

变频技术



四川大学出版社



中国水电七局高级技工学校
国家中职示范校重点支持电气自动化设备
安装与维修专业建设教材
编审委员会

主任 黄 健

副主任 代 军 鲁煜鹏

主 编 邹灵心

委 员 王莉萍 黄长桦 苏 珩

前 言

中国水电七局高级技校是首批国家重点技工学校、国家级重点中等职业学校，是教育部、人社部和财政部批准的国家级中等职业教育改革发展示范校建设单位。为积极推进教育内容创新，以人才培养对接用人需求、专业对接产业、课程对接岗位、教材对接技能为切入点，我们组织教学经验丰富的骨干教师与行业、企业的一线技术能手，共同编写了电气自动化设备安装与维修专业的《变频技术》一书。

这次教材编写的重点主要体现在以下几个方面：

第一，坚持以能力为本位，重视实践能力的培养，突出职业教育特色。根据我校电气自动化设备安装与维修专业毕业生的实际需要，合理确定学生应具备的能力结构与知识结构，同时，加强了实践性教学内容。

第二，体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，有利于帮助学生掌握知识、形成技能和提高能力。

第三，按照教学规律和学生的认知规律，合理安排教材内容。

第四，突出教材的先进性，较好地编入新技术、新设备、新材料和新工艺的内容，以缩短学校教育与企业需要的距离，更好地满足企业用人的需求。

本书在编写过程中，得到了中国水电七局有限公司机电安装分局、朋昌电力设备有限公司、夹江水工机械有限公司等企业专家的大力支持，在此表示衷心的感谢。当然，因作者的水平有限，编写过程中难免存在不当之处，恳请读者提出宝贵意见。

中国水电七局高级技工学校
电气自动化设备安装与维修专业部

2014年3月

目 录

模块一 变频器的拆装与维护	(1)
任务一 认识变频器	(1)
任务二 变频器的拆装	(11)
任务三 变频器的安装、选择和维护	(15)
模块二 变频器的基本操作	(22)
任务一 变频器功能参数设置与操作	(22)
任务二 变频器报警与保护功能实训	(30)
任务三 变频器的多段速运行操作	(33)
任务四 外部端子点动控制	(37)
任务五 外部端子遥控控制	(39)
任务六 电动机启、停加减速时间控制	(42)
任务七 瞬间停电变频器参数设定	(45)
任务八 外部模拟量 (电压/电流) 变频调速控制	(48)
模块三 PLC 与变频器的调速系统	(53)
任务一 PLC 与变频器的连接	(53)
任务二 PLC 控制变频器实现电动机的正反转	(59)
任务三 变频与工频的切换控制	(63)
模块四 变频调速在金属切削机床中的应用	(69)
任务一 变频调速在车床主运动拖动系统中的应用	(69)
任务二 变频调速在龙门刨床拖动系统中的应用	(74)
模块五 恒压供水系统中的变频技术	(86)
模块六 电梯系统中的变频技术	(91)
任务一 认识电梯	(91)
任务二 利用 PLC 和变频器对电梯进行改造	(96)



模块七 中央空调系统中的变频技术·····	(105)
任务一 认识中央空调系统·····	(105)
任务二 中央空调的变频调速·····	(109)
附录 A 变频器异常显示一览	
(三菱变频器)·····	(117)
附录 B 变频器常见故障原因及对策	
(三菱变频器)·····	(120)
参考文献·····	(122)



模块一 变频器的拆装与维护

任务一 认识变频器

任务目标

熟悉变频器及其分类，掌握通用变频器的基本结构，理解通用变频器的基本工作原理及主要功能。

任务引入与分析

近年来，异步电动机的调速技术有了较大的提升，使得三相交流异步电动机在工农业生产中得到了迅速的推广和应用。

在交流异步电动机的诸多调速方法中，变频器调速的性能最好，调速范围宽，静态特性好，运行效率高。采用通用变频器对笼式异步电动机进行速度控制，使用方便，可靠性高，经济效益显著，现已逐步得到推广。那么，变频器是由哪些部分组成的？它是如何实现变频器调速的呢？

相关知识

一、变频器及其分类

1. 变频器

变频器是一种利用电力半导体器件的通断作用，将工频交流电源变换成频率、电压连续可调的电能控制装置，如图 1-1 所示。

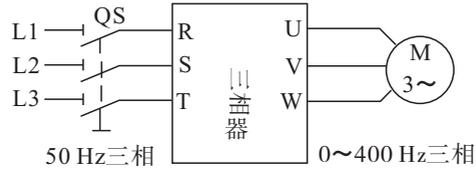


图 1-1 变频器的连接图

2. 变频器的分类

变频器的种类很多，分类方法也有多种，常见的分类方式见表 1-1。

表 1-1 变频器的分类

分类方式	种类
按供电电压分	低压变频器 (110 V 220 V 380 V) 中压变频器 (500 V 660 V 1140 V) 高压变频器 (3 kV 3.3 kV 6 kV 6.6 kV 10 kV)
按供电电源的相数分	单相输入变频器 三相输入变频器
按直流电源的性质分	电流型变频器 电压型变频器
按变换环节分	交一直一交变频器 交—交变频器
按输出电压调制方式分	PAM (脉幅调制) 控制变频器 PWM (脉宽调制) 控制变频器
按控制方式分	U/f 控制变频器 转差频率控制变频器 矢量控制变频器
按输出功率大小分	小功率变频器 中功率变频器 大功率变频器
按用途分	通用变频器 高性能专用变频器 高频变频器
按主开关器件分	IGBT 变频器 GOT 变频器 GTR 变频器
按机壳外形分	塑壳变频器 铁壳变频器 柜式变频器
按其商标所有权分	国产变频器 进口变频器



二、通用变频器的基本结构

目前，通用变频器的变换环节大多采用交—直—交变频变压方式。交—直—交变频器是先把工频交流电通过整流器变成直流电，然后再把直流电逆变成频率、电压连续可调的交流电。通用变频器主要由主电路和控制电路组成，而主电路又包括整流电路、直流中间电路和逆变电路三部分，其基本构成框图如图 1-2 所示。

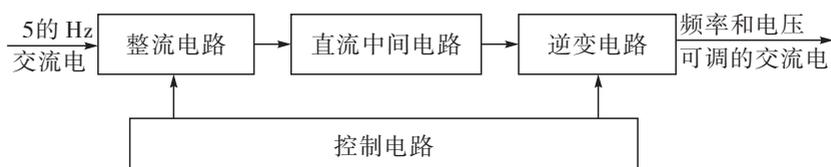


图 1-2 交—直—交变频器的基本构成框图

1. 变频器的主电路

图 1-3 所示为通用变频器的主电路，各部分作用见表 1-2。

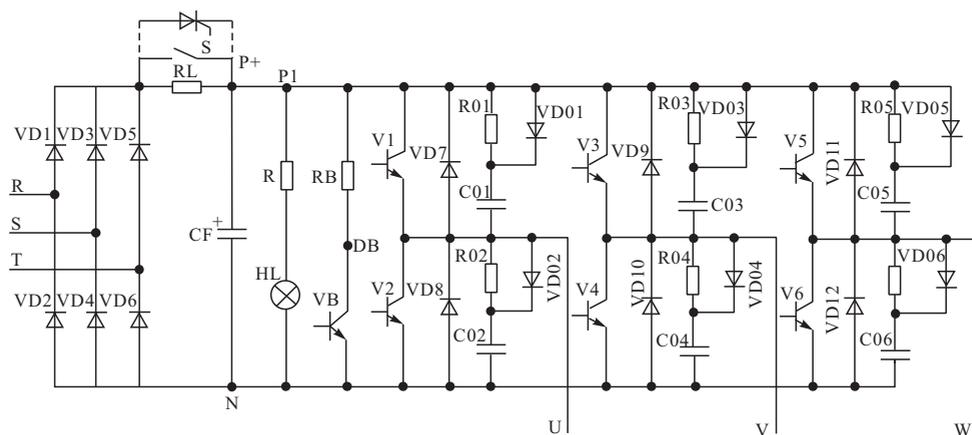


图 1-3 变频器的主电路

表 1-2 交—直—交变频器主电路元件的作用

整流电路部分：将频率固定的三相交流电变换成直流电			
元件	三相整流桥 VD1~VD6	滤波电容器 CF	限流电阻 RL 与开关 S
			电源指示灯 HL



作用	将交流电变换成脉动直流电。若电源线电压为 $\textcircled{R}U_{\textcircled{L}1}$ ，则整流后的平均电压 $\textcircled{R}U_{\textcircled{L}d} = 1.35\textcircled{R}U_{\textcircled{L}1}$	滤出桥式整流后的电压纹波，保持直流电压平稳	接通电源时，将电容器 CF 的充电冲击电流限制在允许的范围内，以保护整流桥。而当 CF 充电到一定程度时，令开关 S 接通，将 RL 短路。在有些变频器里，S 由晶闸管代替	HL 除了表达电源是否接通外，另一个功能是变频器切断电源后，指示电容器 CF 上的电荷是否已经释放完毕。在维修变频器时，必须等 HL 完全熄灭后才能接触变频器的内部带电部分，以保证安全
逆变电路部分：将直流电逆变成频率、幅值都可调的交流电				
元件	三相逆变桥 V1~V6	续流二极管 VD7~VD12	缓冲电路 R01~R06、VD01~VD06、C01~C06	制动电阻 RB 和制动三极管 VB
作用	通过逆变管 V1~V6 按一定规律轮流导通和截止，将直流电逆变成频率、幅值都可调的三相交流电	在换相过程中为电流提供通路	限制过高的电流和电压，保护逆变管免遭损坏	当电动机减速，变频器输出频率下降过快时，消耗因电动机处于再生发电制动状态而回馈到直流电路中的能量，以避免变频器本身的过电压保护电路动作而切断变频器的正常输出

2. 变频器的控制电路

变频器的控制电路为主电路提供控制信号，其主要任务是完成对逆变器开关元件的开关控制和提供多种保护功能。控制方式有模拟控制和数字控制两种。

通用变频器控制电路的控制框图如图 1-4 所示，主要由主控板、键盘和显示板、电源板与驱动板、外接控制电路等构成。各部分功能见表 1-3。

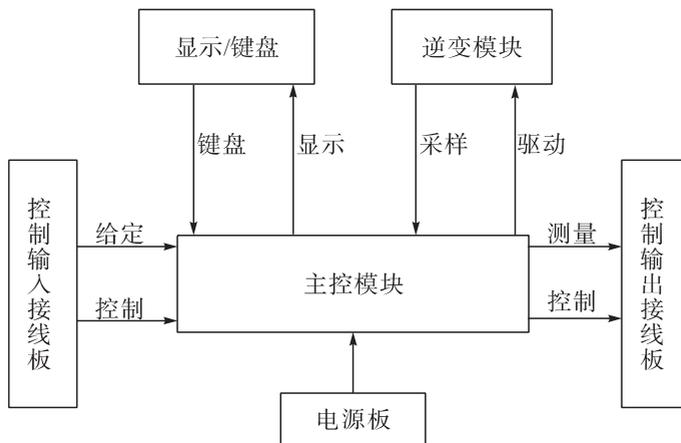


图 1-4 通用变频器的控制框图



表 1-3 控制电路各部分的功能

主控板	变频器运行的控制中心，其核心器件是微控制器（单片微机）或数字信号处理器（DSP）
键盘与显示板	键盘与显示板总是组合在一起。键盘向主控板发出各种信号或指令，主要用于向变频器发出运行控制指令或修改运行数据等
电源板与驱动板	变频器的内部电源普遍使用开关稳压电源
外接控制电路	外接电路可实现由电位器、主令电器、继电器及其他自控设备对变频器的运行控制，并输出其运行状态、故障报警、运行数据信号等

三、变频器中常用电力半导体器件

通用变频器逆变电路使用的电力半导体器件主要有电力晶体管 GTR、电力场效应晶体管 MOSFET、绝缘栅双极晶体管 IGBT、门极可关断晶闸管 GTO 和智能功率模块 IPM 等，下面主要介绍 GTR、IGBT 和 IPM。

1. 电力晶体管 GTR

GTR 是一种高击穿电压、大容量的晶体管。它具有自关断能力，并具有开关时间短、饱和压降低和安全工作区宽等优点。

(1) GTR 的基本结构。

GTR 模块的外形结构、图形符号及内部电路如图 1-5 所示。

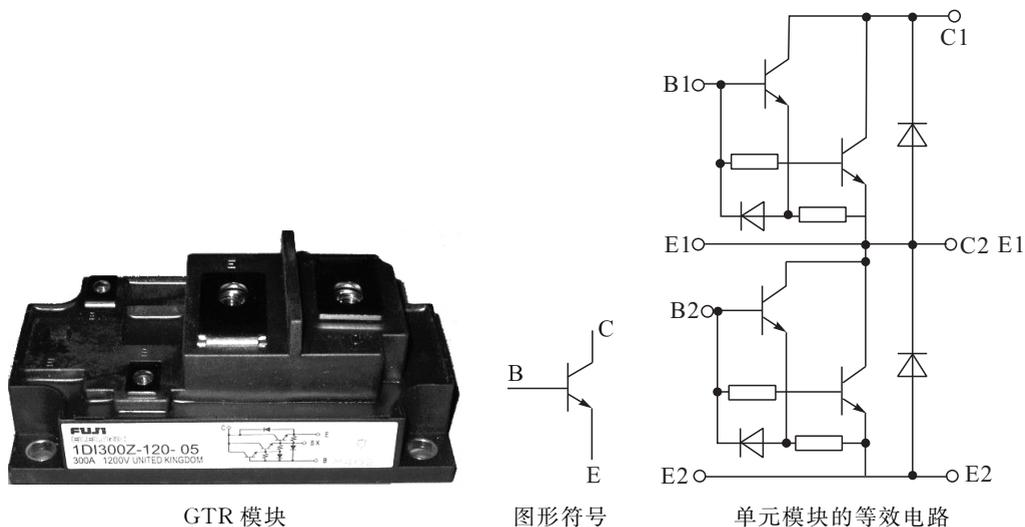


图 1-5 GTR 模块的外形结构、图形符号及内部电路

通用变频器中普遍使用的是模块型电力晶体管，这种电力晶体管的三个极与散热片隔离，也就是散热片上不带电。模块型电力晶体管一个模块的内部结构有一单元结构、二单元结构、四单元结构和六单元结构四种。

(2) GTR 模块的主要参数。

① 开路阻断电压 U_{CE0} ，例如 2DI200D-100。



②集电极最大持续电流 I_{CM} ，例如 6DI15Z-120。

(3) GTR 的选择方法。

①开路阻断电压 U_{CEO} 的选择。 U_{CEO} 通常按电源线电压峰值的 2 倍来选择。

$$U_{CEO} \geq 2\sqrt{2}U_L \quad (1-1)$$

②集电极最大持续电流 I_{CM} 的选择。 I_{CM} 通常按输出交流线电流峰值的 2.25 倍来选择。

$$I_{CM} \geq 2.25I_N \quad (1-2)$$

2. 绝缘栅双极晶体管 IGBT

IGBT 是 MOSFET 和 GTR 相结合的产物，其主体部分与 GTR 相同，也有集电极和发射极，但驱动部分却和 MOSFET 相同，是绝缘栅结构。见图 1-6。

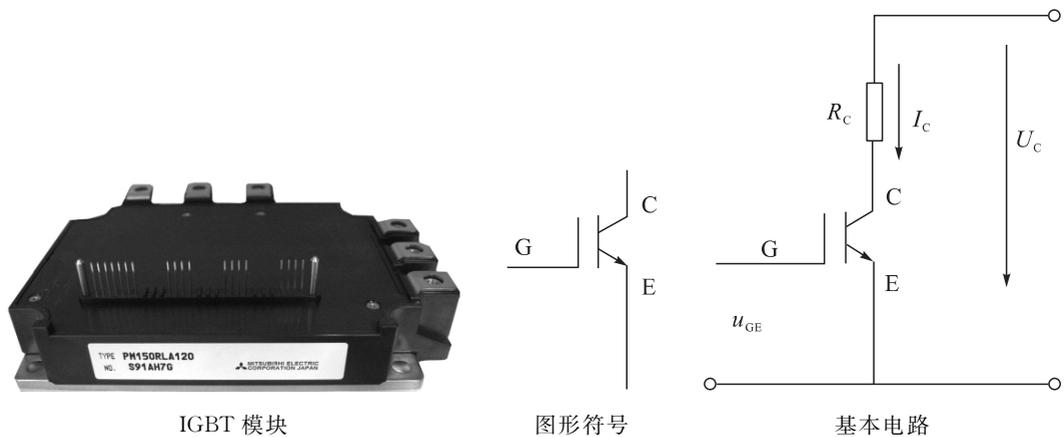


图 1-6 IGBT 模块的图形符号及基本电路

(1) IGBT 的特点。

IGBT 在外形上有模块型和芯片型两种，在通用变频器中使用的 IGBT 一般是模块型。见图 1-7。

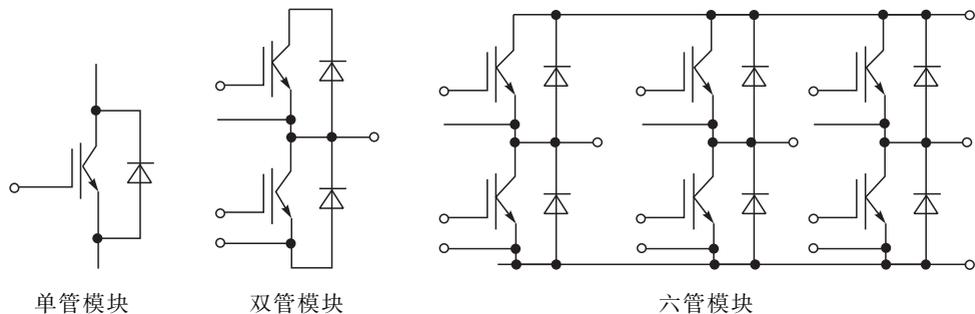


图 1-7 IGBT 模块的内部电路

(2) IGBT 的主要参数。



- ①集电极—发射极额定电压 $\oplus U_{\oplus CES}$ 。
- ②栅极—发射极额定电压 $\oplus U_{\oplus GES}$ 。
- ③额定集电极电流 $\oplus I_{\oplus C}$ 。

3. 智能功率模块 IPM

IPM 的主要特点如下：

- (1) 内含设定了最佳的 IGBT 驱动条件的驱动电路。
- (2) 内含完善的保护功能及相应的报警输出信号。
- (3) 内含制动电路。
- (4) 散热效果良好。

四、变频器的工作原理和功能

1. 变频器的工作原理

(1) 逆变的基本工作原理。

将直流电变换为交流电的过程称为逆变，完成逆变功能的装置叫逆变器。见图 1-8 和图 1-9。

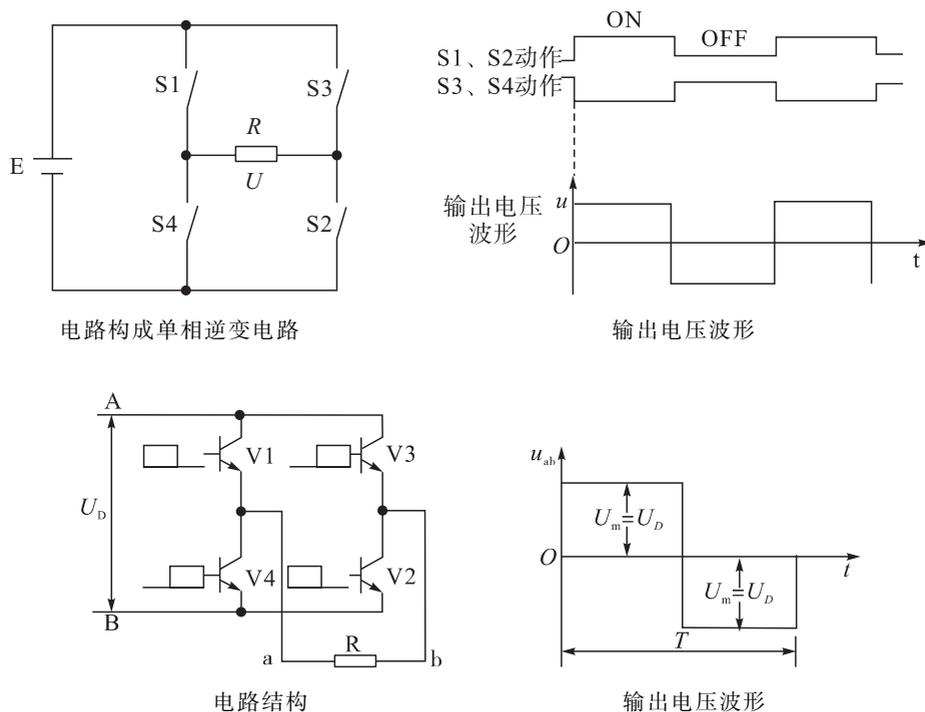


图 1-8 单相逆变电路工作原理图

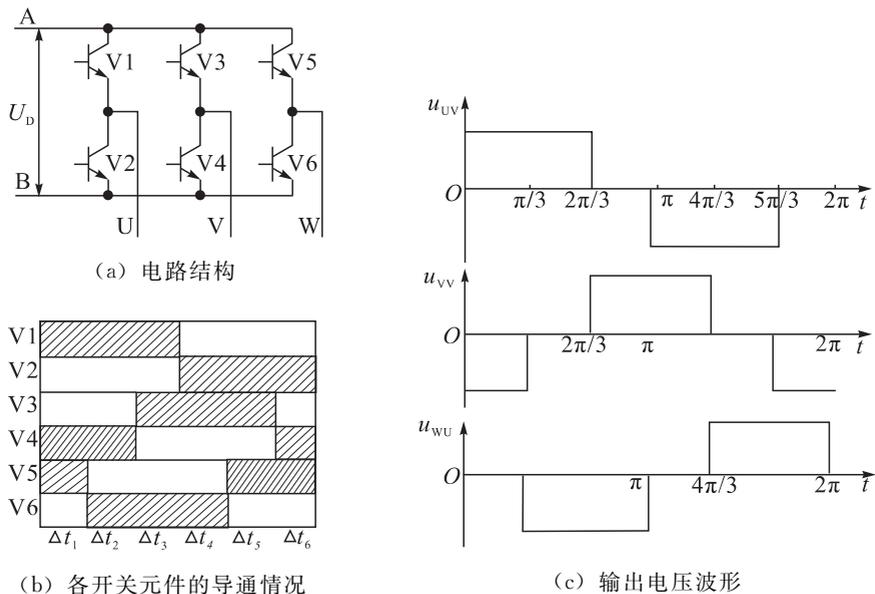


图 1-9 三相逆变电路工作原理图

(2) U/f 控制。

U/f 控制是在改变变频器输出电压频率的同时改变输出电压的幅值，以维持电动机磁通基本恒定，从而在较宽的调速范围内，使电动机的效率、功率因数不下降。

$$\Phi_m = \frac{E}{4.44f_1 N_1} \quad (1-3)$$

要使电动机的磁通在整个调速过程中保持不变，只要在改变电源频率的同时改变电动机的感应电动势 E ，使其满足为常数即可。

(3) 脉冲宽度调制 (PWM) 技术。

实现变频变压的方法有多种，目前应用较多的是脉冲宽度调制技术，简称 PWM 技术。见图 1-10。

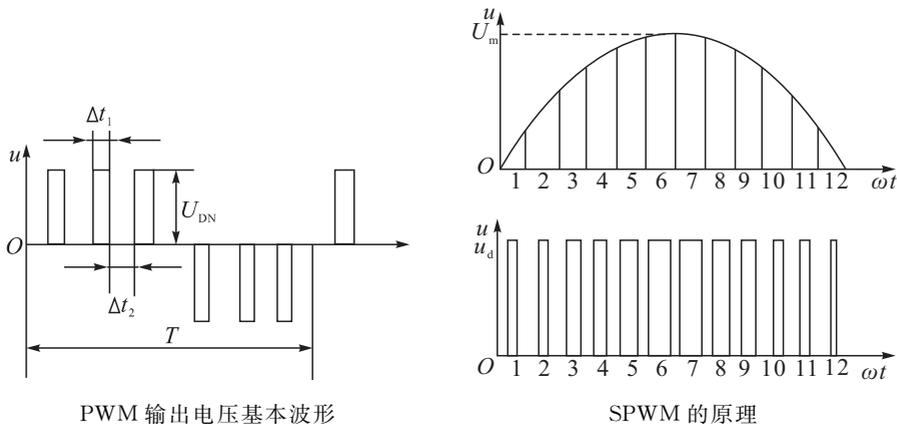


图 1-10 PWM 技术图



(4) 三相异步电动机变频调速后的机械特性见图 1-11。

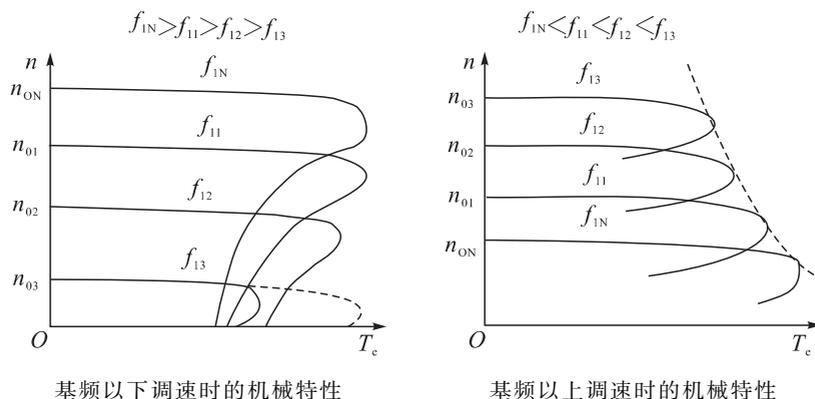


图 1-11 变频调速机械特性图

把基频以上调速和基频以下调速两种情况结合起来，可得图 1-12 所示的异步电动机变频调速控制特性。

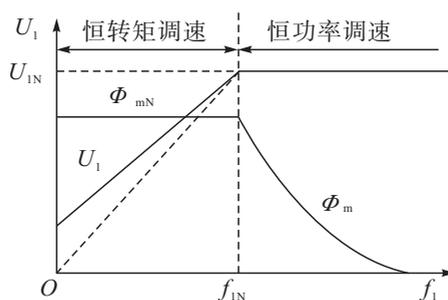


图 1-12 异步电动机变频调速控制特性

2. 变频器的功能

(1) 系统所具有的功能。

- ① 全范围转矩自动增强功能。
- ② 防失速功能。
- ③ 过转矩限定运行功能。
- ④ 运行状态检测显示功能。
- ⑤ 自动节能运行功能。
- ⑥ 自动电压调整功能。
- ⑦ 通过外部信号对变频器进行启停控制的功能。

(2) 频率设定功能。

- ① 给定频率的设定方法。
- ② 基本频率 $\text{Ⓔ}(f_{\text{b}})$ 和最高频率 $\text{Ⓔ}(f_{\text{max}})$ 。



③ 上限频率 f_{H} 和下限频率 f_{L} 。

④ 载波频率。

⑤ 点动频率。

(3) 升速时间和降速时间的设定功能。

① 升速时间的设定。

② 降速时间的设定。

其一，工作频率从基本频率降至 0 Hz 所需的时间；

其二，工作频率从最高频率降至 0 Hz 所需的时间。

(4) 变频器的保护功能。

① 过电流保护功能。

② 过载保护功能。

③ 电压保护功能。

(5) 变频器控制方式的选择功能，见图 1-13。

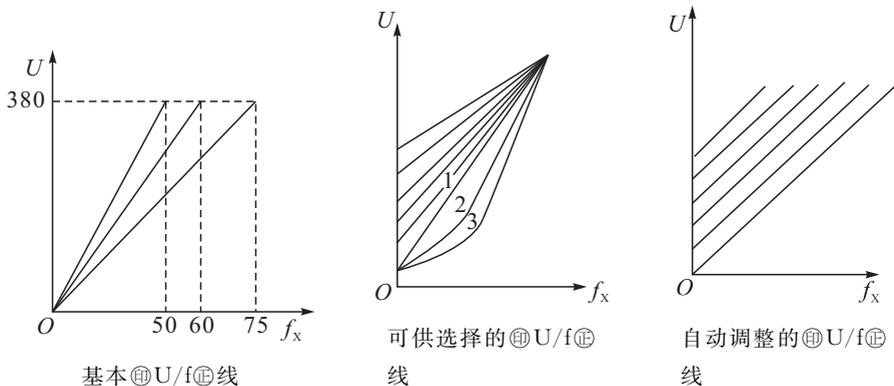


图 1-13 变频器控制方式选择功能图

任务实施

- (1) 学员对变频器的分类进行描述。
- (2) 指导教师指定变频器的型号，学员对铭牌数据进行描述。
- (3) 学员对变频器的结构进行描述。
- (4) 指导教师进行总结。



任务评价

成绩评定表见表 1-4。

表 1-4 成绩评定表

项目内容	配分	等级	评分细则	得分
变频器的分类描述	30 分	30 分	能够正确进行描述	
		20 分	有一处描述不准确	
		10 分	有两处或以上描述不准确	
		0 分	不能进行描述	
变频器的铭牌识读	40 分	40 分	能够正确识读	
		30 分	有一处识读不准确	
		20 分	有两处或以上识读不准确	
		0 分	不能进行识读	
变频器的结构描述	30 分	30 分	能够正确进行描述	
		20 分	有一处描述不准确	
		10 分	有两处或以上描述不准确	
		0 分	不能进行描述	
总 分				

任务二 变频器的拆装

任务目标

熟悉变频器的外形和内部结构，掌握变频器的拆装方法、操作面板各按键的功能和接线端子的功能。

任务引入与分析

在认识了变频器的基本结构及工作原理后，应如何进行变频器的拆卸和安装呢？下面就来学习相关知识。



相关知识

一、前端盖的拆卸与安装

1. 拆卸

前端盖的拆卸如图 1-14 所示，步骤如下：

- (1) 手握着前端盖板上部两侧向下推。
- (2) 握着向下前盖板向身前拉，就可以将其拆下 [带着 PU (FR-DU04/FR-PU04) 时也可以连参数单元一起拆下]。

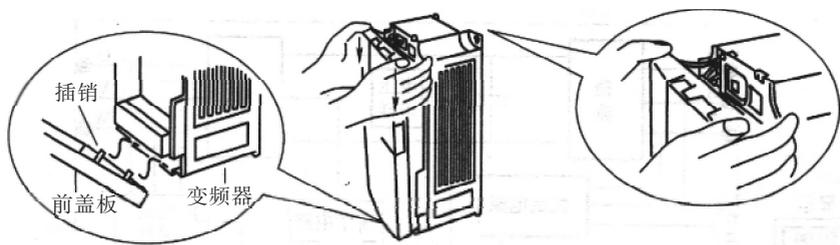


图 1-14 前端盖的拆装

2. 安装

- (1) 将前盖板的插销插入变频器底部的插孔。
- (2) 以安装插销部分为支点将盖板完全推入机身。

注意：安装前盖板前应拆去操作面板；为确保安全，请断开电源再拆装。

二、操作面板的拆卸与安装

1. 拆卸

操作面板的拆装如图 1-15 所示，一边按着操作面板上部的按钮，一边拉向身前，即可拆下。

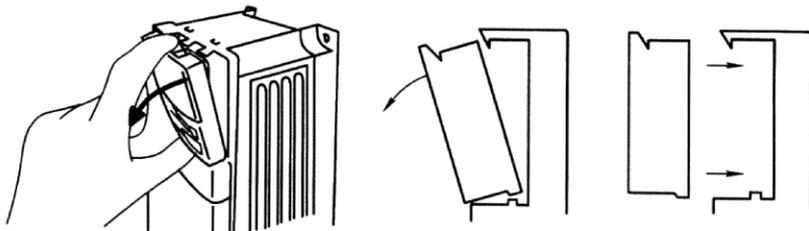


图 1-15 操作面板的拆装