



国际电气工程先进技术译丛

 Springer

# 先进电气驱动的 分析、建模与控制

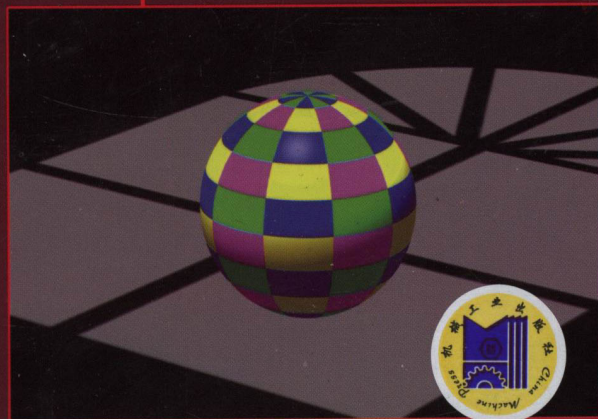
Advanced Electrical Drives:  
Analysis, Modeling, Control

(比) Rik De Doncker  
Duco W. J. Pulle 著

(荷) André Veltman

连晓峰 等译

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



## 关于本书

在本书中，针对所有类型的洛伦兹力电机，即直流电机、同步电机和异步电机，均采用一种独特方法来推导基于模型的转矩控制器。旋转变压器模型构成了该通用建模方法的基础，并最终产生通用磁场定向控制算法。在开关磁阻电机应用中，提出利用转矩观测器来实现直接转矩控制算法。

从教学角度来看，每章结束处都包括一些实例教程。希望读者通过实际完成这些教程，从而熟悉掌握驱动技术的各个方面。因此本书鼓励“实践教学”。本书中具有大量辅助教材以帮助教师教学，这不仅包括CASPOC开发环境下的所有教程，还包括书中所有图表。另外，对于经验丰富的驱动专家还可利用仿真工具设计各种电机驱动的高性能控制器。



国际电气工程先进技术译丛

# 先进电气驱动的分析、 建模与控制

(比) Rik De Doncker

(荷) Duco W. J. Pulle 著

(荷) André Veltman

连晓峰 等译



机械工业出版社

本书内容包括直流电机、交流同步电机、交流异步电机和开关磁阻电机的电机驱动建模与控制,同时还包括理想旋转变压器、通用磁场定向等概念。在内容安排上,力求逻辑性强、由浅入深、循序渐进。本书立足现代电机驱动系统常用的驱动控制技术,注重理论性、系统性和先进性的有机统一,结合典型应用实例,完整体现各种电机驱动控制技术的结构和控制方式。

本书可作为从事电气自动化专业的工程和研究人员的参考书,也可作为高等院校自动化、电气工程及机电一体化相关专业高年级本科生和研究生的教材。

Translation from the English language edition: “Advanced Electrical Drives Analysis, Modeling, Control” by Rik De Doncker, Duco W. J. Pulle and André Veltman.

Copyright © 2011, Springer Netherlands.

Springer Netherlands is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。版权所有,侵权必究。

本书版权登记号:图字 01-2012-1045 号

## 图书在版编目 (CIP) 数据

先进电气驱动的分析、建模与控制/(比)当克尔,(荷)泊勒,(荷)韦尔特曼著;连晓峰等译.—北京:机械工业出版社,2012.10

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:Advanced Electrical Drives: Analysis, Modeling, Control

ISBN 978-7-111-39975-9

I. ①先… II. ①当…②泊…③韦…④连… III. ①电机-驱动机构-研究  
IV. ①TM303.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 235934 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:顾谦 责任编辑:顾谦

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169 × 239mm · 22.5 印张 · 461 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-39975-9

定价:89.90 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

# 译者序

电机驱动系统特别是其驱动控制技术是 20 世纪后人类社会的重大技术进步之一，在工农业生产、国防工业、航天工业以及日常生活中都得到了广泛应用。随着现代技术的进步，驱动控制技术得到了快速发展。

本书首先介绍了功率变换器的核心拓扑结构，电流调节器的两种基本方法，即滞环控制和基于模型的控制，随后介绍了直流电机、交流同步电机、交流异步电机和开关磁阻电机等先进电机驱动的概念。

针对基于理想旋转变压器建模的各种电机，建立通用模块，以及相应的仿真环境。从电机建模与驱动控制两个角度分别介绍，让读者更容易理解。另外重点介绍了弱磁操作。

本书阐述了通用磁场定向 (UFO) 概念，展现了现代矢量控制的概念，并充分体现了所谓的定子磁链与转子磁链定向控制技术之间的无缝过渡。在本书的最后一部分，重点关注开关磁阻异步电机驱动器的动态建模。

同时，本书通过大量与理论中关键概念相关联的实例以及具体的仿真实现，使得读者更快、更深入地理解先进电机驱动理论。

作者 Rik De Doncker 教授是 IEEE 电力电子学会主席、德国 E.ON 能源研究中心主任、IEEE 工业应用学会能量转换系统分会前主席、欧洲电力电子与驱动协会理事等，在业界具有很高的威望。

本书第 1~第 4 章、第 7 章、第 9 章由连晓峰翻译，第 5 章由姚瑶、王宇龙翻译，第 6 章由唐丽娜、金成学翻译，第 8 章由马新宇、郭柯翻译，第 10 章由张晓伟、毋冬翻译。另外，贾琦、潘峰、闫峰、马新宇、盛璐、李林、赵炜、郝启文、蒋耘玮、姜恩月、刘萌、赵晓平、王磊也对本书的翻译提供了帮助。全书由连晓峰审校整理，并对原书中的错误进行批注修正。

另外，需要注意的是书中涉及的矢量并未按国家标准统一为黑斜体，而是保留了原书矢量带箭头形式。至于仿真图和仿真结果，为了保持其原貌，并未译其器件名称，另外其中的物理量也保持了正体，对于仿真图中的单位“rpm”也并未与正文所述“r/min”统一，请读者阅读时注意。

本书可作为从事电气自动化专业的工程和研究人员的参考书，也可作为高等院校自动化、电气工程及机电一体化相关专业高年级本科生和研究生的教材。

限于译者的经验和水平，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

译者

# 原 书 序

一本书的价值在很大程度上取决于其合理的结构安排可帮助读者掌握相关知识的深度和广度。本书的良好组织结构可帮助工程人员实现掌握先进电机驱动相关关键技术的目标。

为实现该目标，结构安排显得尤为重要。首先在前几章中介绍常用背景知识，包括功率变换器的核心拓扑结构以及理解和实际应用电力电子变换器所需的关键知识。同时也为掌握和理解电流调节器的两种基本方法奠定了坚实基础，即滞环控制技术和基于模型的控制技术。在全面且详细介绍功率变换器和电流调节器相关背景知识的基础上，本书其余章节着重介绍主要类型的电机所特有的先进电机驱动概念，如直流电机、交流同步电机、交流异步电机和磁阻开关电机。

常见结构往往具有很大优势。为建立用于建模和控制的通用基础，在此以洛伦兹力为主的电机，即直流电机、交流同步电机和交流异步电机等都利用理想旋转变压器进行建模。首先将其应用于直流电机，同样与交流电机的连接也非常清楚。利用通用模块使得不同类型电机的讨论保持统一，并直接与仿真建模环境兼容。类似结构也广泛用于电机模块之后的控制模块。

本书将电机建模与驱动控制分别独立介绍是十分有利的。以从经典驱动方法到先进驱动方法的逻辑顺序，电机建模为上述控制奠定了基础。不论是表贴式永磁同步电机还是内置式永磁同步电机，均是尤为相关的，因为这些电机在许多应用领域逐步占主导地位。弱磁运行的特殊处理同样也很关键。包括最大电流、最大磁通、最大转矩磁通比、最大转矩电流比等在内的约束限制都使得电机驱动的操作范围非常透明。正好可利用通用磁场定向控制结构对随后介绍的间接和直接磁场定向控制方法进行统一。

从基于洛伦兹力的电机到纯磁阻转矩电机的转变过程非常明显。对开关磁阻电机的详细建模和评估可使驱动工程师对每相提供的固有转矩脉动准确建模。对饱和效应及其对功率变换器的作用进行处理可对具有上述这些属性的驱动器性能进行评价，通过对经典滞环电流控制和多相直接瞬时转矩控制的严谨讨论，读者可理解开关磁阻电机驱动中高性能转矩控制所需的结构。

通观全书，大量实例将包含重要理论概念的模块与仿真环境下的实现过程相结

合。由此使得读者快速浏览详细过程，并对掌握先进电机驱动中的关键概念建立信心。

根据本书所介绍的方法，相信先进电机驱动工程人员可取得通常并不易于达到的深度和广度。

**Robert D. Lorenz**

麦迪逊，威斯康辛州，美国

# 前 言

掌握电磁学、控制理论、电力电子学和机械理论之间的协同作用仍是一个巨大挑战。然而，需要或期望能够深入理解现代电机驱动的原理与实践的工程人员和高年级学生必须克服这个困难。本书中，驱动一词表示目前工业中大量的运动控制系统。

本书是在作者所著的《Fundamentals of Electrical Drives》(电机驱动基本原理)一书中所述基本概念的基础上完成的。因此，建议初学读者在学习和理解本书所介绍的更先进知识之前先了解和掌握电机驱动原理的基础知识。对于已熟悉掌握电机驱动基本原理的读者，应尽量消化和吸收，以确保完全掌握上述知识而无需在这两本书之间不断切换。

在之前的工作中，引入作者提出的理想旋转变压器 (Ideal Rotating Trans Former, IRTF) 的独特概念，以利于理解电机中转矩产生的基本原理。在《Fundamentals of Electrical Drives》一书中介绍的 IRTF 模块在现代电机中的应用将在本书中进行详细阐述，以使得读者了解一系列特殊的动态电机模型和稳态电机模型，其中包括有刷直流电机、非凸极式/凸极式同步电机和异步电机。

此外，本书阐述了用于展现现代矢量控制思想的通用磁场定向 (Universal Field Oriented, UFO) 概念，并充分体现了所谓的定子磁链和转子磁链定向控制技术之间的无缝过渡。这种强大的工具用于建立旋转磁场电机的磁链定向电机模型。这些模型构成了 UFO 矢量控制技术的基础，并广泛涵盖了传统驱动概念。在本书的最后一部分，重点介绍开关磁阻 (Switched Reluctance, SR) 电机驱动的动态建模，其中包括由一组即建即用的模块所实现的整套建模工具与控制技术。

与《Fundamentals of Electrical Drives》一书类似，本书继续采用基于即建即用模块的交互式学习过程。再次利用包括一组定制模块的仿真工具 CASPOC，用于体现书中介绍的电路和通用模型。该方法使得读者交互式学习并全面与直观理解书中所提出的概念。为此，在 Springer 网站上提供了允许读者观察仿真过程的实时模块，而无需软件注册 (<http://extras.springer.com>)。

本书可吸引工业或高校中期望或需要理解现代电机驱动复杂性的读者，同时又并没有忽略其基本原理。本书将 IRTF 和 UFO 概念相结合，从而在建模与控制方面全面和深入分析交流电机驱动。同时也重点介绍了开关磁阻电机驱动建模方法和现

代控制技术。本书中广泛应用即建即用模块，这将首次为读者提供交互式体验，并理解与掌握本书中所提概念的功能。

亚琛，德国 **Rik De Doncker**

亚琛，德国 **Duco W. J. Pulle**

屈伦博赫，荷兰 **André Veltman**

# 致 谢

这项工作已取得丰硕成果，这来源于坚信本书中所提出的理论方法将在教育机构和工程领域中具有整体、全面且意义深远的价值。尤其是，在实例教程中快速准确的仿真提供了一种具有高度交互性的学习新方法，由此凭借虚拟实验以激励学生和专家的创造性。

本书内容是作者及其同事在学术和工程经验方面的整理汇集。同时本书中，学生和研究助理的投入也不容忽视。作者在此感谢德国亚琛工业大学（RWTH）电力电子和电机驱动（ISEA）学院的同事，尤其是要感谢（以英文字母为序）Matthias Bösing、Christian Carstensen、Martin Hennen、Knut Kasper、Markus Kunter、Christoph Neuhaus 和 Daniel van Treek 在过去三年中的贡献。另外，还要感谢荷兰屈伦博赫 Piak 电子设计公司的 Paul van der Hulst 对本书的终稿编辑工作并提出许多良好建议。另外，如果没有荷兰 Alphen aan den Rijn 仿真研究组 Peter van Duijsen 的无私帮助，将不可能有支持实例的仿真工具，从而使得读者可体验所有 CASPOC 仿真。用于验证和展示算法的实验设置由德国亚琛 AixControl GmbH 提供支持。作者非常感谢阿拉伯联合酋长国的沙迦美国大学提供的在德国亚琛工业大学的访问工作。

# 目 录

译者序

原书序

前言

致谢

<b>第1章 现代电机驱动：概述</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 驱动技术的发展趋势 .....	2
1.2.1 电机 .....	2
1.2.2 功率变换器.....	5
1.2.3 嵌入式控制和通信链接 .....	6
1.3 驱动设计方法 .....	8
1.4 实验装置.....	10
<b>第2章 电力电子变换器的调制</b> .....	12
2.1 引言.....	12
2.2 单相半桥变换器.....	13
2.3 单相全桥变换器.....	16
2.4 三相变换器.....	20
2.4.1 空间矢量调制 .....	25
2.5 死区效应.....	29
2.6 实例教程.....	31
2.6.1 实例教程1：脉宽调制的半桥变换器 .....	31
2.6.2 实例教程2：脉宽调制和死区效应的半桥变换器.....	32
2.6.3 实例教程3：脉宽调制的全桥变换器 .....	33
2.6.4 实例教程4：脉冲居中的三相脉宽调制器 .....	36
2.6.5 实例教程5：脉宽调制的三相变换器 .....	37
2.6.6 实例教程6：无脉宽调制的三相简化变换器 .....	38
<b>第3章 广义负载的电流控制</b> .....	42
3.1 单相负载的电流控制.....	42

## X 先进电气驱动的分析、建模与控制

3.1.1 滞环电流控制 .....	42
3.1.2 基于模型的电流控制 .....	44
3.1.3 基于增强模型的电流控制 .....	48
3.2 三相负载的电流控制 .....	49
3.2.1 三相滞环电流控制 .....	50
3.2.2 基于模型的三相电流控制 .....	56
3.2.3 基于增强模型的三相电流控制 .....	61
3.2.4 滞环电流控制器和基于模型电流控制器的频谱 .....	61
3.3 实例教程 .....	63
3.3.1 实例教程 1: 单相滞环电流控制 .....	63
3.3.2 实例教程 2: 基于模型的单相电流控制 .....	64
3.3.3 实例教程 3: 基于方框法的三相滞环电流控制 .....	66
3.3.4 实例教程 4: 基于模型的三相电流控制 .....	66
3.3.5 实例教程 5: 采用简化方法无 PWM 的基于模型的三相电流控制 .....	70
<b>第 4 章 驱动原理 .....</b>	<b>73</b>
4.1 ITF 和 IRTF 概念 .....	73
4.2 电磁转矩控制原理 .....	77
4.2.1 直流电机 .....	77
4.2.2 同步电机 .....	79
4.2.3 异步电机 .....	81
4.3 驱动动力学 .....	82
4.3.1 线性和旋转运动 .....	82
4.3.2 旋转和平移的变速器 .....	84
4.3.3 齿轮传动 .....	85
4.3.4 传动系统的动态模型 .....	86
4.4 转速闭环控制设计原理 .....	88
4.5 实例教程 .....	91
4.5.1 实例教程 1: 初级同步电机驱动 .....	91
4.5.2 实例教程 2: 初级异步 (感应) 电机驱动 .....	92
4.5.3 实例教程 3: 初级直流电机驱动 .....	93
4.5.4 实例教程 4: 驱动动力示例 .....	95
4.5.5 实例教程 5: 转速闭环控制设计示例 .....	95
<b>第 5 章 直流电机的建模与控制 .....</b>	<b>98</b>
5.1 电流控制的他励直流电机 .....	98

5.1.1	直流电机的符号模型	99
5.1.2	直流电机的通用模型	100
5.2	磁场定向的电机模型	101
5.3	他励直流电机的控制	102
5.3.1	控制器概念	103
5.3.2	驱动器的工作边界	104
5.3.3	基于 IRTF 模型的电流源	108
5.3.4	基于模型的电流控制的电压源	109
5.4	实例教程	111
5.4.1	实例教程 1: 分段换向的有刷直流电机的电流源模型	111
5.4.2	实例教程 2: 电流源和电压源的有刷直流电机建模	112
5.4.3	实例教程 3: 具有弱磁控制器的电流源有刷直流电机	113
5.4.4	实例教程 4: 基于模型的电流控制和弱磁控制器下的直流驱动运行	116
5.4.5	实例教程 5: 基于模型的电流控制和转速控制环下的直流驱动	118
5.4.6	实例教程 6: 直流电机的实验结果	119
<b>第 6 章</b>	<b>同步电机建模概念</b>	<b>123</b>
6.1	非凸极式电机	123
6.1.1	非凸极式电机的符号模型	123
6.1.2	通用模型	125
6.1.3	转子定向模型: 非凸极式同步电机	126
6.1.4	稳态分析	126
6.2	凸极式同步电机	131
6.2.1	通用模型	132
6.2.2	凸极式同步电机的转子定向模型	133
6.2.3	稳态分析	134
6.3	实例教程	137
6.3.1	实例教程 1: 非凸极式同步电机的动态模型	137
6.3.2	实例教程 2: 非凸极式同步电机的稳态模型	139
6.3.3	实例教程 3: 同步电机的定子磁链励磁动态模型来阐述转子磁链定向概念	141
6.3.4	实例教程 4: 凸极可调同步电机的动态模型	141
6.3.5	实例教程 5: 凸极式同步电机的稳态分析	142
<b>第 7 章</b>	<b>同步电机驱动控制</b>	<b>144</b>
7.1	控制器工作原理	144
7.2	非凸极式同步电机控制	145

## XII 先进电气驱动的分析、建模与控制

7.2.1 驱动限制条件下的运行 .....	146
7.2.2 非凸极永磁电机驱动的弱磁运行 .....	149
7.2.3 恒定定子磁链控制的非凸极永磁电机驱动的弱磁运行 .....	153
7.2.4 恒定定子磁链和单位功率因数控制的电励磁非凸极电机驱动的弱磁运行 .....	156
7.3 凸极式同步电机控制 .....	159
7.4 电流控制同步电机的磁场定向控制 .....	162
7.5 电压源同步电机的磁场定向控制 .....	163
7.6 实例教程 .....	165
7.6.1 实例教程 1: 非凸极式同步电机驱动 .....	165
7.6.2 实例教程 2: 恒定定子磁通下的非凸极式同步电机的驱动运行 .....	167
7.6.3 实例教程 3: 单位功率因数下的非凸极式同步电机的驱动运行 .....	167
7.6.4 实例教程 4: 凸极式同步电机驱动 .....	170
7.6.5 实例教程 5: 基于模型电流控制的永磁凸极式同步电机驱动 .....	172
7.6.6 实例教程 6: 非凸极式永磁同步电机驱动的实验结果 .....	173
<b>第 8 章 异步电机建模概念 .....</b>	<b>178</b>
8.1 笼型异步电机 .....	178
8.2 异步电机的零漏感模型 .....	179
8.2.1 基于 IRTF 的异步电机模型 .....	179
8.2.2 磁场定向模型 .....	180
8.3 具有漏感的电机模型 .....	184
8.3.1 基于基本 IRTF 的模型 .....	184
8.3.2 基于 IRTF 的通用模型 .....	185
8.3.3 静止坐标定向通用模型 .....	192
8.3.4 磁场定向通用模型 .....	192
8.3.5 同步参考坐标系定向的 Heyland 图 .....	201
8.3.6 电压源异步电机稳态分析 .....	201
8.4 参数辨识与定子和转子磁链幅值的估计 .....	203
8.5 单相异步电机 .....	205
8.5.1 容性单相异步电机的稳态分析 .....	209
8.6 实例教程 .....	214
8.6.1 实例教程 1: 异步电机简化模型 .....	214
8.6.2 实例教程 2: 通用异步电机模型 .....	214
8.6.3 实例教程 3: 静止坐标系定向的通用异步电机模型 .....	215
8.6.4 实例教程 4: 电流控制零漏磁定向电机模型 .....	217
8.6.5 实例教程 5: 电流控制的通用磁场定向模型 .....	218

8.6.6 实例教程 6: 根据铭牌数据和已知定子电阻的参数估计 .....	219
8.6.7 实例教程 7: 与电网连接的异步电机 .....	222
8.6.8 实例教程 8: 与电网连接的异步电机的稳态特性 .....	223
8.6.9 实例教程 9: 与电网连接的单相异步电机 .....	224
<b>第 9 章 异步电机驱动控制</b> .....	<b>228</b>
9.1 变频 ( $V/f$ ) 控制 .....	228
9.1.1 简单 $V/f$ 转速控制器 .....	230
9.1.2 具有测速传感器的 $V/f$ 转矩控制器 .....	232
9.2 磁场定向控制 .....	234
9.2.1 控制器工作原理 .....	235
9.2.2 控制器结构 .....	236
9.2.3 UFO 模块结构 .....	237
9.2.4 利用所测转速或转角的 IFO .....	238
9.2.5 具有气隙磁通传感器的 DFO .....	239
9.2.6 具有感应线圈的 DFO .....	240
9.2.7 具有电压和电流互感器的 DFO .....	241
9.2.8 具有电流和转速变送器的 DFO .....	242
9.3 转子磁链定向控制的驱动运行边界 .....	243
9.4 转子磁链定向异步电机驱动的弱磁运行 .....	246
9.5 磁场定向控制器和电流控制异步电机的接口 .....	249
9.6 磁场定向控制器和电压源异步电机的接口 .....	251
9.7 实例教程 .....	254
9.7.1 实例教程 1: 简化的 $V/f$ 驱动 .....	254
9.7.2 实例教程 2: 转速传感器的 $V/f$ 驱动 .....	256
9.7.3 实例教程 3: 电流源电机模型和已知转角的通用磁场定向控制 .....	258
9.7.4 实例教程 4: UFO 控制器和基于模型电流控制的异步电机驱动 .....	261
9.7.5 实例教程 5: UFO 控制器和弱磁控制器的转子磁链定向异步电机驱动 .....	263
9.7.6 实例教程 6: UFO 控制器异步电机的实验结果 .....	269
<b>第 10 章 开关磁阻电机驱动系统</b> .....	<b>273</b>
10.1 电机基本概念 .....	274
10.2 工作原理 .....	276
10.2.1 单相电机概念 .....	276
10.2.2 转矩产生和能量转换原理 .....	277
10.2.3 单相开关磁阻电机: 线性示例 .....	280

## XIV 先进电气驱动的分析、建模与控制

10.2.4	开关磁阻电机建模概念	286
10.2.5	磁化特性的表示	289
10.2.6	变换器和控制概念	290
10.2.7	低速和高速驱动工作示例	292
10.3	多相电机	297
10.3.1	变换器概念	298
10.4	开关磁阻电机驱动的控制	300
10.4.1	驱动特性和工作范围	300
10.4.2	驱动工作过程	302
10.4.3	直接瞬时转矩控制	310
10.5	开关磁阻电机样机	316
10.6	实例教程	319
10.6.1	实例教程1: 电流励磁的线性开关磁阻电机分析	319
10.6.2	实例教程2: 电压励磁和滞环电流控制器的非线性开关磁阻电机	322
10.6.3	实例教程3: 电压励磁和PWM控制器的非线性开关磁阻电机	323
10.6.4	实例教程4: 电压励磁和滞环控制的四相非线性开关磁阻电机模型	324
10.6.5	实例教程5: 电压励磁和直接瞬时转矩控制的四相非线性开关磁阻电机模型	327
附录		332
附录 A	缩略语	332
附录 B	符号表	333
附录 C	上/下角标表	335
参考文献		340

# 第 1 章 现代电机驱动：概述

## 1.1 引言

如图 1.1 所示，电机驱动可定义为其将能量从电网有效转换为机械负载的能力。驱动的主要目的是控制机械负载或工艺过程。能量流动的方向一般是从电能到机械能，即如图 1.1 所示，通过变换器和电机将功率从电网传输到机械负载的电动模式。然而，在某些情况下能量的流动方向可逆，在此情况下，驱动通常配置成双向导通，从而允许能量从机械负载传输到电网。本书所涉及的现代电机驱动是利用电力电子装置来（数字）控制上述能量变换过程，即在图 1.1 中的调节器和控制单元所体现的功能。值得注意的是，在某些情况下，并没有调节器，而是直接通过控制器模块控制变换器中的电力电子装置。另外，图 1.1 中的控制器模块必须能够与上层计算机系统通信，这是由于驱动正逐步向网络化发展。与上层计算机网络的通信链接可提供一系列功能，如调试、初始化、诊断以及更高层次的过程控制。图 1.1 中的嵌入式数字控制器具有高速逻辑器件、处理器和电子电路来处理来自机电传感器的传感器信号。另外，最重要的是，必须开发合适的控制算法以使用于驱动过程中的功率变换过程。从这个角度来看，可认为驱动技术发展历史较短，这种论述或许是考虑到电机的发展始于大约 150 年前。然而，随着新材料和新型设计工具的发展，新型电机，如线性电机、永磁电机、开关磁阻电机和横向磁通永磁电机等，在过去 20 年中得到了快速发展。另一方面，电力电子装置已发展了大约

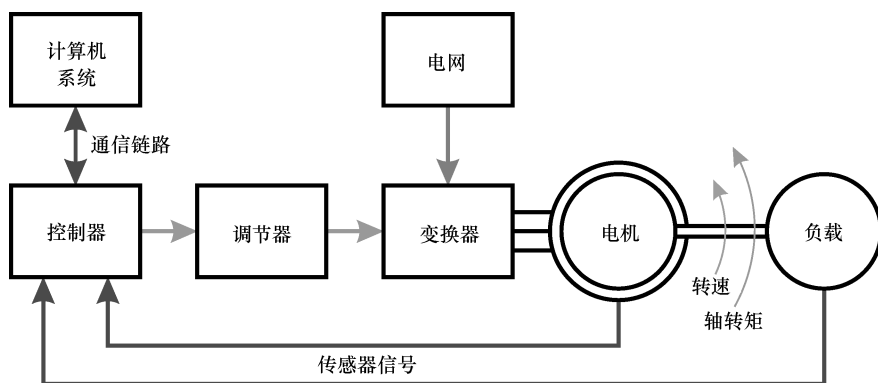


图 1.1 典型的驱动装置