电工电子名家畅销书系

图解变频器使用与电路检修

蔡杏山　主编





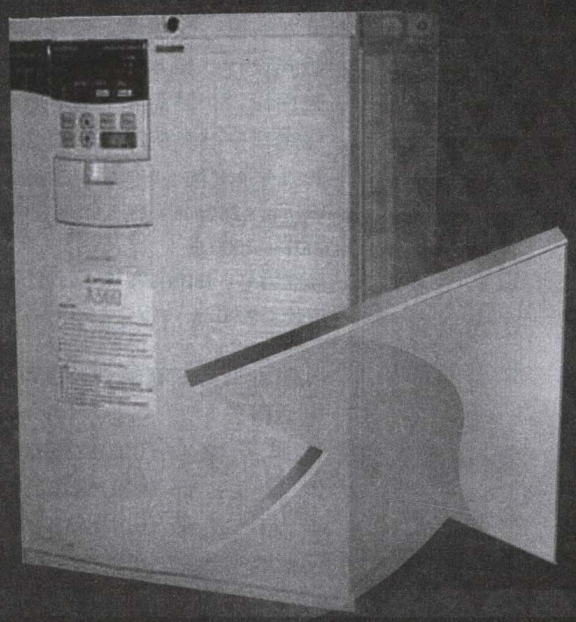
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电工电子名家畅销书系

图解变频器使用与电路检修

蔡杏山　主编





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是一本介绍变频器使用与电路检修的图书。主要内容有变频器的使用、变频器的典型控制功能及应用电路、PLC 与变频器的综合应用、变频器的选用安装与维护、变频器的关键元器件和电路（电力电子器件和电力电子电路）、变频器的主电路详解与检修、变频器的电源驱动电路详解与检修、变频器的其他电路详解与检修。

本书基础起点低、语言通俗易懂、内容图文并茂且循序渐进，读者只要有初级电工电子技术基础，就能通过阅读本书而轻松掌握变频器使用与电路检修。本书适合作初学者学习变频器使用与电路检修的自学图书，也适合作职业院校电类专业变频器使用与电路检修的教材。

图书在版编目（CIP）数据

图解变频器使用与电路检修/蔡杏山主编. —北京：机械工业出版社，2013.7
（电工电子名家畅销书系）
ISBN 978-7-111-42698-1

Ⅰ.①图… Ⅱ.①蔡… Ⅲ.①变频器－使用方法－图解②变频器－电子电路－检修－图解 Ⅳ.①TN77－64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 115345 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：徐明煜 责任编辑：徐明煜 顾 谦
版式设计：霍永明 责任校对：张 征
封面设计：路恩中 责任印制：杨 曦
保定市中画美凯印刷有限公司印刷
2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 15.5 印张 · 352 千字
0001— 4000册
标准书号：ISBN 978-7-111-42698-1
定价：39.90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**

出 版 说 明

我国经济与科技的飞速发展，国家战略性新兴产业的稳步推进，对我国科技的创新发展和人才素质提出了更高的要求。同时，我国目前正处在工业转型升级的重要战略机遇期，推进我国工业转型升级，促进工业化与信息化的深度融合，是我们应对国际金融危机、确保工业经济平稳较快发展的重要组成部分，而这同样对我们的人才素质与数量提出了更高的要求。

目前，人们日常生产生活的电气化、自动化、信息化程度越来越高，电工电子技术正广泛而深入地渗透到经济社会的各个行业，促进了众多的人口就业。但不可否认的客观现实是，很多初入行业的电工电子技术人员，基础知识相对薄弱，实践经验不够丰富，操作技能有待提高。党的十八大报告中明确提出“加强职业技能培训，提升劳动者就业创业能力，增强就业稳定性”。人力资源和社会保障部近期的统计监测却表明，目前我国很多地方的技术工人都处于严重短缺的状态，其中仅制造业高级技工的人才缺口就高达 400 多万人。

秉承机械工业出版社“服务国家经济社会和科技全面进步”的出版宗旨，60 多年来我们在电工电子技术领域积累了大量的优秀作者资源，出版了大量的优秀畅销图书，受到广大读者的一致认可与欢迎。本着“提技能、促就业、惠民生”的出版理念，经过与领域内知名的优秀作者充分研讨，我们打造了“电工电子名家畅销书系”，涉及内容包括电工电子基础知识、电工技能入门与提高、电子技术入门与提高、自动化技术入门与提高、常用仪器仪表的使用以及家电维修实用技能等。

整合了强大的策划团队与作者团队资源，本丛书特色鲜明：①涵盖了电工、电子、家电、自动化入门等细分方向，适合多行业多领域的电工电子技术人员学习；②作者精挑细选，所有作者都是行业名家，编写的都是其最擅长的领域方向图书；③内容注重实用，讲解清晰透彻，表现形式丰富新颖；④以就业为导向，以技能为目标，很多内容都是作者多年亲身实践的看家本领；⑤由资深策划团队精心打磨并集中出版，通过多种方式宣传推广，便于读者及时了解图书信息，方便读者选购。

本丛书的出版得益于业内最顶尖的优秀作者的大力支持，大家经常为了图书的内容、表达等反复深入地沟通，并系统地查阅了大量的最新资料和标准，更新制作了大量的操作现场实景素材，在此也对各位电工电子名家的辛勤的劳动付出和卓有成效的工作表示感谢。同时，我们衷心希望本丛书的出版，能为广大电工电子技术领域的读者学习知识、开

阔视野、提高技能、促进就业，提供切实有益的帮助。

作为电工电子图书出版领域的领跑者，我们深知对社会、对读者的重大责任，所以我们一直在努力。同时，我们衷心欢迎广大读者提出您的宝贵意见和建议，及时与我们联系沟通，以便为大家提供更多高品质的好书，联系信箱为 maryxu1975@163.com。

机械工业出版社

前　言

变频器是一种电动机驱动设备，其功能是将工频电源转换成设定频率的电源来驱动电动机运行。一般的电动机控制电路只能对电动机进行起动、停止、正转和反转等控制，一些调速控制电路也只能对电动机进行几挡不连续的转速调节，而变频器除了具有前述一般控制线路对电动机的控制功能外，还具有一些智能控制功能，最重要的是能对电动机进行连续平滑的无级调速。

学习变频器技术可分为两个层面：一是变频器的使用，即掌握变频器的操作、接线与参数设置等内容；二是变频器的检修，即在变频器出现硬件故障时，可以检查出损坏的元器件和电路并修复。在社会上，掌握变频器使用的人才比较多，掌握变频器电路检修的人才相对较少，而同时掌握变频器的使用和电路检修两项技能的复合型人才就非常稀缺，由于这种复合型人才一个人能完成两个人的工作，在就业市场中非常有竞争力。

本书是一本同时介绍变频器使用和变频器电路检修的图书，全书共 10 章，第 1 ~ 5 章介绍变频器的使用，第 6 ~ 10 章介绍变频器的电路检修，各章内容简介如下：

第 1 章　概述　本章主要介绍异步电动机的两种调速方式和变频器的基本结构及原理。

第 2 章　变频器的使用　本章主要介绍变频器的外形与结构、端子功能与接线、操作面板的使用、操作运行、常用控制功能与参数设置和三菱 FR-700 系列变频器。

第 3 章　变频器的典型控制功能及应用电路　本章主要介绍变频器的电动机正转控制功能及电路，电动机正、反转控制功能及电路，工频与变频切换功能及电路，多挡速控制功能及电路，程序控制功能及应用和 PID 控制功能及应用。

第 4 章　PLC 与变频器的综合应用　本章主要介绍变频器与 PLC 的连接方式，PLC 与变频器连接实现电动机正、反转控制和 PLC 与变频器连接实现多挡转速控制。

第 5 章　变频器的选用、安装与维护　本章主要介绍变频器的种类，选用与容量计算，外围设备的选用和变频器的安装、调试与维护。

第 6 章　变频器的关键器件——电力电子器件　本章主要介绍变频器常用的电力电子器件，具体有单向晶闸管、门极可关断晶闸管、双向晶闸管（BTT）、电力场效应晶体管、绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、其他类型的电力电子器件和电力电子器件的驱动电路及保护电路。

第 7 章　变频器的关键电路——电力电子电路　本章主要介绍变频器常用的电力电子电路，具体有整流电路（AC-DC 变换电路）、斩波电路（DC-DC 变换电路）、逆变电路（DC-AC 变换电路）、PWM 控制技术、交流调压电路和交—交变频电路（AC-AC 变换电路）。

第 8 章　变频器的主电路详解与检修　本章主要介绍变频器的主电路单元电路分析、主电路实例分析和主电路的检修。

第 9 章　变频器的电源、驱动电路详解与检修　本章主要介绍变频器的电源电路详解与检修和驱动电路详解与检修。

第 10 章　变频器的其他电路详解与检修　本章主要介绍变频器的检测电路详解与检修和 CPU 电路详解与检修。

本书由蔡杏山主编。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、朱球辉、蔡春霞、邓艳姣、黄勇、刘凌云、邵永亮、刘元能、何彬、刘海峰、蔡理峰、李清荣、万四香、蔡任英和邵永明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，书中的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

目　录

出版说明

前言

第 1 章　概述 …… 1

1.1　异步电动机的两种调速方式 …… 1
1.2　变频器的基本结构及原理 …… 2
1.2.1　交—直—交型变频器的结构与原理 …… 2
1.2.2　交—交型变频器的结构与原理 …… 3

第 2 章　变频器的使用 …… 4

2.1　外形与结构 …… 4
2.1.1　外形与型号含义 …… 4
2.1.2　结构 …… 4
2.1.3　面板的拆卸 …… 4
2.2　端子功能与接线 …… 6
2.2.1　总接线图及端子功能说明 …… 6
2.2.2　主电路接线 …… 10
2.2.3　控制电路接线 …… 12
2.2.4　PU 接口的连接 …… 15
2.3　操作面板的使用 …… 17
2.3.1　操作面板介绍 …… 17
2.3.2　操作面板的使用 …… 18
2.4　操作运行 …… 22
2.4.1　外部操作运行 …… 22
2.4.2　PU 操作运行 …… 24

2.4.3 组合操作运行 …… 26
2.5 常用控制功能与参数设置 …… 27
2.5.1 操作模式选择功能与参数 …… 27
2.5.2 频率相关功能与参数 …… 27
2.5.3 起动、加减速控制功能与参数 …… 30
2.5.4 点动控制功能与参数 …… 31
2.5.5 转矩提升功能与参数 …… 31
2.5.6 制动控制功能与参数 …… 31
2.5.7 瞬时停电再起动功能与参数 …… 32
2.5.8 控制方式功能与参数 …… 33
2.5.9 电子过电流保护功能与参数（Pr.9） …… 34
2.5.10 负载类型选择功能与参数 …… 34
2.5.11 MRS 端子输入选择功能与参数 …… 34
2.5.12 禁止写入和逆转防止功能与参数 …… 34
2.6 三菱 FR-700 系列变频器介绍 …… 36
2.6.1 三菱 FR-700 系列变频器的特点说明 …… 36
2.6.2 三菱 FR-A700、FR-F700、FR-E700 和 FR-D700 系列变频器的比较 …… 37
2.6.3 三菱 FR-A700 系列变频器的接线图及端子功能说明 …… 40
2.6.4 三菱 FR-500 与 FR-700 系列变频器的比较 …… 43

第 3 章 变频器的典型控制功能及应用电路 …… 46

3.1 电动机正转控制功能及电路 …… 46
3.1.1 开关控制式正转控制电路 …… 46
3.1.2 继电器控制式正转控制电路 …… 47
3.2 电动机正、反转控制功能及电路 …… 48
3.2.1 开关控制式正、反转控制电路 …… 48
3.2.2 继电器控制式正、反转控制电路 …… 49
3.3 工频与变频切换功能及电路 …… 50
3.3.1 变频器跳闸保护电路 …… 51
3.3.2 工频与变频的切换电路 …… 51
3.4 多挡速控制功能及电路 …… 53
3.4.1 多挡转速控制端子 …… 54
3.4.2 多挡控制参数的设置 …… 54
3.4.3 多挡转速控制电路 …… 55
3.5 程序控制功能及应用 …… 56
3.5.1 程序控制参数设置 …… 57

3.5.2　程序运行控制端子 …… 58
3.5.3　程序控制应用举例 …… 58
3.6　PID 控制功能及应用 …… 59
3.6.1　PID 控制原理 …… 59
3.6.2　PID 控制参数设置 …… 60
3.6.3　PID 控制应用举例 …… 61

第 4 章　PLC 与变频器的综合应用 …… 64

4.1　变频器与 PLC 的连接方式 …… 64
4.1.1　开关量连接 …… 64
4.1.2　模拟量连接 …… 65
4.1.3　RS-485 通信连接 …… 65
4.2　PLC 与变频器连接实现电动机正、反转控制 …… 67
4.2.1　控制电路图 …… 67
4.2.2　参数设置 …… 68
4.2.3　编写程序 …… 68
4.2.4　程序详解 …… 68
4.3　PLC 与变频器连接实现多挡转速控制 …… 69
4.3.1　控制电路图 …… 69
4.3.2　参数设置 …… 70
4.3.3　编写程序 …… 71
4.3.4　程序详解 …… 71

第 5 章　变频器的选用、安装与维护 …… 75

5.1　变频器的种类 …… 75
5.2　变频器的选用与容量计算 …… 76
5.2.1　额定值 …… 76
5.2.2　选用 …… 77
5.2.3　容量计算 …… 77
5.3　变频器外围设备的选用 …… 80
5.3.1　主电路外围设备的接线 …… 80
5.3.2　熔断器的选用 …… 80
5.3.3　断路器的选用 …… 81
5.3.4　交流接触器的选用 …… 81
5.3.5　交流电抗器的选用 …… 81
5.3.6　直流电抗器的选用 …… 82

5.3.7 制动电阻的选用 …… 83
5.3.8 热继电器的选用 …… 84
5.3.9 噪声滤波器的选用 …… 84
5.4 变频器的安装、调试与维护 …… 85
5.4.1 安装与接线 …… 85
5.4.2 调试 …… 88
5.4.3 维护 …… 89
5.4.4 常见故障及原因 …… 90

第 6 章 变频器的关键器件——电力电子器件 …… 92

6.1 单向晶闸管 …… 92
6.1.1 外形与符号 …… 92
6.1.2 结构与工作原理 …… 92
6.1.3 检测 …… 94
6.1.4 其他类型的晶闸管 …… 95
6.2 门极关断晶闸管 …… 96
6.2.1 外形、结构与符号 …… 96
6.2.2 工作原理 …… 96
6.2.3 检测 …… 96
6.3 双向晶闸管 …… 97
6.3.1 符号与结构 …… 97
6.3.2 工作原理 …… 98
6.3.3 检测 …… 98
6.4 电力场效应晶体管 …… 100
6.4.1 增强型 MOS 管 …… 100
6.4.2 耗尽型 MOS 管 …… 103
6.5 绝缘栅双极型晶体管 …… 104
6.5.1 外形、结构与图形符号 …… 104
6.5.2 工作原理 …… 104
6.5.3 检测 …… 106
6.6 其他类型的电力电子器件 …… 106
6.6.1 静电感应晶体管 …… 106
6.6.2 MOS 控制晶闸管 …… 107
6.6.3 集成门极换流晶闸管 …… 107
6.6.4 功率模块和功率集成电路 …… 107
6.7 电力电子器件的驱动电路 …… 107

6.7.1　电气隔离电路 …… 108
6.7.2　晶闸管驱动电路 …… 108
6.7.3　GTO 晶闸管驱动电路 …… 109
6.7.4　电力 MOS 管驱动电路 …… 109
6.7.5　IGBT 驱动电路 …… 110
6.8　电力电子器件的保护电路 …… 111
6.8.1　过电流保护电路 …… 111
6.8.2　过电压保护电路 …… 111
6.8.3　缓冲电路 …… 113

第 7 章　变频器的关键电路——电力电子电路 …… 114

7.1　整流电路（AC-DC 变换电路） …… 114
7.1.1　不可控整流电路 …… 114
7.1.2　可控整流电路 …… 119
7.2　斩波电路（DC-DC 变换电路） …… 123
7.2.1　基本斩波电路 …… 123
7.2.2　复合斩波电路 …… 127
7.3　逆变电路（DC-AC 变换电路） …… 130
7.3.1　逆变原理 …… 130
7.3.2　电压型逆变电路 …… 131
7.3.3　电流型逆变电路 …… 135
7.3.4　复合型逆变电路 …… 138
7.4　PWM 控制技术 …… 140
7.4.1　PWM 控制的基本原理 …… 140
7.4.2　SPWM 波的产生 …… 141
7.4.3　PWM 控制方式 …… 144
7.4.4　PWM 整流电路 …… 147
7.5　交流调压电路 …… 149
7.5.1　单向晶闸管交流调压电路 …… 149
7.5.2　双向晶闸管交流调压电路 …… 153
7.5.3　脉冲控制交流调压电路 …… 155
7.5.4　三相交流调压电路 …… 157
7.6　交—交变频电路 …… 158
7.6.1　单相交—交变频电路 …… 158
7.6.2　三相交—交变频电路 …… 160

第 8 章　变频器的主电路详解与检修 …… 162

8.1　主电路的单元电路分析 …… 162
8.1.1　整流电路 …… 162
8.1.2　中间电路 …… 163
8.1.3　逆变电路 …… 166
8.2　主电路实例分析 …… 168
8.2.1　典型主电路实例分析一 …… 168
8.2.2　典型主电路实例分析二 …… 169
8.3　主电路的检修 …… 171
8.3.1　变频器电路的工作流程 …… 172
8.3.2　主电路各单元电路的常见故障 …… 172
8.3.3　不带电检修主电路 …… 174
8.3.4　变频器无输出电压的检修 …… 176
8.3.5　主电路大量元器件损坏的检修 …… 176

第 9 章　变频器的电源、驱动电路详解与检修 …… 179

9.1　电源电路详解与检修 …… 179
9.1.1　开关电源的特点与工作原理 …… 179
9.1.2　电源电路的取电方式 …… 182
9.1.3　自激式开关电源典型电路分析 …… 182
9.1.4　自激式开关电源的检修 …… 186
9.1.5　他激式开关电源典型电路分析 …… 188
9.1.6　他激式开关电源的检修 …… 192
9.2　驱动电路详解与检修 …… 194
9.2.1　驱动电路与其他电路的连接 …… 194
9.2.2　驱动电路的基本工作原理 …… 195
9.2.3　四种典型的驱动电路实例分析 …… 196
9.2.4　制动电路的驱动 …… 204
9.2.5　检修驱动电路的注意事项及技巧 …… 205
9.2.6　驱动电路的常见故障及原因 …… 206
9.2.7　驱动电路的检修 …… 207

第 10 章　变频器的其他电路详解与检修 …… 213

10.1　检测电路详解与检修 …… 213
10.1.1　电压检测电路及检修 …… 213

10.1.2　电流检测电路及检修 …… 218
10.1.3　温度检测电路 …… 222
10.2　CPU 电路详解与检修 …… 224
10.2.1　CPU 基本电路及检修 …… 224
10.2.2　外部输入、输出端子接口电路及检修 …… 227
10.2.3　内部输入、输出电路及检修 …… 230

第1章 概　述

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 ~ 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 发生改变时，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（不适用于绕线转子异步电动机），它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。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。

变极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，即变频器。变频器先将工频（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接变化，故电动机的转速也可连续变化，从而实现电动机无级变速调节。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。

1.2.1　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框图如图 1-2 所示。

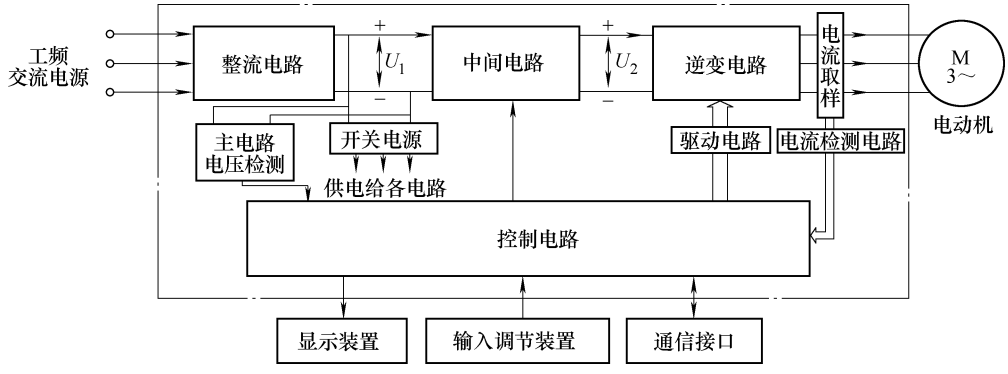


图 1-2　交—直—交型变频器的典型结构框图

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。

三相或单相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，电压检测电路则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。

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—交型变频器的结构框图如图 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。

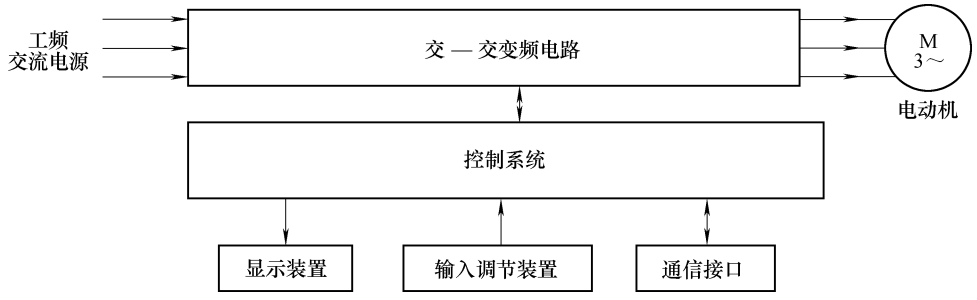


图 1-3 交—交型变频器的结构框图

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。