



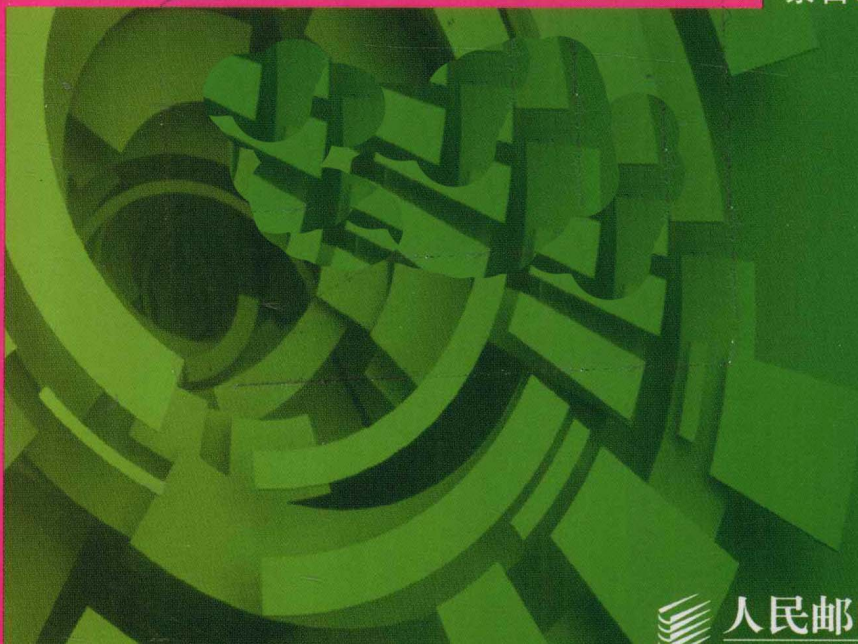
零起步轻松学系列丛书

零起步

轻松学

变频器使用与电路检修

蔡杏山 ■ 主编



人民邮电出版社



零起步轻松学系列丛书

零起步

轻松学

变频器使用与电路检修

蔡杏山 ■ 主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

零起步轻松学变频器使用与电路检修 / 蔡杏山主编

— 北京 : 人民邮电出版社, 2012.1

(零起步轻松学系列丛书)

ISBN 978-7-115-26834-1

I. ①零… II. ①蔡… III. ①变频器—使用方法—基本知识②变频器—电子电路—检修—基本知识 IV. ①TN773

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第230356号

内 容 提 要

本书是一本介绍电力电子器件、变频器电路原理及检修和变频器使用的图书。全书分为9章,主要介绍了电力电子器件、变频器主电路原理与检修、开关电源原理与检修、驱动电路原理与检修、检测电路原理与检修、控制电路原理与检修和变频器的使用、选用及维护等内容。

为了让初学者通过阅读本书就能轻松快速地掌握变频器的使用和电路原理及检修方法,本书在每章首页列出了该章的知识结构图,在内容安排上遵循循序渐进的原则,在语言表达上注重通俗易懂。本书在重点和关键内容上采用了粗体处理,以让读者掌握并记住这些内容。

本书具有起点低、由浅入深、语言通俗易懂的优点,并且内容安排符合学习认知规律。本书适合作为学习变频器检修和使用的自学图书,也适合作为职业院校电类专业的变频器教材。

零起步轻松学系列丛书

零起步轻松学变频器使用与电路检修

-
- ◆ 主 编 蔡杏山
责任编辑 张 鹏
 - ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市潮河印业有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14
字数: 271千字 2012年1月第1版
印数: 1—4000册 2012年1月河北第1次印刷

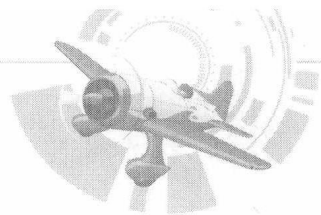
ISBN 978-7-115-26834-1

定价: 30.00元

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

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号



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。

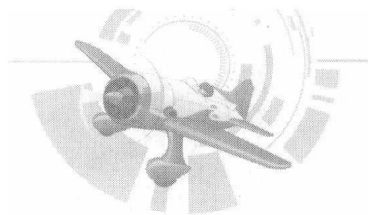
电子技术系列图书：

➤ 《零起步轻松学电子技术（第2版）》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（第2版）》用通俗易懂的语言介绍电子电路（放大电路、谐振电路、滤波电路、正弦波振荡器电路、调制与解调电路、变频电路和电源电路等）的分析方法，培养读者对模拟电路的识图能力。

➤ 《零起步轻松学数字电路（第2版）》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。

➤ 《零起步轻松学电子元器件》全面地介绍了各种常用电子元器件（电阻器、电容器、电感器、变压器、二极管、三极管、光电器件、电声器件、晶闸管、场效应管、贴片元器件和集成模块等）的种类、性能、重要参数和检测方法等。



➤ 《零起步轻松学电子测量仪器（第2版）》 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、毫伏表、频率计、扫频仪、Q表与晶体管特性图示仪等，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、调试和维护。

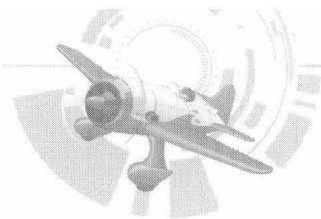
➤ 《零起步轻松学 PLC 技术》 主要以三菱 FX 系列 PLC 为例介绍了 PLC 基础知识、PLC 开发过程、PLC 编程和 PLC 应用系统开发实例等内容。

➤ 《零起步轻松学西门子 S7-200 PLC 技术》 主要介绍了西门子 S7-200 PLC 技术，包括 PLC 的组成与原理、编程基础知识、PLC 编程软件及仿真软件的使用、PLC 应用系统的开发过程及应用等内容。

➤ 《零起步轻松学欧姆龙 PLC 技术》 主要介绍了欧姆龙 CP1H 系列的 PLC 技术，内容包括 PLC 组成与原理、CP1H 系列 PLC 的硬件系统、PLC 编程软件的使用和应用系统的开发、指令的应用等。

➤ 《零起步轻松学变频器使用与电路检修》 主要介绍了常用电力电子器件、变频器常用单元电路的原理，变频器的检修以及日常使用与维护等内容。

➤ 《零起步轻松学步进与伺服应用技术》 主要介绍了交流伺服系统的组成与原理，三菱通用伺服驱动器的硬件系统，伺服驱动器的显示操作、参数设置以及应用实例，步进驱动技术、步进电动机及定位模块等内容。



二、丛书的特点

➤ **结构安排符合人的认知规律。**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：

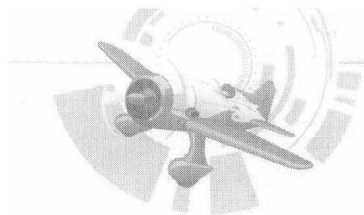
➤ **电子、电工技术爱好者。**对于这类读者来说，本丛书内容丰富、通俗易懂的特点可使读者，尤其是初学者快速掌握电子、电工技术知识，轻松迈入电子、电工技术大门。

➤ **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。

本书在编写过程中得到了易天教学网很多老师的支持，其中蔡玉山、詹春华、何慧、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、黄勇、刘凌云、刘元能、刘海峰等参与了部分章节的编写工作，在此一致表示感谢。由于我们水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

编 者



前言

本书是一本介绍电力电子器件、变频器电路原理及检修和变频器使用的图书，全书共分9章，主要介绍了电力电子器件、变频器主电路原理与检修、开关电源原理与检修、驱动电路原理与检修、检测电路原理与检修、控制电路原理与检修和变频器的使用、选用及维护等内容。

一、本书章节内容

本书共分9章。

第1章 概述 本章主要介绍了异步电动机的两种调速方式和交-直-交变频器、交-交变频器的结构与原理。

第2章 电力电子器件 本章主要介绍了单向晶闸管、门极可关断晶闸管、双向晶闸管、电力场效应管、绝缘栅双极型晶体管等电力电子器件和电力电子器件的驱动、保护电路。

第3章 主电路原理与检修 本章主要介绍了变频器主电路的单元电路、两个典型主电路的实例电路和主电路的检修。

第4章 开关电源原理与检修 本章主要介绍了开关电源的基本工作原理、自激式开关电源的电路原理与检修、他激式开关电源的电路原理与检修。

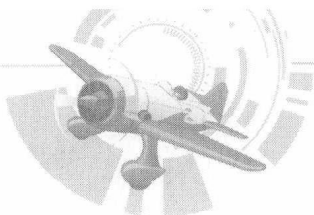
第5章 驱动电路原理与检修 本章主要介绍了变频器的驱动电路与其他有关电路的连接关系、驱动电路的基本工作原理、4种典型的驱动电路分析和驱动电路的检修。

第6章 检测电路原理与检修 本章主要介绍了变频器的电压检测电路原理与检修、电流检测电路原理与检修和温度检测电路原理与检修。

第7章 控制电路原理与检修 本章主要介绍了变频器CPU基本电路及检修、外部输入/输出端子接口电路及检修和内部输入/输出电路及检修。

第8章 变频器的使用 本章主要介绍了变频器的外形与结构、端子功能与接线、操作面板的使用、运行操作和常用控制功能与参数设置。

第9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及变频调速控制方式、变频器的选用与容量计算、变频器外围设备的选用、变频器常用的外围控制电路以及变频器的安装、调试与维护。



二、本书学习建议

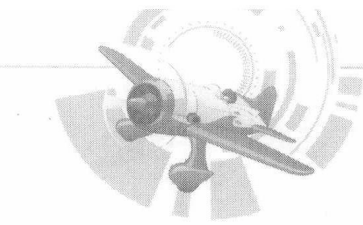
在学习本书内容时，建议读者注意以下几点。

(1) 从前往后逐章节阅读，每次不要阅读太多内容，重在理解和掌握；对书中粗体标注的内容要重点理解并记忆。

(2) 在学习变频器检修内容时，一定要结合电路原理来理解，这样才能举一反三，才能快速学会检修其他型号的变频器。

(3) 如果阅读时遇到难题，可以登录易天网 www.eTV100.com，通过观看有关学习材料或向老师提问进行学习。

编 者



目 录

第 1 章 概述.....1

1.1 异步电动机的两种调速方式.....2

1.2 变频器的基本结构及原理.....3

1.2.1 交-直-交型变频器的结构与原理.....3

1.2.2 交-交型变频器的结构与原理.....4

第 2 章 电力电子器件.....5

2.1 单向晶闸管 (SCR)6

2.1.1 外形与图形符号.....6

2.1.2 结构与工作原理.....6

2.1.3 检测.....8

2.1.4 其他类型的晶闸管.....9

2.2 门极可关断晶闸管 (GTO)10

2.2.1 外形、结构与图形符号.....10

2.2.2 工作原理.....11

2.2.3 检测.....11

2.3 双向晶闸管 (BTT)12

2.3.1 图形符号与结构.....12

2.3.2 工作原理.....12

2.3.3 检测.....13

2.4 电力场效应管 (MOSFET)15

2.4.1 增强型 MOS 管.....15

2.4.2 耗尽型 MOS 管.....18

2.5 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)19

2.5.1 外形、结构与图形符号.....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.....22

2.6.1 静电感应晶体管 (SIF)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.....28

2.8.3 缓冲电路.....29

第 3 章 主电路原理 与检修.....30

3.1 主电路的单元电路分析.....31

3.1.1 整流电路.....31

3.1.2 中间电路.....34

3.1.3 逆变电路.....37

3.2 主电路实例分析.....39

3.2.1 主电路实例分析一.....39

3.2.2 主电路实例分析二.....40

3.3 主电路的检修.....43

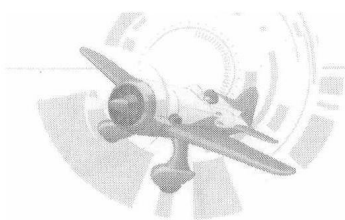
3.3.1 变频器电路的工作流程.....43

3.3.2 主电路各单元电路的常见故障.....44

3.3.3 不带电检修主电路.....45

3.3.4 变频器无输出电压的检修.....48

3.3.5 主电路大量元器件损坏的检修.....48



第4章 开关电源原理

与检修 51

4.1 开关电源的工作原理 52

4.1.1 开关电源的基本工作原理 52

4.1.2 3种类型的开关电源

工作原理分析 53

4.2 开关电源电路分析与检修 55

4.2.1 开关电源的取电方式 55

4.2.2 自激式开关电源典型电路分析 56

4.2.3 自激式开关电源的检修 60

4.2.4 他激式开关电源典型电路分析 62

4.2.5 他激式开关电源的检修 67

第5章 驱动电路原理

与检修 71

5.1 驱动电路的连接与原理 72

5.1.1 驱动电路与其他电路的连接 72

5.1.2 驱动电路的基本工作原理 73

5.2 驱动电路实例分析 74

5.2.1 驱动电路典型实例一分析 74

5.2.2 驱动电路典型实例二分析 76

5.2.3 驱动电路典型实例三分析 79

5.2.4 驱动电路典型实例四分析 81

5.2.5 制动电路的驱动 84

5.3 驱动电路的检修 85

5.3.1 驱动电路检修的注意事项及技巧 85

5.3.2 驱动电路的常见故障及原因 86

5.3.3 驱动电路的检修方法 87

第6章 检测电路原理

与检修 93

6.1 电压检测电路及检修 94

6.1.1 主电路电压检测电路及检修 94

6.1.2 三相输入电压检测电路及检修 97

6.1.3 三相输出电压检测电路及检修 98

6.2 电流检测电路及检修 99

6.2.1 主电路电流检测电路及检修 100

6.2.2 输出电流检测电路及检修 101

6.3 温度检测电路 104

6.3.1 不带风扇控制的温度检测

电路及检修 105

6.3.2 带风扇控制的温度检测

电路及检修 105

第7章 控制电路原理

与检修 108

7.1 CPU基本电路及检修 109

7.1.1 CPU必备电路及检修 109

7.1.2 CPU常备电路及检修 110

7.2 外部输入/输出端子接口电路及检修 112

7.2.1 数字量端子接口电路及检修 113

7.2.2 模拟量端子接口电路及检修 114

7.3 内部输入/输出电路及检修 116

7.3.1 输入检测电路及检修 116

7.3.2 CPU驱动脉冲输出电路及检修 118

7.3.3 控制信号输出电路及检修 119

第8章 变频器的使用 121

8.1 外形与结构 122

8.1.1 外形 122

8.1.2 结构 122

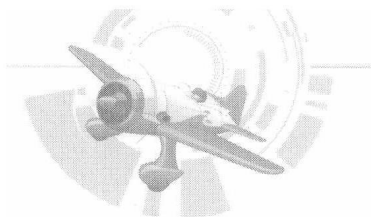
8.1.3 面板的拆卸 123

8.2 端子功能与接线 124

8.2.1 总接线图及端子功能说明 124

8.2.2 主回路接线 128

8.2.3 控制回路接线 131



8.2.4 PU 接口的连接	134
8.3 操作面板的使用	136
8.3.1 操作面板介绍	136
8.3.2 操作面板的使用方法	137
8.4 操作运行	140
8.4.1 外部操作运行	141
8.4.2 PU 操作运行	143
8.4.3 组合操作运行	144
8.5 常用控制功能与参数设置	145
8.5.1 操作模式选择功能与参数	145
8.5.2 频率相关功能与参数	146
8.5.3 启动、加/减速控制功能与参数	148
8.5.4 点动控制功能与参数	149
8.5.5 转矩提升功能与参数	150
8.5.6 制动控制功能与参数	150
8.5.7 工频与变频的切换功能与参数	152
8.5.8 瞬时停电再启动功能与参数	155
8.5.9 多挡转速控制功能与参数	156
8.5.10 程序控制功能与参数	159
8.5.11 PID 控制功能与参数	162
8.5.12 控制方式功能与参数	166
8.5.13 电子过电流保护功能与参数 (Pr.9)	167
8.5.14 负载类型选择功能与参数	167
8.5.15 MRS 端子输入选择功能与参数	168
8.5.16 禁止写入和逆转防止功能与参数	168

第 9 章 变频器的选用、安装与维护

9.1 变频器的种类及变频调速控制方式	171
---------------------	-----

9.1.1 变频器的种类	171
9.1.2 变频调速控制方式	172
9.2 变频器的选用与容量计算	178
9.2.1 额定值	178
9.2.2 选用	179
9.2.3 容量计算	180
9.3 变频器外围设备的选用	183
9.3.1 主电路外围设备的接线	183
9.3.2 熔断器的选用	184
9.3.3 断路器的选用	184
9.3.4 交流接触器的选用	185
9.3.5 交流电抗器的选用	185
9.3.6 直流电抗器的选用	186
9.3.7 制动电阻的选用	187
9.3.8 热继电器的选用	188
9.3.9 噪声滤波器的选用	188
9.4 变频器常用的外围控制电路	189
9.4.1 正转控制电路	189
9.4.2 正、反转控制电路	191
9.5 变频器的安装、调试与维护	194
9.5.1 安装与接线	194
9.5.2 调试	197
9.5.3 维护	199
9.5.4 常见故障及原因	200

附录 三菱 FR-540 系列变频器参数表

第1章

概述

本章知识结构

1.1 异步电动机的两种调速方式

1.2 变频器的 基本结构 及原理

1.2.1 交-直-交型变频器的结构与原理

1.2.2 交-交型变频器的结构与原理

1.1 异步电动机的两种调速方式

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 和电动机的磁极对数 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 (又称同步转速), 两者的转速差称为转差 s , 电动机的转速为:

$$n = (1 - s) 60f/p$$

由于转差 s 很小 (一般为 $0.01 \sim 0.05$), 为了计算方便, 可认为电动机的转速近似为:

$$n = 60f/p$$

从上面的近似公式可以看出, 三相异步电动机的转速 n 与交流电源的频率 f 和电动机的磁极对数 p 有关, 当交流电源的频率 f 改变时, 电动机的转速会发生变化。通过改变交流电源的频率 f 来调节电动机转速的方法称为变频调速, 通过改变电动机的磁极对数 p 来调节电动机转速的方法称为变极调速。

变极调速只适用于笼型异步电动机 (不适用于绕线型转子异步电动机), 它是通过改变电动机定子绕组的连接方式来改变电动机的磁极对数, 从而实现变极调速的。适合变极调速的电动机称为多速电动机, 常见的多速电动机有双速电动机、三速电动机和四速电动机等。

变频调速方式只适用于结构特殊的多速电动机调速, 而且由一种速度转变为另一种速度时, 速度变化较大, 采用变频调速则可解决这些问题。如果对异步电动机进行变频调速, 需要用到专门的电气设备——变频器。变频器将工频 (50Hz 或 60Hz) 交流电源转换成频率可变的交流电源并提供给电动机, 只要改变输出交流电源的频率就能改变电动机的转速。由于变频器输出电源的频率可连续变化, 故电动机的转速也可连续变化, 从而实现电动机的无级变速调节。图 1-1 所示为几种常见的变频器。

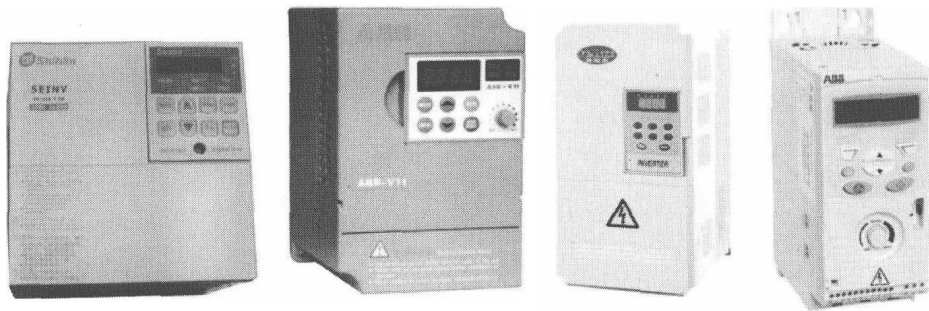


图 1-1 几种常见的变频器



1.2 变频器的基本结构及原理

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，通过改变交流电源的频率来对电动机进行调速控制。变频器种类很多，主要分为两类：交-直-交型变频器和交-交型变频器。

1.2.1 交-直-交型变频器的结构与原理

交-直-交型变频器利用电路先将工频电源转换成直流电源，再将直流电源转换成频率可变的交流电源，然后提供给电动机，通过调节输出电源的频率来改变电动机的转速。交-直-交型变频器的典型结构如图 1-2 所示。

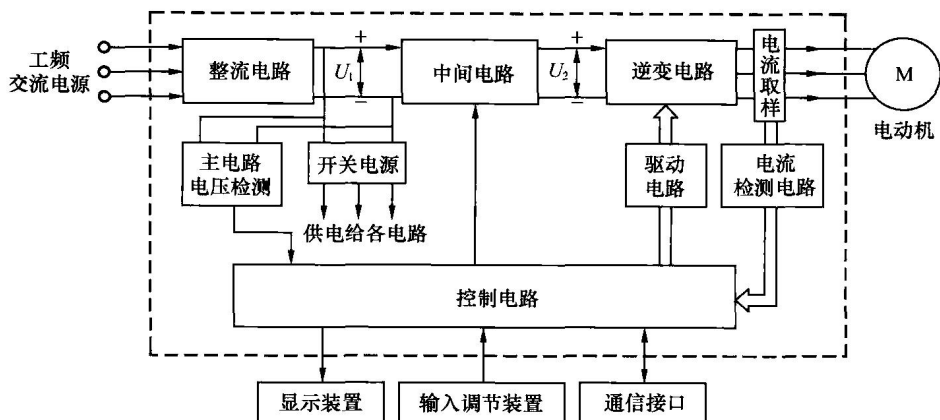


图 1-2 交-直-交型变频器的典型结构框图

下面对照图 1-2 所示框图说明交-直-交型变频器的工作原理。

工频交流电源经整流电路转换成脉动的直流电，直流电经中间电路滤波平滑，然后送到逆变电路；与此同时，控制电路会产生驱动脉冲，经驱动电路放大后送到逆变电路，在驱动脉冲的控制下，逆变电路将直流电转换成频率可变的交流电并送给电动机，驱动电动机运转。改变逆变电路输出交流电的频率，电动机转速就会发生相应的变化。

整流电路、中间电路和逆变电路构成变频器的主电路，用来完成交-直-交的转换。由于主电路工作在高电压大电流状态，为了保护主电路，变频器通常设有主电路电压检测和输出电流检测电路，当主电路电压过高或过低时，电压检测电路会将该情况反映给控制电路，当变频器输出电流过大（如电动机负荷大）时，电流取样元件或电路会产生过电流信号，经电流检测电路处理后也送到控制电路。当主电路电压不正常或输出电流过大时，控制电路通过检测电路获得该情况后，会根据设定的程序做出相应的控制，如让变频器主电路停

止工作，并发出相应的报警指示。

控制电路是变频器的控制中心，当它接收到输入调节装置或通信接口送来的指令信号后，会发出相应的控制信号去控制主电路，使主电路按设定的要求工作，同时控制电路还会将有关的设置和机器状态信息送到显示装置，以显示有关信息，便于用户操作或了解变频器的工作情况。

变频器的显示装置一般采用显示屏和指示灯；输入调节装置主要包括按钮、开关和旋钮等；通信接口用来与其他设备[如可程序控制器（PLC）]进行通信，接收它们发送过来的信息，同时还将变频器的有关信息反馈给这些设备。

1.2.2 交-交型变频器的结构与原理

交-交型变频器利用电路直接将工频电源转换成频率可变的交流电源并提供给电动机，通过调节输出电源的频率来改变电动机的转速。交-交型变频器的结构如图 1-3 所示。从图中可以看出，交-交型变频器与交-直-交型变频器的主电路不同，它采用交-交变频电路直接将工频电源转换成频率可调的交流电源来进行变频调速。

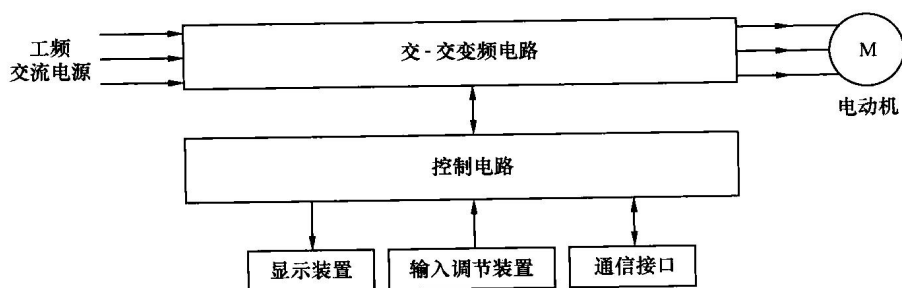


图 1-3 交-交型变频器的结构框图

交-交变频电路一般只能将输入交流电频率降低输出，而工频电源频率本来就低，所以交-交型变频器的调速范围很窄，另外这种变频器要采用大量的晶闸管等电力电子器件，从而导致装置体积大、成本高，故交-交型变频器的使用远没有交-直-交型变频器广泛，因此本书主要介绍交-直-交型变频器。

第2章

电力电子器件

本章知识结构

- | | | |
|----------------------|---|--|
| 2.1 单向晶闸管(SCR) | └ 2.1.1 外形与图形符号
2.1.3 检测 | 2.1.2 结构与工作原理
2.1.4 其他类型的晶闸管 |
| 2.2 门极可关断晶闸管 (GTO) | └ 2.2.1 外形、结构与图形符号
2.2.3 检测 | 2.2.2 工作原理 |
| 2.3 双向晶闸管 (BTT) | └ 2.3.1 图形符号与结构
2.3.3 检测 | 2.3.2 工作原理 |
| 2.4 电力场效应管 (MOSFET) | └ 2.4.1 增强型 MOS 管
2.4.2 耗尽型 MOS 管 | |
| 2.5 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) | └ 2.5.1 外形、结构与图形符号
2.5.3 检测 | 2.5.2 工作原理 |
| 2.6 其他类型的电力电子器件 | └ 2.6.1 静电感应晶体管 (SIF)
2.6.3 集成门极换流晶闸管 (IGCT) | 2.6.2 MOS 控制晶闸管 (MCT)
2.6.4 功率模块和功率集成电路 |
| 2.7 电力电子器件的驱动电路 | └ 2.7.1 电气隔离电路
2.7.3 GTO 驱动电路
2.7.5 IGBT 驱动电路 | 2.7.2 晶闸管驱动电路
2.7.4 电力 MOS 管驱动电路 |
| 2.8 电力电子器件的保护电路 | └ 2.8.1 过电流保护电路
2.8.3 缓冲电路 | 2.8.2 过电压保护电路 |

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。电力电子器件的特点主要有：①能承受的电压高，允许通过的电流大；②通常工作在开关状态；③功耗大、温度高，一般需要安装散热片；④所处理的电功率大，工作时需要驱动电路提供足够的控制信号。

2.1 单向晶闸管 (SCR)

2.1.1 外形与图形符号

单向晶闸管是晶体闸流管的简称，又称可控硅整流器 (Silicon Controlled Rectifier, SCR)，俗称可控硅。单向晶闸管有 3 个电极：阳极 (A)、阴极 (K) 和门极 (G)。图 2-1 (a) 所示为一些常见的单向晶闸管的实物外形，图 2-1 (b) 所示为单向晶闸管的图形符号。

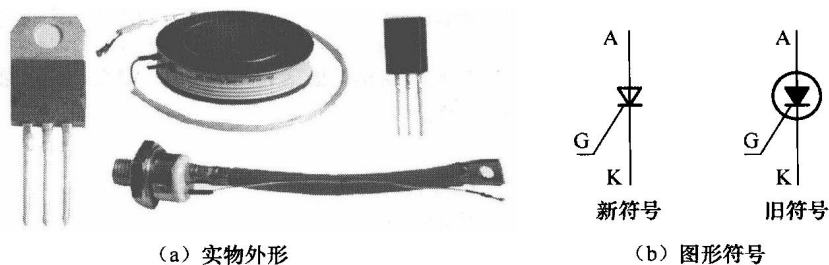


图 2-1 单向晶闸管

2.1.2 结构与工作原理

1. 结构

单向晶闸管的内部结构和等效图如图 2-2 所示。单向晶闸管的内部结构如图 2-2 (a) 所示，它相当于由 PNP 型三极管和 NPN 型三极管以图 2-2 (b) 所示的方式连接而成。

2. 工作原理

下面以图 2-3 所示的电路来说明单向晶闸管的工作原理。

电源 E_2 通过 R_2 为单向晶闸管 A、K 极提供正向电压 U_{AK} ，电源 E_1 经电阻 R_1 和开关 S 为单向晶闸管 G、K 极提供正向电压 U_{GK} 。当开关 S 断开时，VT1 无 I_{B1} 电流而无法导通，VT2 也无法导通，单向晶闸管处于截止状态，电流 I_2 为 0。