



起步轻松学

变频技术

蔡杏山 刘凌云 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

零起步轻松学系列丛书

零起步轻松学变频技术

蔡杏山 刘凌云 编著

人民邮电出版社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

零起步轻松学变频技术 / 蔡杏山, 刘凌云编著. —北京:
人民邮电出版社, 2009. 6
(零起步轻松学系列丛书)
ISBN 978-7-115-19744-3

I. 零… II. ①蔡…②刘… III. 变频调速—基本知识
IV. TM921. 51

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第014677号

内 容 提 要

本书是一本介绍变频技术的入门读物, 主要内容包括电力电子器件, 整流电路, 斩波电路, 逆变电路, PWM 控制技术, 交流调压电路, 交-交变频电路, 变频器的工作原理, 变频器的使用和变频器的选用、安装与维护。

本书目的是培养应用型人才, 因此在编写时注重实用性。为了帮助读者掌握书中的重点知识, 书中对重点内容均用黑体字表示。

本书起点低、通俗易懂, 内容结构安排符合学习认知规律, 适合作学习变频技术和变频器使用的自学教材, 也适合作大中专院校相关专业的教材和教学参考用书。

零起步轻松学系列丛书

零起步轻松学变频技术

-
- ◆ 编 著 蔡杏山 刘凌云
责任编辑 申 苹
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 12.75
字数: 268 千字
印数: 1—5 000 册
 - 2009 年 6 月第 1 版
2009 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19744-3/TN

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

丛书前言

在现代社会中，随着科学技术的飞速发展，电子、电工技术已经渗透到社会的许多领域，社会需要大量掌握电子、电工技术的人才。电子、电工技术都属于电类技术，但两者侧重点不同：电子技术是处理低电压、小电流的弱电信号的技术；而电工技术则是处理高电压、大电流的强电信号的技术。电子技术和电工技术在早期划分还比较明显，但在现代社会，两种技术融合越来越紧密，社会对同时掌握电子、电工技术的复合型人才的需求非常迫切。

任何一门技术，既可以通过在学校系统学习，也可以通过自学来掌握。但不管哪种学习方式，都需要一套系统全面、通俗易懂的入门教材。好的入门教材可以让我们学习时少走弯路，轻松、快速地掌握技术。

一、丛书简介

《零起步轻松学系列丛书》是一套非常适合初学者使用的入门教材，它分两个系列：电子技术系列和电工技术系列。这套丛书涉及电子、电工技术基础知识体系中的方方面面，各分册既紧密相关，又独立成册，具体内容如下。

电子技术系列图书：

➤ 《零起步轻松学电子技术》以很低的起点将读者引入电子技术领域，让读者初步全面了解电子技术，对其有一个整体的认识，并掌握一定的动手能力。内容涉及电子技术基础知识、电子元器件知识、电子测量仪器的使用、电子电路和电子设备的检修等。

➤ 《零起步轻松学电子电路》用通俗易懂的语言介绍电子电路（低频、高频模拟电路），培养读者对模拟电路的识图能力。

➤ 《零起步轻松学数字电路》从数字电路中最基本的门电路开始，介绍各种基础数字电路，培养读者对数字电路的识图能力。

➤ 《零起步轻松学电子测量仪器》介绍各种电子测量仪器、仪表的使用方法，如万用表、信号发生器、示波器等，培养读者使用电子测量仪器及仪表检测电子元器件、电子电路和电子设备的能力。

➤ 《零起步轻松学 Protel 99 SE 电路设计》介绍如何使用 Protel 99 SE 软件设计电

路原理图和印制电路板,使有一定电子技术基础的读者学会利用计算机绘图软件进行电路设计。

➤ 《零起步轻松学单片机技术》以 MCS-51 单片机为例,介绍了单片机的基础知识和各种实用技术。

电工技术系列图书:

➤ 《零起步轻松学电工技术》主要介绍电工基础知识、电工仪表、低压电器、电子元器件、变压器、电动机和室内配电布线以及安全用电等内容。

➤ 《零起步轻松学电工常用电子电路》主要介绍电路基础知识、模拟电子电路、数字电子电路、晶闸管电路和一些实用的电工电子电路。

➤ 《零起步轻松学电动机及控制线路》主要介绍电气控制线路基础知识和直流电动机、三相异步电动机、单相异步电动机、各种特种电动机的工作原理及相关的控制线路。

➤ 《零起步轻松学变频技术》主要介绍变频常用电力电子器件、交-直-交变频技术、脉宽调制技术、交-交变频技术和变频技术的应用,另外还介绍变频器的安装、调试和维修。

➤ 《零起步轻松学 PLC 技术》主要介绍 PLC 基础知识、PLC 开发过程、PLC 编程和 PLC 应用系统开发实例等内容。

二、丛书的特点

➤ 结构安排符合人的认识规律。在图书内容编排上,按照循序渐进、由浅入深的原则进行,读者只需从前往后阅读图书,便会水到渠成。

➤ 起点低,语言通俗易懂。书中少用专业化的术语,多用通俗易懂的语言,遇到较难理解的内容用比喻来说明,尽量避免复杂的理论分析和烦琐的公式推导,具有初中文化程度的读者即可阅读。

➤ 采用图文并茂的方式表现内容。书中大多采用读者喜欢的直观形象的图表方式表现内容,使阅读变得轻松。

➤ 突出显示书中知识要点。为了帮助读者掌握书中的知识要点,书中用阴影和文字加粗的方法突出显示知识要点,指示学习重点。

➤ 网络辅导。读者在阅读时遇到难理解的问题,可登录易天教学网:www.eTV100.com,向老师提问,在网络辅导下更快、更轻松地学习书中的知识。

三、丛书的读者对象

本套丛书起点低,只要具有初中文化程度且对电子、电工技术感兴趣的读者就可阅读,主要的读者对象有以下几类:

➤ 电子、电工技术爱好者。对于这类读者来说,本丛书内容丰富、通俗易懂的特

丛 书 前 言

点可使读者，尤其是初学者快速掌握电子、电工技术知识，轻松迈入电子、电工技术大门。

➤ **电子、电工技术从业人员。**这包括准备或者正在从事电子、电工技术相关领域工作的人员。对于这类读者来说，本丛书是一套完整的电子、电工技术入门自学教材，学习本丛书可为以后的实践工作打下坚实的基础。

➤ **职业院校相关专业的学生。**这包括以电子、电工技术为主专业的学生，也包括不以电子、电工技术为主专业，但需要学习电子、电工技术知识的学生。对于这类读者来说，本丛书是一套非常好的课外辅导书，能让读者更容易理解教材的内容。

编 者

前 言

本书主要介绍了变频技术及变频器,通过本书的学习,读者能较全面地了解各种变频技术,并掌握变频器的使用方法。

一、本书章节内容

第1章 概述 本章主要对变频技术和变频器进行简单介绍,通过本章的学习,可以对变频技术和变频器有初步的了解。

第2章 电力电子器件 电力电子器件是指直接用在电能处理主电路中,进行电能变换与控制的半导体器件。本章主要介绍了常用电力电子器件的结构、工作原理、检测和电力电子器件的驱动及保护电路。

第3章 整流电路 整流电路的功能是将交流电转换成直流电。本章主要介绍了可控整流电路和不可控整流电路。

第4章 斩波电路 斩波电路的功能是将直流电转换成另一种固定或可调的直流电。本章主要介绍了基本斩波电路和复合斩波电路。

第5章 逆变电路 逆变电路的功能是将直流电转换成交流电。本章主要介绍了逆变原理、电压型逆变电路、电流型逆变电路和复合型逆变电路。

第6章 PWM控制技术 PWM意为脉冲宽度调制,PWM控制就是对脉冲宽度进行调制,以得到一系列宽度变化的脉冲,再用这些脉冲来代替所需的信号。本章主要介绍了PWM控制的基本原理、SPWM波的产生、PWM控制方式和PWM整流电路。

第7章 交流调压电路与交-交变频电路 交流调压电路的功能是调节交流电压的大小。交-交变频电路的功能是将一种频率的交流电转换成另一种频率的交流电。本章主要介绍了一些常见的交流调压电路和交-交变频电路。

第8章 变频器的工作原理 变频器是一种电动机驱动控制设备,它主要由主体电路和控制电路组成。本章主要介绍了变频器的组成框图、主体电路和变频调速控制方式。

第9章 变频器的使用 变频器种类很多,由于结构基本相同,所以使用方法也大同小异,本章以三菱FR-A540型变频器为例来介绍变频器的使用。

第10章 变频器的选用、安装与维护 本章主要介绍了变频器的种类、选用、容量计算以及外围设备的选用,同时介绍了常用的外围控制电路和变频器的安装、调试和维护。

二、本书学习建议

在学习本书时,建议读者注意以下几点。

(1) 从前往后逐章节阅读本书,遇到难以理解的知识可以先跳过去,待学习完后续内容,理解能力提高了,再重新学习这些内容。

(2) 每次不要阅读太多的内容,对书中以黑体字显示的内容要重点理解和记忆。为了强化记忆,建议读者在每学完一章后,对本章的内容进行总结。

(3) 在学习第9章时,应尽量找到同型号的变频器进行实际操作练习,若无该型号的变频器,可先学完该章节内容,在对变频器的使用方法有一定的了解后再参看使用说明书对其他型号的变频器进行操作。

(4) 如果阅读时遇到难理解的内容,可以参考其他相关的图书,也可以登录**易天教学网 www.eTV100.com**,通过在线提问和观看网站有关辅导材料进行学习。

本书在编写过程中得到了易电工作室很多教师的支持,其中蔡玉山、詹春华、何广文、袁兵生、何慧、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、何彬、刘常名和曾国忠等参与了资料的收集和部分章节的编写,在此一致表示感谢。

由于我们水平有限,书中存在错误和疏漏在所难免,望广大读者和同仁予以批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 变频技术简介	2
1.1.1 类型	2
1.1.2 发展	2
1.2 变频器简介	3
1.2.1 异步电动机的调速方式	3
1.2.2 变频器的种类	4
第 2 章 电力电子器件	6
2.1 晶闸管 (SCR)	7
2.1.1 外形与符号	7
2.1.2 结构与工作原理	7
2.1.3 检测	9
2.1.4 其他类型的晶闸管	10
2.2 门极可关断晶闸管 (GTO)	11
2.2.1 外形、结构与符号	11
2.2.2 工作原理	11
2.2.3 检测	12
2.3 双向晶闸管 (BTT)	13
2.3.1 符号与结构	13
2.3.2 工作原理	13
2.3.3 检测	14
2.4 电力场效应管 (MOSFET)	16

2.4.1	结构与工作原理	16
2.4.2	检测	18
2.5	绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	19
2.5.1	外形、结构与符号	20
2.5.2	工作原理	20
2.5.3	检测	21
2.6	其他类型的电力电子器件	21
2.6.1	静电感应晶体管 (SIT)	22
2.6.2	MOS 控制晶闸管 (MCT)	22
2.6.3	集成门极换流晶闸管 (IGCT)	22
2.6.4	功率模块和功率集成电路	22
2.7	电力电子器件的驱动电路	23
2.7.1	电气隔离电路	23
2.7.2	晶闸管驱动电路	24
2.7.3	GTO 驱动电路	24
2.7.4	电力 MOS 管的驱动电路	25
2.7.5	IGBT 驱动电路	26
2.8	电力电子器件的保护电路	27
2.8.1	过电流保护电路	27
2.8.2	过电压保护电路	27
2.8.3	缓冲电路	28
第 3 章	整流电路	30
3.1	不可控整流电路	31
3.1.1	单相半波整流电路	31
3.1.2	单相桥式整流电路	32
3.1.3	三相桥式整流电路	34
3.2	可控整流电路	36
3.2.1	单相可控半波整流电路	36
3.2.2	单相半控桥式整流电路	37
3.2.3	三相全控桥式整流电路	38

第4章 斩波电路	41
4.1 基本斩波电路	42
4.1.1 降压斩波电路	42
4.1.2 升压斩波电路	43
4.1.3 升降压斩波电路	44
4.2 复合斩波电路	47
4.2.1 电流可逆斩波电路	47
4.2.2 桥式可逆斩波电路	48
4.2.3 多相多重斩波电路	49
第5章 逆变电路	51
5.1 逆变原理	52
5.2 电压型逆变电路	52
5.2.1 单相半桥逆变电路	53
5.2.2 单相全桥逆变电路	54
5.2.3 单相变压器逆变电路	56
5.2.4 三相电压逆变电路	56
5.3 电流型逆变电路	57
5.3.1 单相桥式电流型逆变电路	58
5.3.2 三相电流型逆变电路	59
5.4 复合型逆变电路	60
5.4.1 多重逆变电路	60
5.4.2 多电平逆变电路	62
第6章 PWM 控制技术	64
6.1 PWM 控制的基本原理	65
6.1.1 面积等效原理	65
6.1.2 SPWM 控制原理	65
6.2 SPWM 波的产生	66

零起步轻松学变频技术

6.2.1	单极性 SPWM 波的产生	66
6.2.2	双极性 SPWM 波的产生	67
6.2.3	三相 SPWM 波的产生	68
6.3	PWM 控制方式	69
6.3.1	算法	69
6.3.2	调制法	69
6.3.3	跟踪控制法	71
6.4	PWM 整流电路	72
6.4.1	单相电压型 PWM 整流电路	73
6.4.2	三相电压型 PWM 整流电路	74

第 7 章 交流调压电路与交-交变频电路

7.1	交流调压电路	76
7.1.1	单向晶闸管交流调压电路	76
7.1.2	双向晶闸管交流调压电路	80
7.1.3	脉冲控制型交流调压电路	83
7.1.4	三相交流调压电路	85
7.2	交-交变频电路	86
7.2.1	单相交-交变频电路	86
7.2.2	三相交-交变频电路	89

第 8 章 变频器的工作原理

8.1	变频器的组成框图	92
8.1.1	交-直-交型变频器	92
8.1.2	交-交型变频器	93
8.2	主体电路	93
8.2.1	整流电路	93
8.2.2	中间电路	95
8.2.3	逆变电路	98
8.3	变频调速控制方式	99
8.3.1	压/频控制方式	100

8.3.2	转差频率控制方式	101
8.3.3	矢量控制方式	102
8.3.4	直接转矩控制方式	104
8.3.5	控制方式比较	105
第9章 变频器的使用		106
9.1	外形与结构	107
9.1.1	外形	107
9.1.2	结构	107
9.1.3	面板的拆卸	108
9.2	端子功能与接线	109
9.2.1	总接线图及端子功能说明	109
9.2.2	主回路接线	113
9.2.3	控制回路接线	116
9.2.4	PU 接口的连接	119
9.3	操作面板的使用	122
9.3.1	操作面板介绍	122
9.3.2	操作面板的使用	123
9.4	操作运行	127
9.4.1	外部操作运行	127
9.4.2	PU 操作运行	130
9.4.3	组合操作运行	131
9.5	常用控制功能与参数设置	132
9.5.1	操作模式选择功能与参数	133
9.5.2	频率相关功能与参数	133
9.5.3	启动、加减速控制功能与参数	136
9.5.4	点动控制功能与参数	137
9.5.5	转矩提升功能与参数	138
9.5.6	制动控制功能与参数	138
9.5.7	工频与变频的切换功能与参数	139
9.5.8	瞬时停电再启动功能与参数	143
9.5.9	多挡转速控制功能与参数	143
9.5.10	程序控制功能与参数	147

9.5.11	PID 控制功能与参数	150
9.5.12	控制方式功能与参数	153
9.5.13	电子过电流保护功能与参数 (Pr.9)	154
9.5.14	负载类型选择功能与参数	155
9.5.15	MRS 端子输入选择功能与参数	156
9.5.16	禁止写入和逆转防止功能与参数	156
 第 10 章 变频器的选用、安装与维护		157
10.1	变频器的种类	158
10.2	变频器的选用与容量计算	159
10.2.1	额定值	159
10.2.2	选用	159
10.2.3	容量计算	160
10.3	变频器外围设备的选用	164
10.3.1	主回路外围设备的接线	164
10.3.2	熔断器的选用	164
10.3.3	断路器的选用	165
10.3.4	交流接触器的选用	166
10.3.5	交流电抗器的选用	166
10.3.6	直流电抗器的选用	167
10.3.7	制动电阻	168
10.3.8	热继电器的选用	169
10.3.9	噪声滤波器	169
10.4	变频器常用的外围控制电路	170
10.4.1	正转控制电路	170
10.4.2	正、反转控制电路	172
10.5	变频器的安装、调试与维护	175
10.5.1	安装与接线	175
10.5.2	调试	178
10.5.3	维护	180
10.5.4	常见故障及原因	181
 附录 三菱 FR-540 系列变频器参数表		182

第 1 章 概述

变频技术是将一种频率电源转换成另一种频率电源的技术。它包括交-直变频技术、直-直变频技术、直-交变频技术和交-交变频技术。变频技术最典型的应用就是变频器。变频器的功能是将工频电源转换成频率可变的交流电源提供给电动机,通过改变输出电源的频率对电动机转速进行调节。

本章主要内容:

- 变频技术简介
- 变频器简介



1.1 变频技术简介

变频技术是将一种频率电源转换成另一种频率电源的技术。在电源的转换过程中,电能并不发生变化,只是频率发生变化。

1.1.1 类型

变频技术可分为以下几种类型。

- ① 交-直变频技术: 又称整流技术, 它是利用整流电路将交流电源转换成直流电源。
- ② 直-直变频技术: 又称斩波技术, 它是利用斩波电路将直流电源转换成直流脉冲电源, 通过调节脉冲的频率或宽度来改变直流脉冲电源有效值的大小。
- ③ 直-交变频技术: 又称逆变技术, 它是利用逆变电路将直流电源转换成交流电源。
- ④ 交-交变频技术: 又称移相技术, 它是利用交-交变频电路将一种频率的交流电源转换成另一种频率的交流电源。

1.1.2 发展

随着微电子技术、电力电子技术和自动控制技术的不断发展, 变频技术也得到了迅速的发展和广泛的应用。变频技术最初主要用于整流和交直流可调电源, 现在已广泛用在高压直流输电、不同频率电源连接、静止无功功率补偿和吸收、超导电抗器的电力储存等。变频技术还广泛应用于运输业、石油行业、家用电器和军事等领域。在运输业应用如高速铁路、超导磁悬浮列车、电动汽车、机器人等, 在石油行业应用如采油调速、超声波驱油等, 在家用电器方面应用如变频空调、变频洗衣机、变频微波炉、变频电冰箱等, 在军事方面应用如军事通信、导航、雷达等。

变频技术的发展主要以电力电子器件的发展为基础, 主要经历了以下几代:

第 1 代电力电子器件以晶闸管为代表 (20 世纪 50 年代)。1956 年贝尔实验室发明了晶闸管, 1958 年通用电气公司推出了商品化的产品。晶闸管是一种电流控制型开关器件, 可以实现小电流控制大功率变换, 但开关频率低, 且导通后不能自关断。

第 2 代电力电子器件以电力晶体管 (GTR) 和门极关断晶闸管 (GTO) 为代表 (20 世纪 60 年代)。门极关断晶闸管是一种电流型自关断型开关器件, 较容易实现整流、斩波、逆变等变频功能, 其开关频率在 1~5kHz 之间。

第3代电力电子器件以绝缘栅双极型晶体管(IGBT)为代表(20世纪70年代)。绝缘栅双极型晶体管是一种电压控制型自关断电力电子器件,其开关频率很高,达到20~200kHz,它的应用使电气设备的高频化、高效化和小型化得以实现。

第4代电力电子器件以智能化功率集成电路(PIC)和智能功率模块(IPM)等为代表(20世纪80、90年代)。它们实现了开关频率的高速化、低导通电压的高效化和功率器件的集成化,另外还可集成逻辑控制、保护、传感及测量等功能。

变频技术的发展方向是高电压大容量化、高频化、组件模块化、小型化、智能化和低成本化。

1.2 变频器简介

变频器是一种典型的采用了变频技术的电气设备。变频器的功能是将工频(50Hz或60Hz)交流电源转换成频率可变的交流电源提供给电动机,通过改变输出电源的频率来对电动机进行调速控制。图1-1列出了几种常见的变频器。

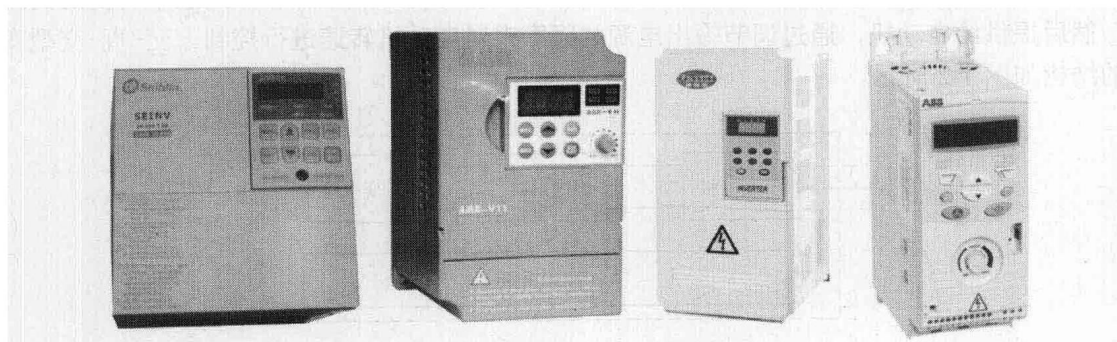


图 1-1 几种常见的变频器

1.2.1 异步电动机的调速方式

当三相异步电动机定子绕组通入三相交流电后,定子绕组会产生旋转磁场,旋转磁场的转速 n_0 与交流电源的频率 f 及电动机的磁极对数 p 有如下关系:

$$n_0 = 60f/p$$

电动机转子的旋转速度 n (即电动机的转速)略低于旋转磁场的旋转速度 n_0 (又称同步转