

通用变频器的基本操作

变频器是由计算机控制电力电子器件,将工频交流电变为频率和电压可调的三相交流电的电气设备,用以驱动交流异步(同步)电动机进行变频调速。

以前,直流调速一直优于交流调速,因为直流调速系统具有较为优良的静态和动态性能指标。在一些调速性能要求较高的场合大都采用直流调速。因此,很长的一个时期内,调速传动领域基本被直流电动机调速系统所垄断。

直流电动机虽然具有调速性能较好的优越性,但也有一些难以克服的缺点,主要表现为:①维修工作量大,事故率高;②功率、电压、电流和转速上限均受到换向条件的制约,难于提高。

交流电动机的功率、电压、电流和转速上限不像直流电动机那样受限制,且具有结构简单、造价低、坚固耐用、事故率低、易维护等优点。但其最大的缺点是调速困难。

进入 20 世纪 80 年代,由于电力电子器件和微电子技术的发展,尤其是电力电子器件(包括半控型和全控型)的制造技术、电力电子变流技术、交流电动机的矢量变换控制技术及直接转矩控制技术、脉宽调制技术以及微型计算机和大规模集成电路为基础的全数字化技术取得突破性的进展,使得交流变频调速技术也得到了高速发展,变频器的性能得到完善,交流调速系统已经可以与直流调速系统相媲美。

特别是近 10 年来,伴随着交流调速技术上的突破,变频器性能得到了飞速发展,使得交流调速达到了与直流调速一样的水平,并且在某些方面超过了直流调速。操作者通过设置必要的变频器参数,即可利用变频器控制电动机按照人们预想的曲线运行,例如,在本书单元 3 中所介绍的货物升降机运行的“S”曲线、恒压供水控制、龙门刨床拖动系统的速度控制等。目前,由于出现了高电压、大电流的电力电子器件,对 10kV 电动机直接进行变频调速,可以达到节能的目的。另外,由于绝缘栅双极型晶体管(IGBT)的出现,变频器的应用日益广泛。

任务 1 认识变频器

学习目标

知识目标:

1. 了解通用变频器的基本组成,理解其工作原理。
2. 熟悉三菱变频器的铭牌与结构和各端子的功能及使用方法。
3. 了解常用电力电子器件方面的有关知识,会通过查询有关手册选择和使用有关电力电子器件。

4. 理解 U/f 恒定控制方式、转差频率控制方式、矢量控制方式和直接转矩控制方式。

能力目标:

1. 会进行变频器的拆卸与安装。
2. 能正确识别三菱 FR-A740 变频器中的电力半导体器件。
3. 能掌握变频器中常用电力半导体器件的检测方法。

素质目标:

养成独立思考和动手操作的习惯,培养小组协调能力和互相学习的精神。

工作任务

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。常用通用变频器对笼型异步电动机进行速度控制,其使用方便、可靠性高、经济效益显著,现已逐步推广。如图 1-1-1 所示就是常见的由三菱公司生产的 FR-A700 通用变频器。本任务的主要内容就是了解变频器的特点、应用及功能等,通过对变频器的拆装达到认识变频器的目的。



图 1-1-1 FR-A700 通用变频器

相关知识

一、变频器的分类

变频器的分类方法有多种,按照主电路工作方式分类,可以分为电压型变频器和电流型变频器;按照输出电压调制方式分类,可以分为 PAM(脉冲幅度调制)控制变频器、PWM(脉冲宽度调制)控制变频器和高载频 PWM 控制变频器;按照工作原理分类,可以分为 U/f 控制变频器、转差频率控制变频器、矢量控制变频器和直接转矩控制变频器;按照用途分类,可以分为通用变频器、高性能专用变频器、高频变频器等。其他分类方式见表 1-1-1。

表 1-1-1 变频器的其他分类方式

分类方式	变频器种类	分类方式	变频器种类
按供电电压分	低压变频器	按输出功率大小分	小功率变频器
	中压变频器		中功率变频器
	高压变频器		大功率变频器
按供电电源的相数分	单相输入变频器	按主开关器件分	IGBT 变频器
	三相输入变频器		GTO 变频器
按变换环节分	交-直-交变频器		GTR 变频器
	交-交变频器	按机壳外形分	塑壳变频器
			铁壳变频器
			柜式变频器

二、变频器的铭牌

变频器的铭牌一般分为额定铭牌和容量铭牌。如图 1-1-2 所示为三菱 FR-A740-3.7K 变频器额定铭牌和容量铭牌的相关内容及其在变频器中所处的位置。

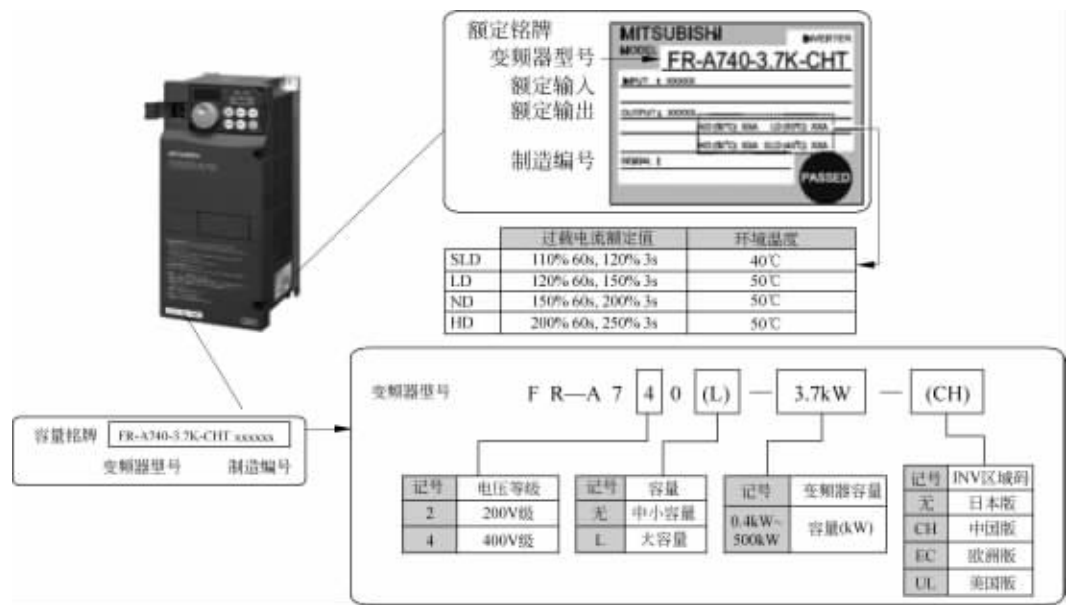


图 1-1-2 三菱 FR-A740-3.7K 变频器的铭牌

提示：变频器的型号是生产厂家的产品系列名称，一般包括代表该厂商的产品系列、序号或标识码、基本参数、电压级别和标准可适配电动机容量等，可作为选择变频器时的参考，订货时一般根据该型号所对应的订货号订货，不可忽视。

三、通用变频器基本结构

变频器分为交-交和交-直-交两种形式。交-交变频器可将工频交流电直接变换成频率、电压均可控制的交流电，又称为直接变频器。而交-直-交变频器则是先把工频交流电通过整流器变成直流电，然后再把直流电变换成频率、电压均可控制的交流电，又称为间接变频器。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。本书的目的是研究通用变频器(以下简称变频器)，因此主要介绍交-直-交变频器。

变频器的基本构成如图 1-1-3 所示，它主要由主电路和控制电路组成，主电路包括整流器、中间直流环节和逆变器三部分。图中，电网侧的变流器Ⅰ是整流器，它的作用是将三相(或单相)交流电转换成直流电。负载侧的变流器Ⅱ为逆变器，其作用是将直流电转换成任意频率的交流电。而中间直流环节又称为中间直流储能环节，由于逆变器的负载为异步电动机，属于感性负载，无论电机处于电动还是发电制动状态，其功率因数都不会

为 1, 因此在中间直流环节和电机之间总会有无功功率的交换, 这种无功能量要靠中间直流环节的储能元件(电容器或电抗器)来缓冲。如图 1-1-4 所示为变频器的内部结构示意图。

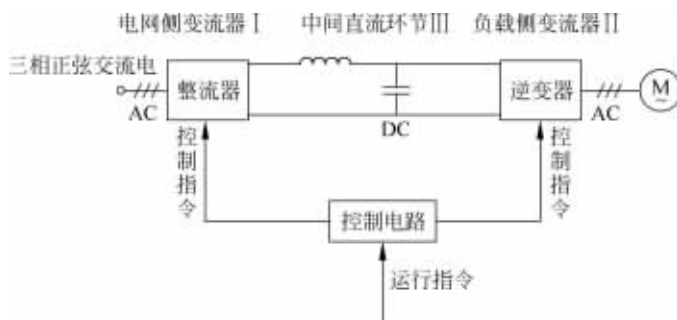


图 1-1-3 变频器的基本构成

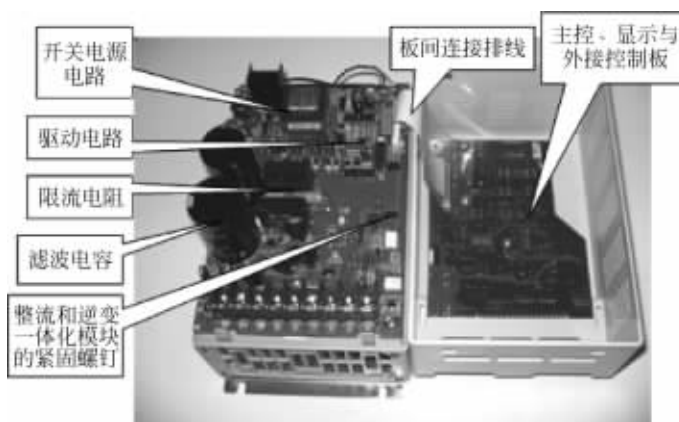


图 1-1-4 变频器的内部结构

1. 变频器的主电路

变频器的主电路是给异步电动机提供调压调频电源的电力变换部分。如前所述, 变频器的主电路由三部分组成: 一是交-直变换部分, 将工频电源变换为直流电的整流滤波电路; 二是能耗制动部分; 三是直-交变换部分, 将直流电变换为交流电的逆变电路。如图 1-1-5 所示为通用变频器的主电路, 其各元器件的作用见表 1-1-2。

2. 变频器的控制电路

变频器的控制电路是为主电路提供控制信号, 它通常由运算电路、检测电路、控制信号的输入输出电路和驱动电路等构成。其主要任务是完成对逆变器开关元件的开关控制、对整流器的电压控制, 同时完成各种保护功能等。控制方式有模拟控制和数字控制两种。另外, 高性能的变频器目前已经采用微型计算机进行全数字控制, 采用尽可能简单的硬件电路, 主要靠软件来完成各种功能。由于软件的灵活性, 数字控制方式常可以完成模拟控制方式难以完成的功能。

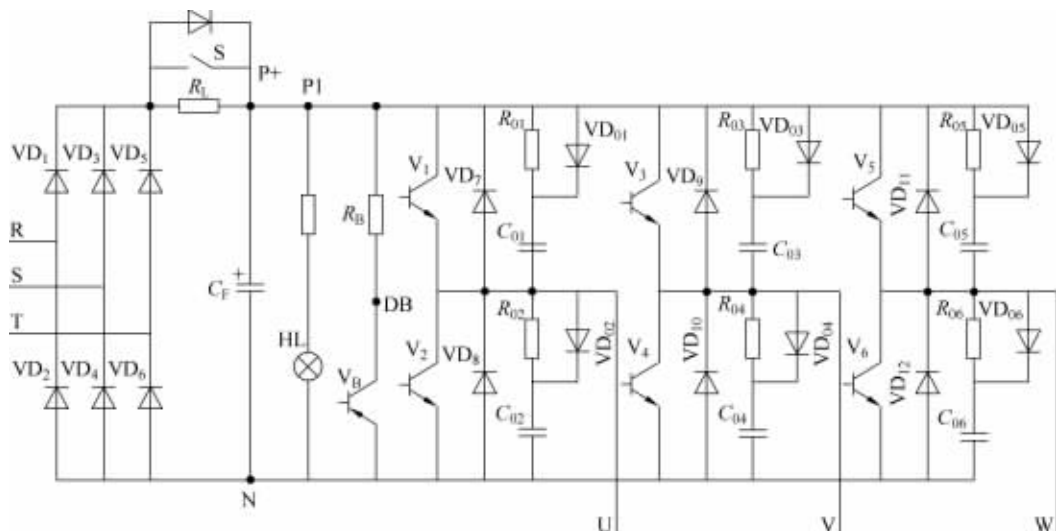


图 1-1-5 通用变频器的主电路

表 1-1-2 交-直-交变频器主电路各元器件的作用

电路名称	元器件	作用
整流电路	三相整流桥 $VD_1 \sim VD_6$	将交流电变换成脉动直流电。若电源线电压为 U_L , 则整流后的平均电压 $U_D = 1.35U_L$
	滤波电容器 C_F	滤除桥式整流后的电压纹波, 保持直流电压平稳
	限流电阻 R_L 与开关 S	将电容器 C_F 的充电冲击电流限制在允许的范围内, 以保护整流桥。而当 C_F 充电到一定程度时, 令开关 S 接通, 将 R_L 短路。在有些变频器中, S 由晶闸管代替
	电源指示灯 HL	HL 除了表示电源是否接通外, 另一个功能是当变频器切断电源后, 指示电容器 C_F 上的电荷是否已经释放完毕。在维修变频器时, 必须在 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
能耗制动电路	制动电阻 R_B	将回馈能量以热能形式消耗掉。有些变频器的制动电阻是外接的, 都有外接端子 (如 DB+, DB-)
	制动三极管 V_B	为放电电流 I_B 流经 R_B 提供通路
逆变电路	三相逆变桥 $V_1 \sim V_6$	通过逆变管 $V_1 \sim V_6$ 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
	续流二极管 $VD_7 \sim VD_{12}$	在换相过程中为电流提供通路
	缓冲电路 $R_{01} \sim R_{06}, VD_{01} \sim VD_{06}, C_{01} \sim C_{06}$	限制过高的电流和电压, 保护逆变管免遭损坏

通用变频器控制电路的控制框图如图 1-1-6 所示,主要由主控制板、键盘与显示板、电源板与驱动板、外接控制电路等构成。

1) 主控制板

主控制板是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),其主要功能如下。

- (1) 接收并处理从键盘、外部控制电路输入的各种信号,如修改参数、正反转指令等。



图 1-1-6 通用变频器的控制框图

(2) 接收并处理内部的各种采样信号,如主电路中电压与电流的采样信号、各部分温度的采样信号、各逆变管工作状态的采样信号等。

(3) 向外电路发出控制信号及显示信号,如正常运行信号、频率到达信号等,一旦发现异常情况,立刻发出保护指令进行保护或停车,并输出故障信号。

(4) 完成 SPWM 调制,对接收的各种信号进行判断和综合运算,产生相应的 SPWM 调制指令,并分配给各逆变管的驱动电路。

(5) 向显示板和显示屏发出各种显示信号。

2) 键盘与显示板

键盘与显示板总是组合在一起的,其中键盘向主控制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;显示板将主控制板提供的各种数据进行显示,大部分变频器配置了液晶或数码管显示屏,还有 RUN(运行)、STOP(停止)、FWD(正转)、REV(反转)、FLT(故障)等状态指示灯和单位指示灯,如 Hz、A、V 等。如图 1-1-7 所示就是三菱 A700 变频器的键盘与显示板示意图。它可以完成以下各种指示功能:

(1) 在运行监视模式下,显示各种运行数据,如频率、电压、电流等;

(2) 在参数模式下,显示功能码和数据码;

(3) 在故障状态下,显示故障原因代码。

3) 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,电源板主要提供以下直流电源:

(1) 主控制板电源。它是具有极好稳定性和抗干扰能力的一组直流电源。

(2) 驱动电源。逆变电路中,上桥臂的三只逆变管驱动电路的电源是相互隔离的三组独立电源,下桥臂的三只逆变管的驱动电源则可共“地”。但驱动电源与主控制板电源必须可靠绝缘。

(3) 外控电源。为变频器外电路提供稳恒直流电源。

中小功率变频器的驱动电路往往与电源电路在同一块电路板上,驱动电路接收主控制板发来的 SPWM 调制信号,在进行光电隔离、放大后去驱动逆变管的开关工作。

4) 外接控制电路

外接控制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。一般包括外部给定电路、外接输入控制电路、外接输出电路、报警输出电路等。

大多数中小容量通用变频器中,外接控制电路往往与主控电路设计在同一电路板上,以

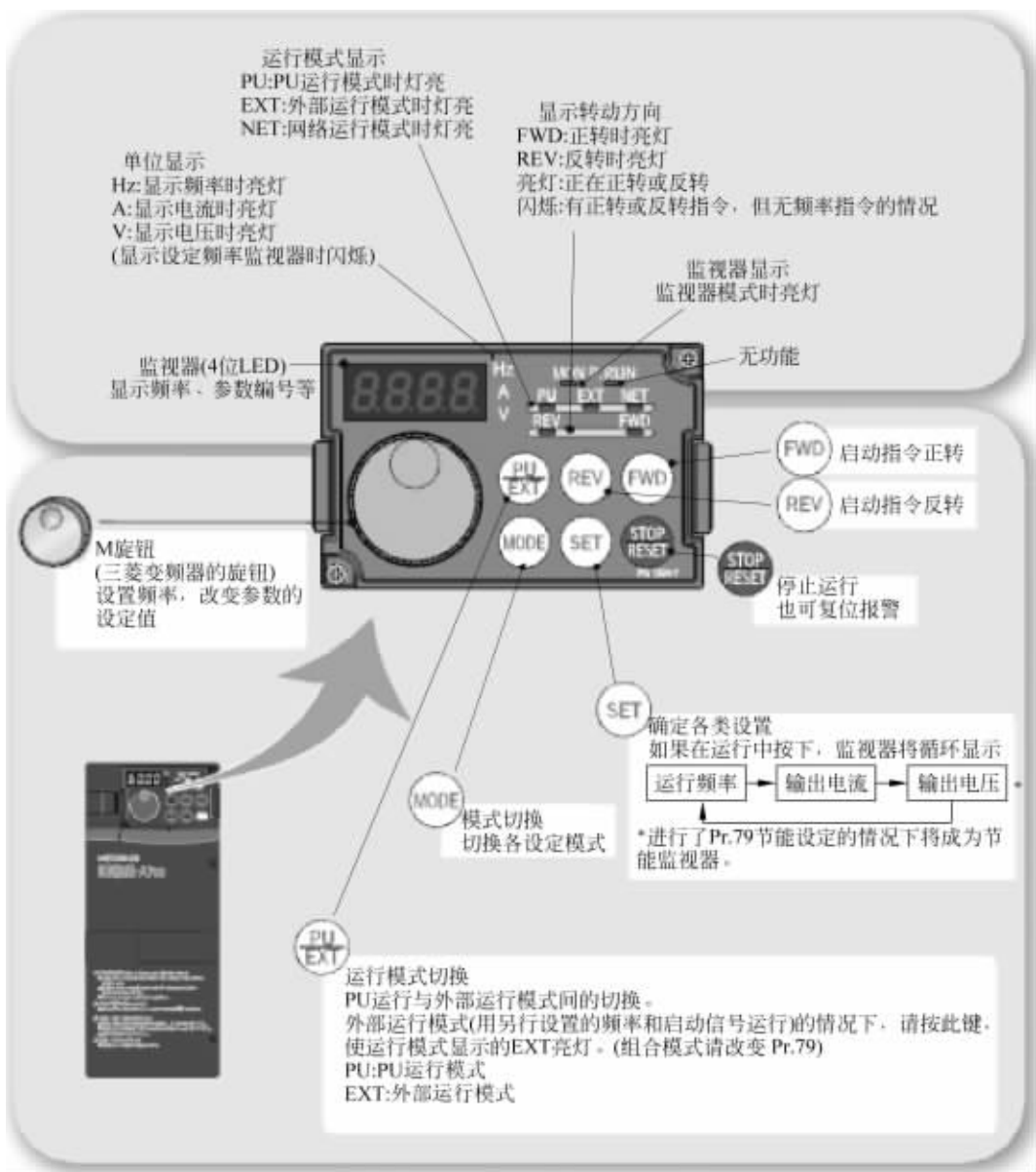


图 1-1-7 三菱 A700 变频器的键盘与显示板示意图

减小其整机的体积,提高电路可靠性,降低生产成本。

四、变频器中常用电力半导体器件

1. 整流器

整流器一般采用整流二极管组成的三相或单相整流桥,其作用是把交流电整流成直流电,给逆变电路和控制电路提供所需直流电源。通用变频器中采用的整流模块如图 1-1-8 所示,小功率整流桥输入多为单相 220V,较大功率的整流桥输入一般均为三相 380V 或 440V。

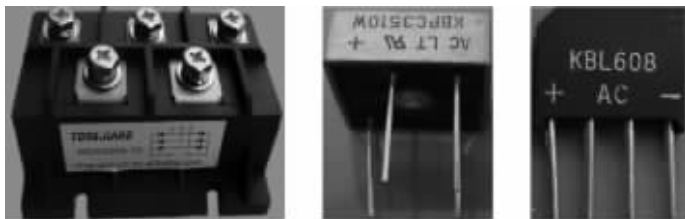


图 1-1-8 整流模块

2. 逆变器

逆变器是变频器的核心器件,它在控制电路的作用下,将直流电路输出的直流电源转换成频率和电压都可以任意调节的交流电源。最常见的逆变电路结构形式是利用 6 个功率开关器件组成的三相桥式逆变电路。目前,最常用的开关器件有晶闸管(SCR)、门极可关断晶闸管(GTO)、电力晶体管(GTR)、电力场效应晶体管(MOSFET)和绝缘栅双极晶体管(IGBT)等。

1) 晶闸管(SCR)

晶闸管从外形上可分为平板式和螺栓式两种,如图 1-1-9 所示。晶闸管属于电流控制型元件,其控制电路复杂、庞大,工作频率低,效率低,但其电压、电流容量较大,目前仍广泛应用于可控整流和交-交变频等变流电路中。

2) 门极可关断晶闸管(GTO)

门极可关断晶闸管是一种多元功率集成器件,属于电流控制型元件,一般由十几个甚至数百个共阳极的小 GTO 元组成,如图 1-1-10 所示。它具有高阻断电压和低导通损失率特性,其电压、电流容量能做得较大,目前其电压可达到 6000V、电流可达到 6000A,常应用于大功率高压变频器中。



图 1-1-9 晶闸管的外形



图 1-1-10 门极可关断晶闸管外形

3) 电力晶体管(GTR)

电力晶体管是一种双极型、大功率、高反压晶体管,也称巨型晶体管,单管 GTR 结构与普通的双极结型晶体管类似。变频器用的 GTR 一般是 GTR 模块,它是将 2 只、4 只或 6 只,甚至 7 只单管 GTR 或达林顿式 GTR 的管芯封装在一个管壳内,这样的结构是为了实现耐高压、大电流、开关特性好,如图 1-1-11 所示。由于工作频率较低,一般为 5~10kHz,

驱动功率大,驱动电路复杂,而且 GTR 耐冲击能力差,易受二次击穿损坏。目前,GTR 的应用一般被绝缘栅双极晶体管(IGBT)所替代。

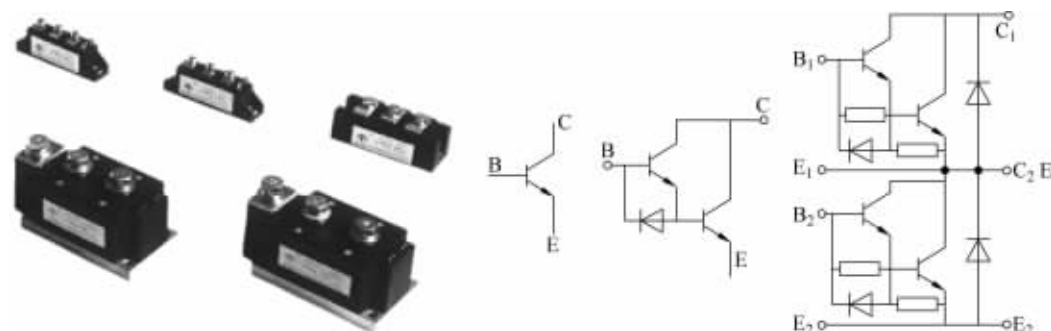


图 1-1-11 电力晶体管外形及内部结构

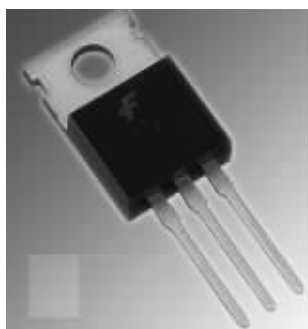


图 1-1-12 电力场效应晶体管外形

4) 电力场效应晶体管(MOSFET)

电力场效应晶体管是一种单极型的电压控制器件,输入阻抗高,驱动功率小,驱动电路简单;开关速度快,开关频率可达 500kHz 以上。变频器使用的电力场效应晶体管一般是 N 沟道增强型,其外形如图 1-1-12 所示。

5) 绝缘栅双极晶体管(IGBT)

绝缘栅双极晶体管是一种复合型三端电力半导体器件,其外形如图 1-1-13 所示。它将 MOSFET 与 GTR 的优点集于一身,输出特性好,开关速度快,工作频率高,一般可达到 20kHz 以上,通态压降比 MOSFET 低,输入阻抗高,耐压、耐流能力比 MOSFET 和 GTR 高,最大电流可达 1800A,最高电压可达 4500V。在中小容量变频器电路中,IGBT 的应用处于绝对的优势。



图 1-1-13 绝缘栅双极晶体管外形

6) 集成门极换流型晶闸管(IGCT)

新型功率半导体器件 IGCT 的外形如图 1-1-14 所示,IGCT 具有 IGBT 的高开关频率特性,同时还具有 GTO 的高阻断电压和低导通损失率特性。其基本结构是在 GTO 的基础上进行了改进,如特殊的环状门极、与管芯集成在一起的门极驱动电路等。目前,4000V、4500V 及 5500V 的 IGCT 已研制成功。在大容量高压变频电路中,IGCT 被广泛应用。

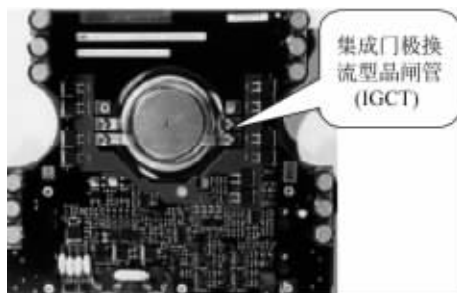


图 1-1-14 集成门极换流型晶闸管

7) 智能功率模块(IPM)

智能功率模块是一种混合集成电路,是将大功率开关元件和驱动电路、保护电路、检测电路等集成在同一个模块内,是电力集成电路的一种,其外形和内部结构如图 1-1-15 所示。这种功率集成电路特别适应于逆变器高频化发展方向的需要。目前,IPM 一般以 IGBT 为基本功率开关元件,构成单相或三相逆变器的专用功能模块,在中小容量变频器中广泛应用。

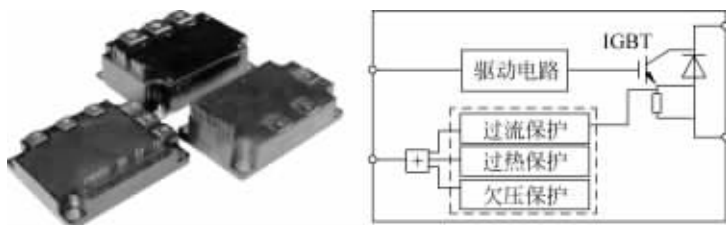


图 1-1-15 智能功率模块外形和内部结构

如图 1-1-16 所示为德国欧派克 BSM50GD120DN2 和日本富士 7MBP150RA120-05 功率集成模块的外形图。其内部高度集成了整流模块、逆变模块、各种传感器、保护电路及驱动电路。模块的典型开关频率为 20kHz,保护功能为欠电压、过电压和过热故障时输出故障信号灯。

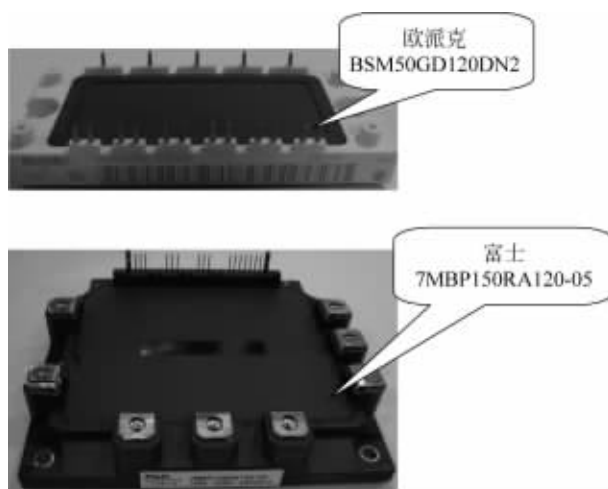


图 1-1-16 功率集成模块外形

五、通用变频器的控制方式

异步电动机调速传动时,变频器可以根据电动机的特性对供电电压、电流、频率进行适当的控制,而且不同的控制方式所得到的调速性能、特性及用途也不同,其控制效果也不一样。目前,变频器对电动机的控制方式可分为 U/f 恒定控制、转差频率控制、矢量控制和直接转矩控制等。

1. U/f 恒定控制方式

按照电压、频率关系对变频器的频率和电压进行控制,称为 U/f 恒定控制方式,又称为