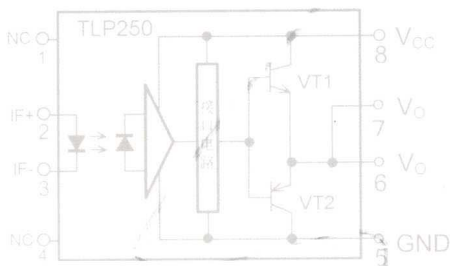


助你轻松迈入电工电子技术的大门

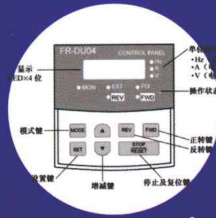
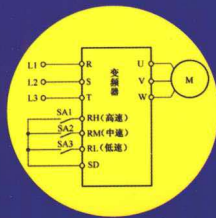
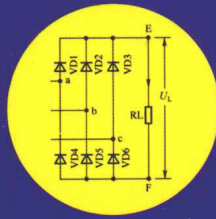
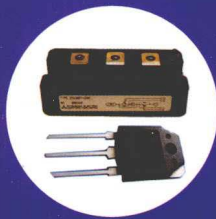
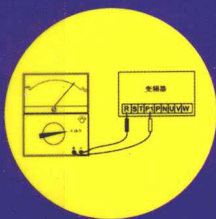
双色图解·重在应用



双色版

变频技术

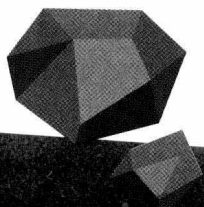
蔡杏山 主编



TUJIE
YIXUE
BIANPIN
JISHU



化学工业出版社



变频技术

蔡杏山 主编

双色版



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

图解易学变频技术(双色版)/蔡杏山主编. —北京:
化学工业出版社, 2012.5

ISBN 978-7-122-13415-8

I. 图… II. 蔡… III. 变频技术-图解 IV. TN77-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第019114号

责任编辑: 李军亮
责任校对: 洪雅姝

文字编辑: 云 雷
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张16 字数350千字 2012年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00元

版权所有 违者必究

变频技术是以电力电子器件和电力电子电路为核心的电能变换技术，电力电子电路主要包括整流电路（AC-DC变换）、斩波电路（DC-DC变换）、逆变电路（DC-AC变换）和交-交变频电路（AC-AC变换）。变频技术应用非常广泛，如变频空调、变频洗衣机、UPS（不间断电源）和电动自行车等，变频技术最典型的应用就是变频器。变频器是一种电机驱动设备，其功能是将工频电源转换成设定频率的电源来驱动电机运行，使用变频器可以很容易对电机进行无级变速等各种调节及控制。

本书共分8章，各章内容简介如下。

第1章 变频技术概述 本章主要介绍了变频技术的类型、发展和异步电机的调速方式及变频器的基本组成原理。

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、绝缘栅双极性晶体管和一些电力电子器件驱动、保护电路。

第3章 电力电子电路 电力电子电路是指利用电力电子器件对工业电能进行变换和控制的大功率电子电路。本章介绍了整流电路、斩波电路、逆变电路、PWM控制技术、交流调压电路和交-交变频电路。

第4章 变频器主电路详解与检修 变频器主电路的功能是对电能进行交-直-交的转换，将工频电源转换成频率可调的交流电源来驱动电机。本章首先介绍了变频器主电路的各单元电路，然后详细分析了两种典型的主电路，最后介绍了检修主电路的方法与技巧。

第5章 变频器电源电路、驱动电路详解与检修 电源电路的功能是为变频器主电路以外的电路提供工作电源，驱动电路的功能是为逆变电路提供工作所需的驱动脉冲。本章主要介绍了变频器的电源电路原理与检修及驱动电路原理与检修。

第6章 变频器其他电路详解与检修 变频器其他电路主要有检测电路和CPU电路。本章主要介绍了变频器的电压、电流、温度检测电路原理与检修和CPU的输入、输出电路原理与检修。

第7章 变频器的使用 变频器是一种电机驱动设备，其功能是将工频电源转换成设定频率的电源来驱动电机运行。本章主要介绍了变频器外形结构、端子接线、操作面板的使

用、操作运行和常用控制功能与参数设置。

第8章 变频器及外围设备的选用、安装与维护 变频器是电气线路中的一个驱动设备，它要和其它部件连接才能组成一个应用系统。本章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和变频器的安装、调试与维护。

变频技术应用越来越广泛，掌握变频技术不但有助于我们灵活使用各种变频设备，还有助于我们检修这些变频设备。本书不但能让您从零开始学习变频电路知识，还能让您轻松学会变频器的电路原理与检修以及变频器的使用、安装和维护。为了让读者能逐渐成为电气控制领域的高手，可以继续学习我们后续推出图书，有关新书信息可登录我们的学习辅导网站 www.eTV100.com 了解，读者在学习过程中遇到问题也可在该网站向我们提问。

本书在编写过程中得到了很多老师的支持，其中蔡玉山、詹春华、何慧、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、黄勇、刘凌云、邵永亮、刘元能、何彬、刘海峰等参与了部分章节的编写工作。由于编者水平有限，书中的疏漏之处在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

编 者

第 1 章

变频技术概述



1

- 1.1 变频技术简介 /1
 - 1.1.1 类型 /1
 - 1.1.2 发展 /1
- 1.2 异步电动机的调速方式与变频器的基本组成 /2
 - 1.2.1 异步电动机的调速方式 /2
 - 1.2.2 变频器的基本组成 /3

第 2 章

电力电子器件



5

- 2.1 单向晶闸管 (SCR) /5
 - 2.1.1 外形与符号 /5
 - 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 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 /16
 - 2.4.2 耗尽型MOS管 /19
- 2.5 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) /20
 - 2.5.1 外形、结构与图形符号 /20
 - 2.5.2 工作原理 /21
 - 2.5.3 检测 /22
- 2.6 其他类型的电力电子器件 /23
 - 2.6.1 静电感应晶体管 (SIF) /23
 - 2.6.2 MOS控制晶闸管 (MCT) /23
 - 2.6.3 集成门极换流晶闸管 (IGCT) /23
 - 2.6.4 功率模块和功率集成电路 /23
- 2.7 电力电子器件的驱动电路 /24
 - 2.7.1 电气隔离电路 /24
 - 2.7.2 晶闸管驱动电路 /25
 - 2.7.3 GTO驱动电路 /25
 - 2.7.4 电力MOS管的驱动电路 /26
 - 2.7.5 IGBT驱动电路 /27
- 2.8 电力电子器件的保护电路 /28
 - 2.8.1 过电流保护电路 /28
 - 2.8.2 过电压保护电路 /28
 - 2.8.3 缓冲电路 /30

- 3.1.1 不可控整流电路 /31
- 3.1.2 可控整流电路 /36
- 3.2 斩波电路 (DC-DC变换电路) /40
 - 3.2.1 基本斩波电路 /40
 - 3.2.2 复合斩波电路 /45
- 3.3 逆变电路 (DC-AC变换电路) /48
 - 3.3.1 逆变原理 /48
 - 3.3.2 电压型逆变电路 /49
 - 3.3.3 电流型逆变电路 /54
 - 3.3.4 复合型逆变电路 /56
- 3.4 PWM控制技术 /58
 - 3.4.1 PWM控制的基本原理 /59
 - 3.4.2 SPWM波的产生 /60
 - 3.4.3 PWM控制方式 /62
 - 3.4.4 PWM整流电路 /66
- 3.5 交流调压电路 /68
 - 3.5.1 单向晶闸管交流调压电路 /68
 - 3.5.2 双向晶闸管交流调压电路 /72
 - 3.5.3 脉冲控制交流调压电路 /75
 - 3.5.4 三相交流调压电路 /77
- 3.6 交-交变频电路 (AC-AC变换电路) /78
 - 3.6.1 单相交-交变频电路 /78
 - 3.6.2 三相交-交变频电路 /81

- 4.1 主电路的单元电路分析 /83
 - 4.1.1 整流电路 /83

- 4.1.2 中间电路 /84
- 4.1.3 逆变电路 /88
- 4.2 主电路实例分析 /90
 - 4.2.1 典型主电路实例分析一 /90
 - 4.2.2 典型主电路实例分析二 /91
- 4.3 主电路的检修 /93
 - 4.3.1 变频器电路的工作流程 /93
 - 4.3.2 主电路各单元电路的常见故障 /94
 - 4.3.3 不带电检修主电路 /96
 - 4.3.4 变频器无输出电压的检修 /98
 - 4.3.5 主电路大量元件损坏的检修 /99

第 5 章

变频器电源电路、驱动 电路详解与检修



101

- 5.1 电源电路详解与检修 /101
 - 5.1.1 开关电源的特点与工作原理 /101
 - 5.1.2 电源电路的取电方式 /104
 - 5.1.3 自激式开关电源典型电路分析 /105
 - 5.1.4 自激式开关电源的检修 /108
 - 5.1.5 它激式开关电源典型电路分析 /110
 - 5.1.6 它激式开关电源的检修 /115
- 5.2 驱动电路详解与检修 /116
 - 5.2.1 驱动电路与其他电路的连接 /117
 - 5.2.2 驱动电路的基本工作原理 /118
 - 5.2.3 四种典型的驱动电路实例分析 /119
 - 5.2.4 制动电路的驱动 /128
 - 5.2.5 检修驱动电路的注意事项及技巧 /129

5.2.6 驱动电路的常见故障及原因 /129

5.2.7 驱动电路的检修 /130

第 6 章

变频器其他电路 详解与检修



137

6.1 检测电路详解与检修 /137

6.1.1 电压检测电路及检修 /137

6.1.2 电流检测电路及检修 /142

6.1.3 温度检测电路 /146

6.2 CPU电路详解与检修 /148

6.2.1 CPU基本电路及检修 /148

6.2.2 外部输入输出端子接口电路及检修 /151

6.2.3 内部输入输出电路及检修 /155

第 7 章

变频器的使用



159

7.1 外形与结构 /159

7.1.1 外形 /159

7.1.2 结构 /160

7.1.3 面板的拆卸 /160

7.2 端子功能与接线 /161

7.2.1 总接线图及端子功能说明 /161

7.2.2 主回路接线 /165

7.2.3 控制回路接线 /168

7.2.4 PU接口的连接 /171

7.3 操作面板的使用 /174

- 7.3.1 操作面板介绍 /174
- 7.3.2 操作面板的使用 /175
- 7.4 操作运行 /178
 - 7.4.1 外部操作运行 /178
 - 7.4.2 PU操作运行 /180
 - 7.4.3 组合操作运行 /181
- 7.5 常用控制功能与参数设置 /182
 - 7.5.1 操作模式选择功能与参数 /183
 - 7.5.2 频率相关功能与参数 /183
 - 7.5.3 启动、加减速控制功能与参数 /186
 - 7.5.4 点动控制功能与参数 /187
 - 7.5.5 转矩提升功能与参数 /188
 - 7.5.6 制动控制功能与参数 /188
 - 7.5.7 工频与变频的切换功能与参数 /190
 - 7.5.8 瞬时停电再启动功能与参数 /192
 - 7.5.9 多挡转速控制功能与参数 /193
 - 7.5.10 程序控制功能与参数 /196
 - 7.5.11 PID控制功能与参数 /198
 - 7.5.12 控制方式功能与参数 /202
 - 7.5.13 电子过流保护功能与参数 (Pr.9) /203
 - 7.5.14 负载类型选择功能与参数 /203
 - 7.5.15 MRS端子输入选择功能与参数 /204
 - 7.5.16 禁止写入和逆转防止功能与参数 /204

第 8 章

变频器及外围设备的 选用、安装与维护



205

- 8.1 变频器的种类及变频调速控制方式 /205
 - 8.1.1 变频器的种类 /205

- 8.1.2 变频调速控制方式 /206
- 8.2 变频器的选用与容量计算 /212
 - 8.2.1 额定值 /212
 - 8.2.2 选用 /213
 - 8.2.3 容量计算 /213
- 8.3 变频器外围设备的选用 /217
 - 8.3.1 主电路外围设备的接线 /217
 - 8.3.2 熔断器的选用 /218
 - 8.3.3 断路器的选用 /218
 - 8.3.4 交流接触器的选用 /218
 - 8.3.5 交流电抗器的选用 /219
 - 8.3.6 直流电抗器的选用 /220
 - 8.3.7 制动电阻 /220
 - 8.3.8 热继电器的选用 /222
 - 8.3.9 噪声滤波器 /222
- 8.4 变频器常用的外围控制电路 /223
 - 8.4.1 正转控制电路 /223
 - 8.4.2 正、反转控制电路 /225
- 8.5 变频器的安装、调试与维护 /227
 - 8.5.1 安装与接线 /227
 - 8.5.2 调试 /231
 - 8.5.3 维护 /232
 - 8.5.4 常见故障及原因 /233

第 1 章

变频技术概述

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。

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

变频技术可分为下面几种类型。

- 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，变频技术也得到迅速的发展，应用越来越广。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在运输业、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，在家用电器应用如变频空调、变频洗衣机、变频微波炉、变频电冰箱等，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发展为基础，主要经历了以下几代。

第一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。

第二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。

第三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以上，它的应用使电气设备的高频化、高效化和小型化得以实现。

第四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 异步电动机的调速方式与变频器的基本组成

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0.01~0.05，为了计算方便，可近似认为电动机的转速与定子的旋转磁场转速相同，即电动机转速近似为

$$n = 60f/p$$

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 发生改变时,电动机的转速就会发生变化。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。通过改变交流电源的频率来调节电动机转速的方法称为变频调速,变频器是通过改变交流电源频率来调节电动机转速。

1.2.2 变频器的基本组成

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。

(1) 外形

图1-1列出了几种常见的变频器。

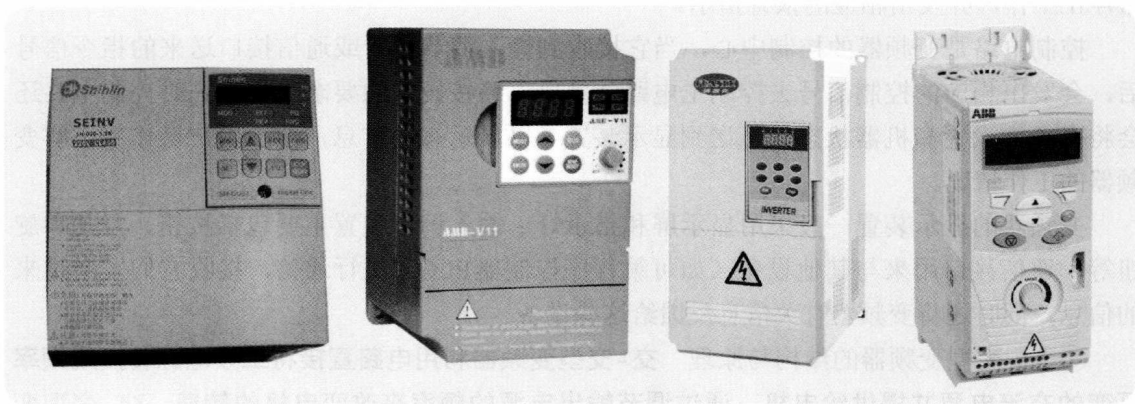


图1-1 几种常见的变频器

(2) 变频器的基本结构及原理

变频器种类很多,主要可分为两类:交-直-交型变频器和交-交型变频器。

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。

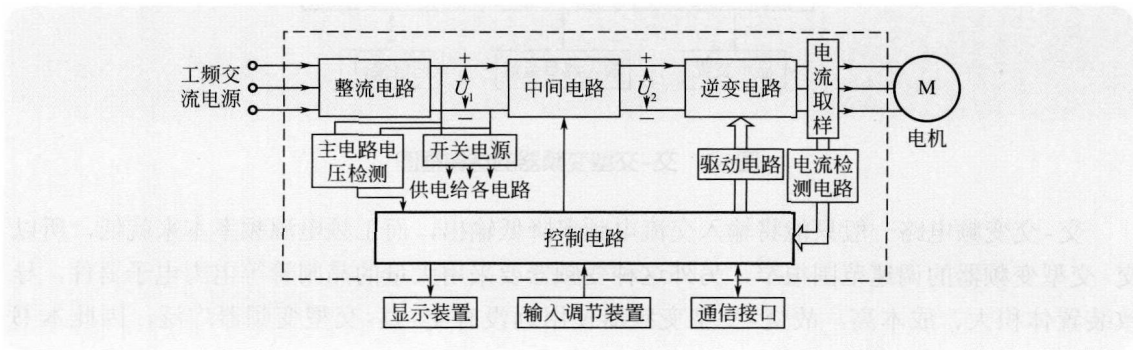


图1-2 交-直-交型变频器的典型结构框图

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，直流电再经中间电路进行滤波平滑，然后送到逆变电路，与此同时，控制系统会产生驱动脉冲，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机，驱动电机运转。改变逆变电路输出交流电的频率，电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，电压检测电路则将该情况反映给控制电路，当变频器输出电流过大（如电机负荷大）时，电流取样元件或电路会产生过流信号，经电流检测电路处理后也送到控制电路。当主电路出现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，会根据设定的程序作出相应的控制，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（如可编程序控制器 PLC）进行通信，接收它们发送过来的信息，同时还将变频器有关信息反馈给这些设备。

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机，通过调节输出电源的频率来改变电机的转速。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的方式进行变频调速。

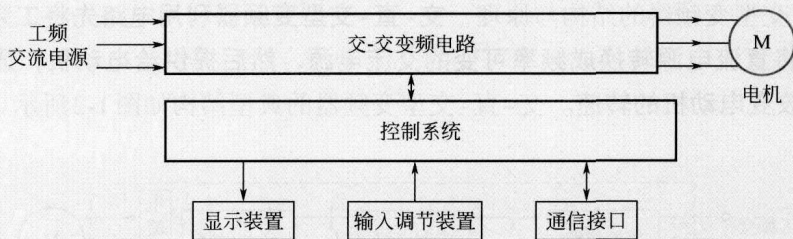


图 1-3 交-交型变频器的结构框图

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，导致装置体积大、成本高，故交-交型变频器使用远没有交-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

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，工作时需要电路提供足够的驱动信号。

2.1 单向晶闸管 (SCR)

2.1.1 外形与符号

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) 为一些常见单向晶闸管的实物外形，图 2-1 (b) 为单向晶闸管的图形符号。

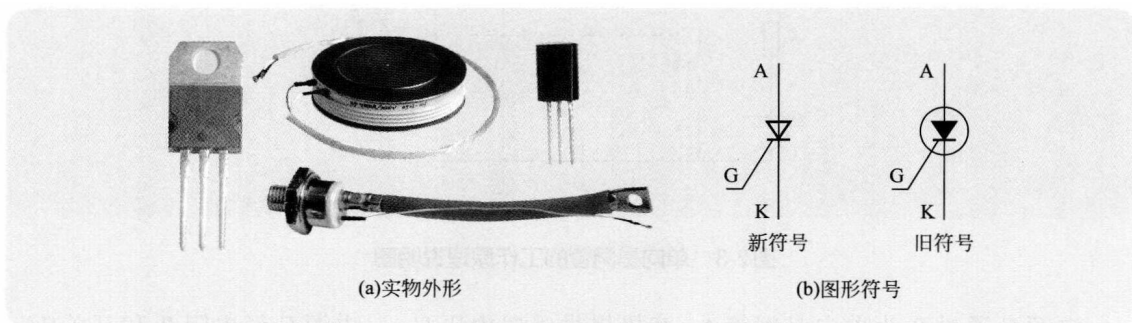


图 2-1 单向晶闸管