽车最显著的区别在于它的驱动动力。Taylor&Francis 公司组织出版的《汽车电力电子技术及电机驱动手册》，全面、深入地介绍了汽车电力电子及电机驱动的理论、系统、部件及应用，及时满足了电动汽车技术领域对驱动动力设计的知识需求。

作为手册，本著作共有 40 位作者，不仅有专注于电力电子和电机工程方面的教授学者，而且还有一批正处于研发一线的工程专家。这使得本著作不仅理论严谨、论述清晰，而且给出了多例电动汽车动力系统部件最新的研发成果。因此，该书不仅对我国电动汽车行业的工程技术人员有着重要的参考价值，而且可以作为相关专业课程的教材或参考书。

本书由田光宇翻译了第 1~5 章和第 25~31 章，姜岩峰翻译了第 6 章，孙力翻译了第 7~16 章，刘闯翻译了第 20~22 章，杨正林翻译了第 17~19 章、第 23 章和第 24 章。在此过程中得到许多行业专家的帮助，在此深表感谢。

译者在翻译过程中力求忠实于原著，但由于译者水平所限，错讹之处恳请广大读者给予指正为盼。

译者

前 言

车灯和起动机是汽车上最早的电气负载。然而，随着汽车电气系统的引入，汽车的电气功率需求在过去的几十年里不断增长。事实上，降低油耗、减少排放以及提高性能和可靠性的需求驱使汽车工业寻求辅助设备和发动机附件的电气化。结果是，越来越多的传统机械及液压、气动载荷被电气驱动系统所取代。另外，对改善舒适性、便利性、娱乐性、安全性、通信、可维护性，提高支持能力、生存能力和降低运行费用的要求也需要更多的汽车电气系统。在先进汽车中，电子节气门、动力转向、防抱死制动、后轮转向、空气调节、座椅高度调节、主动悬架以及电加热催化转化器都得益于电气系统。因此，电气系统需要更大的容量和更复杂的配置以满足先进汽车不断增加的用电需求。在这些系统中，大多数负载以及发电和配电系统都以功率变换器和电机驱动器的形式出现。

《汽车电力电子技术与电机驱动手册》为与汽车相关的工业界、政府和学术界的工程师、学生、研究人员以及管理人员提供了一个关于汽车电气系统的全面参考。

本手册共五个部分。第一部分介绍了汽车动力系统；第二部分介绍了车用半导体装置、传感器以及其他部件；第三部分介绍了各种不同的功率变换器；第四部分介绍了各种电机及其驱动器；第五部分介绍了一些新型的电气负载，同时还介绍了车用电池技术。

感谢 Taylor & Francis 公司全体员工，特别是 Nora Konopka, Jessica Vakili 和 Susan Fox 付出的劳动和帮助。

Ali Emadi

目 录

译者的话
前言

第一篇 汽车动力系统

第 1 章 传统汽车	2
1.1 引言	2
1.2 电气系统的演进	2
1.2.1 控制策略和电路拓扑结构	3
1.2.2 功率总线拓扑结构	3
1.2.3 部件	4
1.3 传统的汽车电气系统	4
1.3.1 电池及其充电系统	4
1.3.2 起动机系统	4
1.3.3 管理系统	4
1.4 电气连接系统	4
1.4.1 熔丝	6
1.4.2 不同保护装置的性能比较	8
1.5 负载控制：汽车控制网络协议	9
1.5.1 控制器局域网(CAN 协议)	9
1.5.2 区域互连网络(LIN 协议)	10
1.5.3 Byteflight 协议	10
1.5.4 时间触发协议(TTP/C)	10
1.6 新的电气系统构架	10
1.6.1 电气安全	11
1.6.2 电压对部件的影响	11
1.7 其他电气系统构架	11
1.7.1 高频交流总线系统	11
1.7.2 双电压制式直流总线	12
参考文献	13
第 2 章 混合动力电动汽车	14
2.1 并联式构型	18
2.2 串联式构型	21
2.3 混联式构型	22
2.4 插电式混合动力	24

参考文献	26
第3章 混合动力驱动系统	27
3.1 基本概念	27
3.2 串联混合动力驱动系统	28
3.3 并联混合动力驱动系统	29
3.3.1 采用转矩耦合的并联混合动力驱动系统	30
3.3.2 采用转速耦合的并联混合动力驱动系统	33
3.4 采用可选转矩耦合或转速耦合装置的驱动系统	35
3.5 采用转矩耦合和转速耦合的并联-串联混合动力驱动系统	36
3.6 燃料电池驱动的混合动力系统	37
参考文献	38
第4章 电动汽车	40
4.1 引言	40
4.2 混合动力电动汽车	41
4.2.1 并联式混合动力	41
4.2.2 串联式混合动力	41
4.3 电动汽车的主要部件	41
4.3.1 电机	41
4.3.2 速度控制器	42
4.3.3 DC/DC 变换器	42
4.4 电动汽车的主要安全部件	43
4.5 仪表	43
4.6 电动汽车的主要辅件	44
4.7 电动汽车上能量存储装置的类型	46
4.7.1 蓄电池	46
4.7.2 当今可用的电池类型	47
4.7.3 飞轮	50
4.7.4 超级电容器	50
4.8 排放性能	50
4.9 太阳能汽车	51
4.10 燃料电池汽车	52
4.10.1 概述	52
4.10.2 燃料电池	53
4.11 电动汽车参考文献调研	54
参考文献	55
第5章 汽车系统功率管理和分配的优化	88
5.1 引言	88
5.2 汽车功率/能量管理和分配架构	89
5.2.1 发电装置	89

5.2.2	能量存储	90
5.2.3	功率总线	90
5.2.4	电气负载	91
5.2.5	电力电子	91
5.2.6	功率管理控制器	91
5.3	优化的功率管理系统策略	91
5.3.1	动态资源分配	92
5.3.2	汽车部件的实际约束	93
5.3.3	功率不间断要求	93
5.3.4	电能质量	93
5.3.5	系统稳定性	93
5.3.6	故障诊断和预测	93
5.4	示例：基于博弈论优化的 HEV 管理和控制策略	94
5.4.1	系统动力学	94
5.4.2	策略设计	95
5.4.3	博弈论的方法	95
5.4.4	仿真结果	97
5.5	总结	99
	参考文献	99

第二篇 汽车半导体器件、组件及传感器

第 6 章	汽车功率半导体器件	102
6.1	引言	102
6.2	二极管：整流、续流和钳位器件	104
6.2.1	整流二极管	104
6.2.2	续流二极管	105
6.2.3	稳压二极管	107
6.2.4	肖特基二极管	107
6.3	功率 MOSFET：低压负载驱动	108
6.3.1	MOSFET 基础	109
6.3.2	MOSFET 特性	111
6.4	IGBT：高压功率开关	119
6.4.1	IGBT 基础	120
6.4.2	IGBT 功率模块	123
6.4.3	点火装置的 IGBT	124
6.5	功率集成电路和智能功率器件	126
6.6	新兴器件技术：超结和碳化硅器件	127
6.7	功率损耗和热管理	130
6.8	总结	131

参考文献	132
第 7 章 超级电容器	133
7.1 双电层电容器理论	134
7.2 模型和单元均衡	139
7.3 容量准则	143
7.4 转换器连接	145
7.5 超级电容器与电池组合	149
参考文献	152
第 8 章 飞轮	154
8.1 飞轮原理	154
8.2 飞轮在混合动力汽车中的应用	156
8.3 储能系统的展望	157
参考文献	157
第 9 章 汽车电子的 ESD 防护	159
9.1 引言	159
9.2 ESD 失效和 ESD 测试模型	159
9.3 片上 ESD 防护	163
参考文献	170
第 10 章 传感器	172
10.1 引言	172
10.2 电子控制单元的架构	173
10.3 电压和电流测量	175
10.4 温度	177
10.5 加速度	179
10.6 压力	179
10.7 速度、位置和位移	180
10.8 其他传感器	181
10.9 汽车环境的可靠性约束	181
10.10 总结	181
参考文献	182

第三篇 汽车功率电子变换器

第 11 章 DC/DC 变换器	186
11.1 使用 DC/DC 变换器的原因	186
11.2 DC/DC 变换器基础	187
11.3 DC/DC 变换器类型	188
11.4 降压、升压、降压-升压变换器的共同点	188
11.5 降压变换器	192
11.6 升压变换器	193

11.7	降压-升压变换器	194
11.8	隔离的逆变器驱动的变换器	195
11.9	推挽式变换器	195
11.10	半桥式变换器	196
11.11	全桥式变换器	197
11.12	其他变换器类型	197
11.13	控制	198
11.14	基本控制电路	199
11.15	需要考虑的重点	202
11.16	仿真 VS 分析方法	203
11.17	损耗计算	203
11.18	功率器件选择	203
11.19	EMI	203
11.20	其他实用的变换器开发中考量事项	204
	参考文献	204
第 12 章	AC/DC 整流器	206
12.1	二极管整流器	206
12.1.1	主要特性和电路结构	206
12.1.2	三相全桥二极管整流器分析	206
12.1.3	二极管整流器的输入相电流和输出电流的分析	209
12.1.4	直流环节功率的计算	209
12.1.5	不同的负载条件下直流环节电容的计算	210
12.1.6	动态制动单元设计	213
12.2	晶闸管整流器	213
12.2.1	拓扑结构与工作模式	213
12.2.2	触发延迟角的控制方案	214
12.2.3	三相全桥晶闸管整流器的分析	216
	参考文献	219
第 13 章	非平衡运行的三相电压型整流器	220
13.1	系统介绍和工作原理	220
13.2	非平衡运行条件下的 PWM 升压型整流器分析	222
13.2.1	非平衡运行条件下 PWM 升压型整流器的谐波抑制	224
13.3	消除非平衡运行条件下 PWM 升压型整流器的输入与输出端谐波的控制方案	224
13.3.1	输入电压非平衡但输入阻抗平衡时消除输入与输出端谐波的控制方案	224
13.3.2	输入电压不平衡且输入阻抗不平衡时 PWM 升压型整流器消除输入/输出谐波的控制方案推导	230
13.4	结论	235
	参考文献	236
第 14 章	DC/AC 逆变器	237

14.1 DC 到 AC 的变换	237
14.2 逆变器类型	239
14.3 电压源逆变器	239
14.3.1 单相逆变器	240
14.3.2 三相逆变器	245
14.4 电流源逆变器	248
14.5 控制技术	249
14.5.1 电压控制技术	249
14.5.2 电流控制技术	254
14.6 多电平逆变器	257
14.7 硬开关效应	259
14.7.1 开关损耗	260
14.7.2 开关应力	260
14.7.3 EMI 问题	260
14.7.4 对绝缘性能的影响	260
14.7.5 电机轴承电流	260
14.7.6 电机端子过电压	260
14.8 谐振逆变器	261
14.8.1 软开关原理	261
14.8.2 谐振直流环节逆变器(RLDC)	261
14.9 汽车辅助电机的控制	262
14.9.1 换向器电机	263
14.9.2 开关换向电机	263
术语表	264
参考文献	265
第 15 章 AC/AC 变换器	266
15.1 引言	266
15.2 AC/AC 变换器拓扑结构	266
15.2.1 间接型 AC/AC 变换器	266
15.2.2 直接型 AC/AC 变换器	268
15.3 总结	275
参考文献	276
第 16 章 电力电子技术与混合动力和燃料电池电动汽车的控制	278
16.1 引言	278
16.2 混合动力汽车	278
16.2.1 串联式混合动力驱动系统	279
16.2.2 并联式混合动力驱动系统	280
16.3 燃料电池汽车	283
16.3.1 燃料电池汽车的驱动系统	284

16.3.2 燃料电池汽车动力系统注意事项	287
16.4 对电力电子技术的需求 ^[6,11,15]	287
16.5 驱动电机控制策略	289
16.5.1 转差频率控制	290
16.5.2 驱动电机的矢量控制	290
16.5.3 无传感器操作	291
16.6 串联式混合动力汽车的 APU 控制系统	292
16.7 燃料电池作为 APU 使用 ^[13,23,24]	293
参考文献	296
第四篇 汽车电机的驱动器	
第 17 章 汽车用有刷直流电机	300
17.1 运行基本原理	300
17.1.1 引言	300
17.1.2 有刷直流电动机驱动的转矩	303
17.1.3 温度对有刷直流电动机驱动的影响	304
17.2 串励直流电机驱动	308
第 18 章 感应电动机驱动	310
18.1 引言	310
18.2 感应电动机的转矩和转速控制	311
18.3 感应电动机电力电子控制基础	311
18.4 感应电动机 VCD 运行模式	313
18.5 感应电动机的标量和矢量控制原理	314
18.5.1 标量控制	314
18.5.2 感应电动机磁场定向控制(矢量控制)基本原理	315
18.6 电动汽车的感应电动机驱动	320
18.7 结论	321
附录 感应电动机的静态模型	321
参考文献	322
第 19 章 基于数字信号处理器的感应电动机驱动矢量控制	325
19.1 引言	325
19.2 空间矢量控制	325
19.3 实验结果	329
19.4 结论	331
参考文献	331
第 20 章 开关磁阻电机驱动控制系统	332
20.1 引言	332
20.2 历史背景	332
20.3 基本原理	333

20.4	SRM 驱动系统的控制原理	337
20.4.1	开环转矩控制策略	338
20.5	SRM 驱动的闭环转矩控制	341
20.6	SRM 闭环速度控制	343
20.7	工业应用：车辆冷却系统	344
	参考文献	345
第 21 章	开关磁阻电机的噪声和振动	346
21.1	引言	346
21.2	SRM 数值模型的模态分析	346
21.3	定子模态分析的有限元结果	347
21.4	低振动 SRM 设计选择	350
21.5	平滑壳体对谐振频率的影响	352
21.6	结论	354
	参考文献	354
第 22 章	电机的模型和参数辨识	355
22.1	引言	355
22.2	研究示例：噪声对于同步电机频域参数估计的影响	355
22.2.1	问题描述	355
22.2.2	参数估计方法	356
22.2.3	研究过程	358
22.2.4	结果分析	358
22.2.5	结论	363
22.3	实心转子同步电机参数的最大似然估计	363
22.3.1	简介	363
22.3.2	静态同步电机模型的时域参数计算	364
22.3.3	过程和测量中噪声的影响	364
22.3.4	参数计算的最大似然法	365
22.3.5	用 SSFR 测试数据的计算步骤	367
22.3.6	结果	367
22.4	感应电机的建模和参数确定	370
22.4.1	模型确定	370
22.4.2	参数评估	373
22.4.3	灵敏度分析	375
22.4.4	对工作条件的参数映射	376
22.4.5	磁心损耗计算	379
22.4.6	模型验证	381
22.4.7	结论	382
22.5	开关磁阻电机的建模与参数确定	384
22.5.1	简介	384

22.5.2	静态时 SRM 的电感模型	385
22.5.3	静态测试数据的参数确定	388
22.5.4	在线工作状态下 SRM 的电感模型	389
22.5.5	采用双层递归神经网络估算阻尼电流	391
22.5.6	估计结果和实验验证	392
22.5.7	结论	393
附录	.....	394
附录 A	.....	394
附录 B	.....	395
附录 C	.....	397
参考文献	.....	398
第 23 章	无刷直流电机及其驱动	405
23.1	BLDC 基本原理	405
23.2	控制原理和控制策略	406
23.3	转矩的产生	408
23.4	优点和缺点	410
23.5	转矩脉动	412
23.6	设计考虑	413
23.7	BLDC 的有限元分析和设计考虑	413
23.8	永久磁铁	413
23.9	BLDC 仿真模型	415
23.10	无传感器	420
参考文献	.....	421
第 24 章	电动汽车和混合动力汽车用电动机及其控制器的试验	423
24.1	引言	423
24.2	电动汽车标准化的现状	423
24.2.1	电动汽车和标准化 ^[1]	423
24.2.2	标准化机构在该领域的作用	424
24.2.3	汽车零部件的标准化	425
24.2.4	日本的标准化进程 ^[2]	425
24.3	使用电动机/发电机组的试验程序 ^[3]	427
24.3.1	电动机	427
24.3.2	控制器	427
24.3.3	试验程序的运用	428
24.3.4	型式试验项目的分析	428
24.4	采用涡流测功机的试验程序	429
24.4.1	试验策略	429
24.4.2	试验程序	429
24.4.3	关于试验程序的讨论	430

24.5 采用交流测功器的试验程序 ^[4]	430
24.5.1 试验策略	431
24.5.2 试验项目	431
24.5.3 试验程序	432
24.6 在车内环境中的电动机和控制器的试验	432
24.6.1 硬件在环的概念	432
24.6.2 硬件在环在电动机/控制器试验中的应用	432
24.6.3 试验说明	433
24.6.4 试验结果	434
24.7 总结	436
参考文献	436

第五篇 其他汽车应用

第 25 章 起动发电一体机	438
25.1 汽车上的 ISA 子系统	438
25.2 动力耦合架构	439
25.2.1 曲轴安装 ISA 构型	439
25.2.2 偏置安装 ISA 系统结构	440
25.3 ISA 系统的功能与性能	442
25.3.1 技术状况	443
25.3.2 ISA 子系统的功能	444
25.4 ISA 子系统的部件 ^[7]	449
25.4.1 双电压输出发电机	449
25.4.2 带 12V 抽头的 36V 电池	449
25.4.3 典型的 ISA 电气系统	449
25.4.4 带中性电感的多功能逆变器	450
25.4.5 电机	450
25.4.6 逆变器和整流器	466
25.4.7 DC/DC 变换器	469
25.5 ISA 的系统问题	471
25.5.1 能量存储系统和 ISA 系统	471
25.5.2 ISA 冷却方式	473
25.5.3 其他问题	475
25.6 总结	475
参考文献	476
第 26 章 具有容错功能的汽车用调速电机拖动系统	479
26.1 引言	479
26.1.1 可重组控制器	479
26.2 数字滞环调节	486

26.2.1 DDHR 的电流重构算法	486
参考文献	488
第 27 章 汽车转向系统	489
27.1 引言	489
27.2 转向系统	489
27.2.1 手动转向	489
27.2.2 液压助力转向	490
27.2.3 电液助力转向	491
27.2.4 电动助力转向	492
27.3 先进转向系统	493
27.3.1 四轮转向	493
27.3.2 下一代转向系统	493
参考文献	494
第 28 章 大电流的电机拖动：现代汽车技术的新挑战	495
28.1 背景	495
28.2 大电流电机拖动的电磁设计	496
28.3 多变换器系统的稳定性	498
28.4 能量转化	499
28.5 对控制的影响	500
第 29 章 电力电子技术在汽车及乘员安全上的应用	501
29.1 引言	501
29.2 汽车安全中的电力电子技术	501
29.2.1 CAN 总线在汽车电力电子模块网络上的应用	501
29.2.2 发动机安全系统	503
29.2.3 防盗报警系统	506
29.2.4 自适应巡航控制(ACC)	507
29.2.5 倒车传感及泊车系统	508
29.3 电力电子学在乘员安全中的应用	508
29.3.1 安全带控制系统	509
29.3.2 电动车窗安全系统	509
29.3.3 安全气囊	510
29.3.4 驾驶人辅助系统及疲劳监测	510
29.4 结论	511
参考文献	511
第 30 章 混合动力汽车的驱动和控制系统	514
30.1 引言	514
30.2 控制策略	515
30.2.1 恒温器式串联控制策略	516
30.2.2 功率跟随式串联控制策略	516

30.2.3	并联式内燃机辅助控制策略	517
30.2.4	并联式电机辅助控制策略	517
30.2.5	自适应控制策略	520
30.2.6	模糊控制策略	521
30.3	电力电子控制系统和控制策略	523
30.4	当今的混合动力汽车及其控制策略	526
30.4.1	本田 Insight 的控制策略	526
30.4.2	丰田 Prius 的控制策略	527
30.5	总结	527
	参考文献	527
第 31 章	车用电池技术	529
31.1	引言	529
31.1.1	电池技术	529
31.1.2	当前对汽车电池的要求	531
31.2	未来汽车电池	532
31.3	电池与超级电容器的结合	535
31.4	电池监测与充电控制	535
31.5	结论	536
	参考文献	536