

机电专业新技术普及丛书

变频器实用技术

BIANPINQI SHIYONG JISHU (三菱)
(SANLING)

王建 徐洪亮 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机电专业新技术普及丛书

变频器实用技术 (三菱)

主 编 王 建 徐洪亮
副主编 张 宏 李 伟 娄志勇 姚满庆 孙 胜
参 编 李迎波 汤 瑞 李卫东 王锡辉 李修霞
寇 爽
主 审 张 凯
参 审 王春晖



机械工业出版社

丛书编委会

主任：王 建

副主任：楼一光 雷云涛 李 伟 王小绢

委员：张 宏 王智广 李 明 王 灿 伊洪彬 徐洪亮

施利春 杜艳丽 李华雄 焦立卓 吴长有 李红波

何宏伟 张 桦

前 言

FOREWORD

随着经济全球化进程的不断深入,发达国家的制造能力加速向发展中国家转移,我国已成为全球的加工制造基地,这就凸显了我国高技能型人才严重短缺的现实问题,特别是对掌握数控加工技术以及自动化新技术的人员的需求变得越来越多,而很多工人碍于条件,无法到学校接受系统的数控加工技术以及自动化新技术的职业教育。此外,对于离开校园数年虽有一定工作经验的人员,但还需要进行充电,以适应新技术的发展需要。

为解决上述矛盾,丛书编委会组织一批学术水平高、经验丰富、实践能力强的企业、行业一线专家在充分调研的基础上,结合企业实际需要,共同研究培训目标,编写了这套机电专业新技术普及丛书。

本套丛书的编写特色有:

1. 坚持“以技能为核心,面向青年工人的继续充电、继续提高”为培养方针,普及企业和技术工人急需的高新技术,加快高技能人才的培养,更好地满足企业的用人需求。
2. 更注重实际工作能力和动手技能的培养,内容贴近生产岗位,注重实用,力图实现培训的“短、平、快”,使学员经过培训后即能胜任本岗位的工作。
3. 编写内容充分体现一个“新”字,即充分反映新知识、新技术、新工艺和新设备,紧跟科技发展的潮流,具有先进性和前瞻性。
4. 编写内容以解决实际问题为切入点,尽量采用以图代文、以表代文的编写形式,最大限度降低学员的学习难度,提高读者的学习兴趣。

本套丛书涉及数控技术和电气技术两大领域,是面向有志于学习数控加工、机电一体化以及自动控制实用技术的,并从事过相关工作的技术工人的培训用书,也适合有一定经验的工人进行自学或转岗培训之用。

我们希望这套丛书能成为读者的良师益友,能为读者提供有益的帮助!

由于时间和水平有限,书中难免存在不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

CONTENT

	前言
1	第一章 变频器的基础知识
1	第一节 变频器的结构
12	第二节 变频器的原理
18	第三节 变频器的安装与维护
38	第二章 变频器的基本操作
38	第一节 变频器的参数
42	第二节 变频器的试运行操作
52	第三节 变频器的运行操作
73	第三章 变频器的基本应用
73	第一节 变频器的点动控制
78	第二节 变频器的正、反转控制
83	第三节 变频器的组合运行控制
88	第四节 变频器的外接两地控制
90	第五节 变频器的多段速控制
95	第六节 变频器的 PID 控制运行操作
101	第七节 变频器的二级加减速控制
106	第四章 变频器的典型应用
106	第一节 医疗废物焚烧控制系统
111	第二节 车床的变频调速改造
118	第三节 恒压供水系统

133	第四节 注塑机的自动化改造
144	第五节 中央空调控制系统
153	第六节 龙门刨床拖动系统变频控制
166	第七节 运料小车控制系统
170	第八节 物料传送分拣控制系统
183	第九节 啤酒灌装生产线自动控制系统
186	第十节 啤酒生产线装箱控制系统
191	第十一节 离心机变频控制系统
195	第十二节 电梯控制系统
202	第十三节 鼓风机变频调速系统
208	参考文献

第一章

变频器的基础知识

第一节 变频器的结构

变频器是将固定频率的交流电变换为频率连续可调的交流电的装置。变频器技术随着微电子技术、电力电子技术、计算机技术和自动控制技术等不断发展而发展，其应用越来越普及。变频器的外形如图 1-1 所示。



图 1-1 变频器的外形

a) E700 系列三菱变频器 b) 富士变频器

一、变频器的结构

通用变频器由主电路和控制电路组成，其基本结构如图 1-2 所示。主电路包括整流器、中间直流环节和逆变器。控制电路由运算电路、检测电路、控制信号的输入/输出电路和驱动电路组成。

1. 主电路

(1) 整流电路 整流电路的主要作用是把三相（或单相）交流电转变成直流电，为逆变电路提供所需的直流电源。按使用的器件不同，整流电路可分为不可控整流电路和可控整流电路，如图 1-3 所示。

不可控整流电路使用的器件为电力二极管（PD），可控整流电路使用的器件通常为普通晶闸管（SCR）。

1) 电力二极管（PD）：指可以承受高电压、大电流，具有较大耗散功率的二极管。电

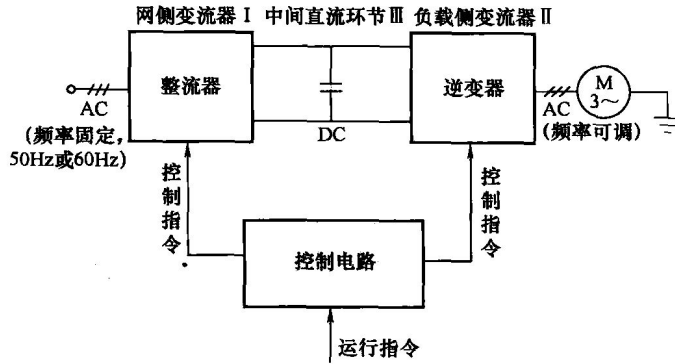


图 1-2 通用变频器的基本结构

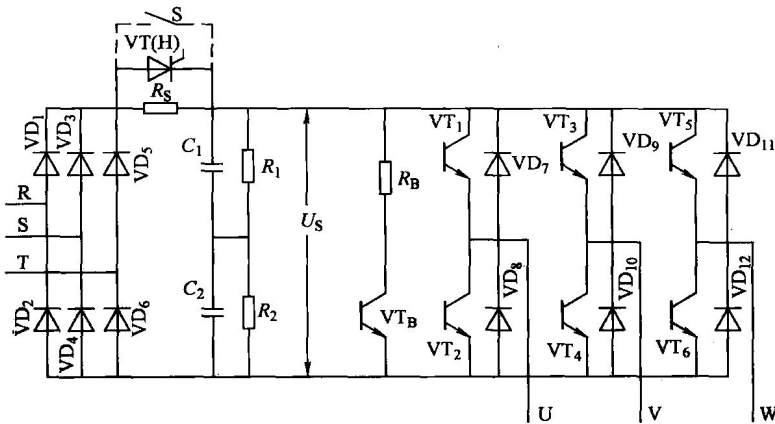


图 1-3 交-直-交电压型变频器主电路

力二极管的内部结构是一个 PN 结，加正向电压导通，加反向电压截止，是不可控的单向导通器件。电力二极管与普通二极管的结构、工作原理和伏安特性相似，但它们的主要参数和选择原则不尽相同。电力二极管的图形符号如图 1-4a 所示，其中，A 为阳极，K 为阴极，其伏安特性如图 1-4c 所示，其主要参数有正向平均电流 I_F 、反向重复峰值电压 U_{RRM} 、反向不重复峰值电压 U_{RSM} 和正向平均电压 U_F 等。

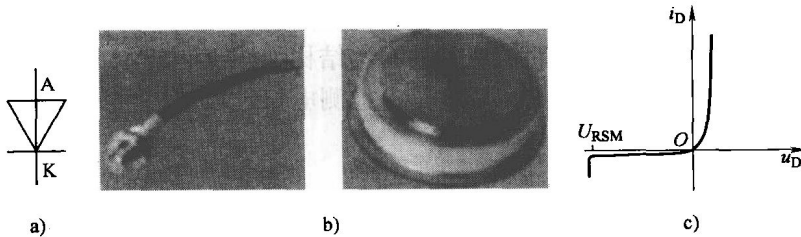


图 1-4 电力二极管的图形符号、外形和伏安特性

a) 图形符号 b) 外形 c) 伏安特性

2) 普通晶闸管 (SCR): 普通晶闸管是双极型电流控制器件，其图形符号如图 1-5a 所示，其中，A 为阳极，K 为阴极，G 为门极，其伏安特性如图 1-5b 所示。当对晶闸管的阳

极和阴极两端加正向电压，同时在它的门极和阴极两端也适当加正向电压时，晶闸管导通。但导通后门极失去控制作用，不能用门极控制晶闸管关断，所以它是半控型器件。它的主要参数有断态重复峰值电压 U_{DRM} 、反向重复峰值电压 U_{RRM} 、通态平均电压 $U_{T(AV)}$ 、通态平均电流 $I_{T(AV)}$ 、维持电流 I_H 、擎住电流 I_L 和通态浪涌电流 I_{TSM} 等。

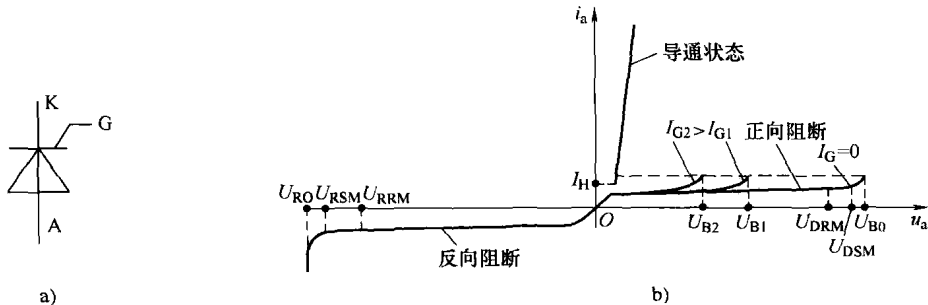


图 1-5 普通晶闸管的图形符号和伏安特性

a) 图形符号 b) 伏安特性

(2) 滤波电路 滤波电路通常由若干个电解电容并联成一组，如图 1-3 中的 C_1 和 C_2 。为了解决电容 C_1 和 C_2 的均压问题，在两电容旁各并联一个阻值相等的均压电阻 R_1 和 R_2 。

在图 1-3 中，串联在整流桥和滤波电容之间的限流电阻 R_s 和短路开关（虚线所画开关）组成了限流电路。当变频器接入电源的瞬间，将有一个很大的冲击电流经整流桥流向滤波电容，整流桥可能因电流过大而在接入电源的瞬间受到损坏，限流电阻 R_s 可以削弱该冲击电流，起到保护整流桥的作用。在许多新的变频器中 R_s 已由晶闸管替代。

(3) 直流中间电路 由整流电路可以将电网的交流电源整流成直流电压或直流电流，但这种电压或电流含有电压或电流纹波，会影响直流电压或电流的质量。为了减小这种电压或电流的波动，需要加电容器或电感器作为直流中间环节。

对电压型变频器来说，直流中间电路通过大容量的电容对输出电流进行滤波。

对电流型变频器来说，直流中间电路通过电感对输出电流进行滤波。

(4) 逆变电路 逆变电路是变频器最主要的部分之一，它的功能是，在控制电路的控制下将直流中间电路输出的直流电压转换为电压、频率均可调的交流电压，实现对异步电动机的变频调速控制。变频器中应用最多的是三相桥式逆变电路，如图 1-6 所示，它是由电力晶体管（GTR）组成的三相桥式逆变电路，该电路主要是对开关器件进行控制。目前，常用的开关器件有门极关断（GTO）晶闸管、电力晶体管（GTR 或 BJT）、功率场效应晶体管（P-MOSFET）以及绝缘栅双极型晶体管（IGBT）等，在实际应用时要查阅相关使用手册。

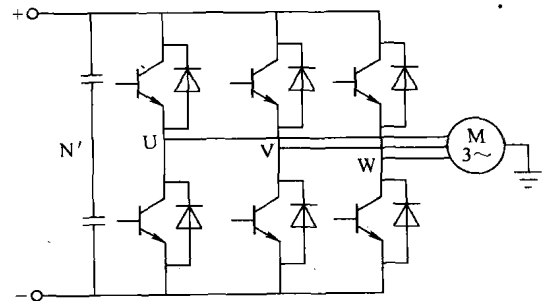


图 1-6 三相桥式逆变电路

1) 门极关断（GTO）晶闸管的导通控制与晶闸管一样，但是在它的门极加负电压可使

其关断，具有自关断能力，属于全控型器件，其结构和图形符号如图 1-7 所示，其中，A 为阳极，K 为阴极，G 为门极。它的外形与普通晶闸管一样，其开关特性示意图如图 1-8 所示，图中， t_d 为延迟时间， t_r 为上升时间， t_s 为储存时间， t_f 为下降时间， t_t 为尾部时间。它的大多参数与普通晶闸管相同，另外还有最大可关断阳极电流 I_{TCQM} 和关断增益 G_{off} 等参数。

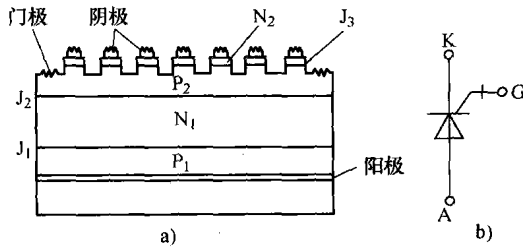


图 1-7 门极关断晶闸管的结构和图形符号

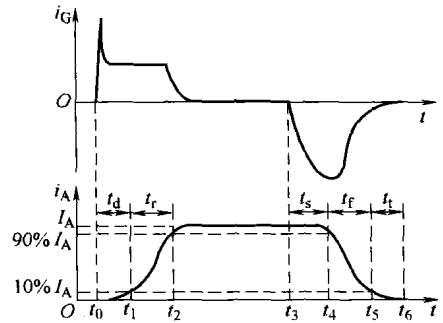


图 1-8 开关特性示意图

2) 电力晶体管通常又称为双极型晶体管，是一种大功率高反压晶体管，属于全控型器件。它的工作原理与普通中、小功率晶体管相似，但它主要工作在开关状态，不用于信号的放大，它所承受的电压和电流数值大。GTR 作为大功率开关应用最多的是 GTR 模块，其结构和外形如图 1-9 所示，其中，B 为基极、C 为集电极、E 为发射极。主要参数有反向击穿电压 U_{CEO} 、最大工作电流 I_{CM} 、集电极最大耗散功率 P_{CM} 、导通时间 t_{on} 和关断时间 t_{off} 等。

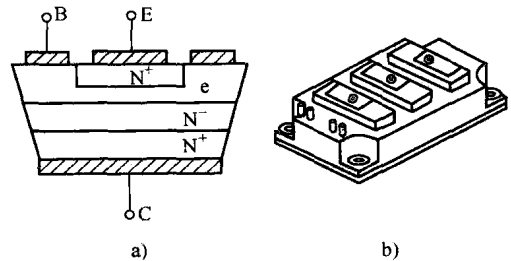


图 1-9 GTR 模块的结构和外形
a) 结构 b) 外形

3) 电力 MOS 场效应晶体管 (P-MOSFET) 是单极型全控器件，属于电压控制。具有驱动功率小、控制线路简单、工作频率高的特点，其结构和图形符号如图 1-10 所示，其中，G 为栅极，D 为漏极，S 为源极。P-MOSFET 的转移特性如图 1-11 所示，当 $u_{GS} < U_T$ 时， i_D 近似为零；当 $u_{GS} > U_T$ 时，随着 u_{GS} 的增大， i_D 也增大，当 i_D 较大时， i_D 与 u_{GS} 的关系近似为线性。P-MOSFET 的输出特性如图 1-12 所示，输出特性分为可调电阻区 I、饱和区 II 和雪崩区 III 三个区域。在可调电阻区 I 中，器件的阻值是变化的；在饱和区 II 中，当 u_{GS} 不变时， i_D 几乎不随 u_{DS} 的增加而增加，近似为一常数，当 P-MOSFET 用作线性放大时，就工作在该区；在雪崩区 III，当 u_{DS} 增加到某一数值时，就会使漏极 PN 结反偏，电压过高，发生雪崩击穿，漏极电流 i_D 突然增加，造成器件的损坏，使用时应避免出现这种情况。P-MOSFET 的主要参数有漏源击穿电压 $U_{(BR)DS}$ 、漏极连续电流 I_D 、漏极峰值电流 I_{DM} 、栅极峰值电流 I_{DM} 、栅源击穿电压 $U_{(BR)GS}$ 、开启电压 U_T 、极间电容 C 和通态电阻 R_{on} 等。

4) 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 是复合型全控器件，具有输入阻抗高、工作速度快、通态电压低、阻断电压高、承受电流大等优点，是功率开关电源和逆变器的理想电力半导体器件。IGBT 模块的外形、结构和图形符号如图 1-13 所示，其中，G 为栅极，C 为集电极，

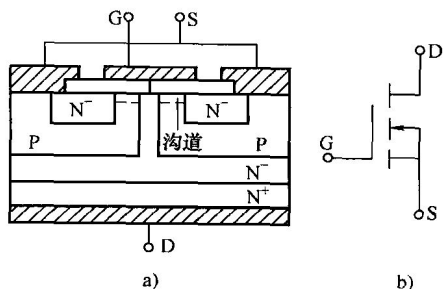


图 1-10 P-MOSFET 的结构和图形符号
a) 结构 b) 图形符号

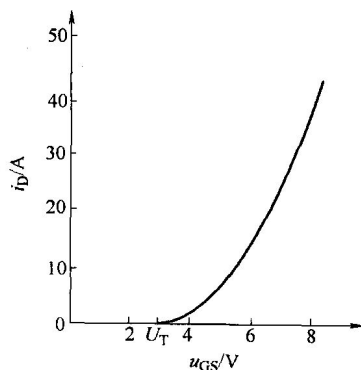


图 1-11 P-MOSFET 的转移特性

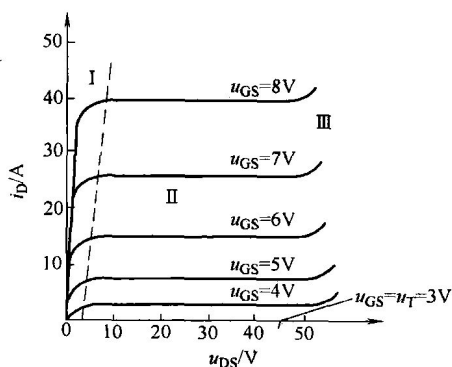


图 1-12 P-MOSFET 的输出特性

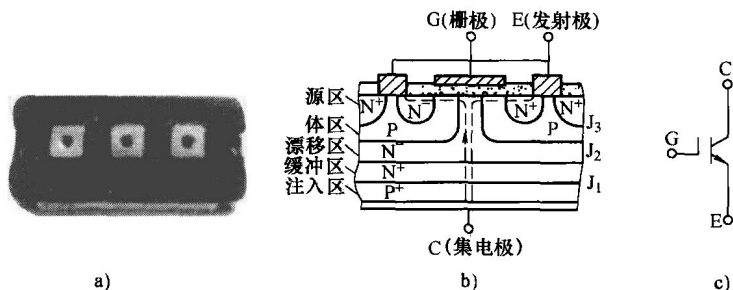


图 1-13 IGBT 模块的外形、结构和图形符号
a) 外形 b) 结构 c) 图形符号

E 为发射极。IGBT 的导通和关断是由栅极电压来控制的。当栅极加正电压时，P-MOSFET 内形成沟道，IGBT 导通；当栅极加负电压时，P-MOSFET 内的沟道消失，IGBT 关断。IGBT 的传输特性如图 1-14a 所示，当 u_{GE} 小于开启电压 $U_{GE(th)}$ 时，IGBT 处于关断状态；当 u_{GE} 大于开启电压 $U_{GE(th)}$ 时，IGBT 开始导通， i_c 与 u_{GE} 基本呈线性关系。IGBT 的输出特性如图 1-14b 所示，该特性描述以栅射电压 u_{GE} 为控制变量时，集电极电流 i_c 与集射极间电压 u_{CE} 之间的关系。IGBT 的输出特性可分为三个区域：正向阻断区、有源区和饱和区。IGBT

的主要参数有集电极-发射极击穿电压 U_{CES} 、栅极-发射极击穿电压 U_{GES} 、集电极额定最大直流 I_C 、集电极-发射极间的饱和压降 $U_{CE(sat)}$ 和开关频率 f_{ON} 等。

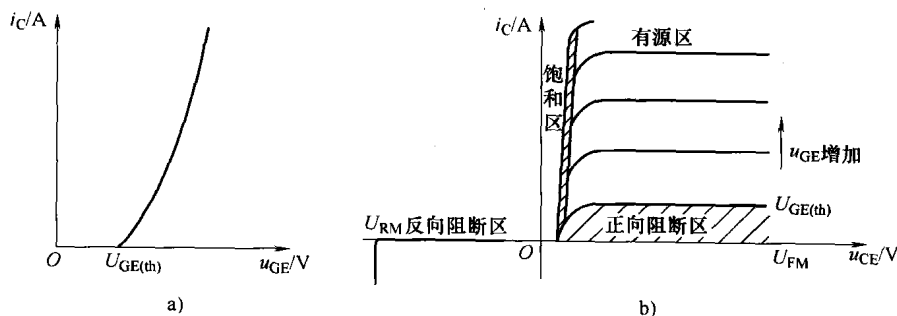


图 1-14 IGBT 的静态特性

a) 传输特性 b) 输出特性

在中小容量的变频器中多采用 PWM 开关方式的逆变电路，换流器件为大功率晶体管 (GTR)、绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 或功率场效应晶体管 (P-MOSFET)。随着门极关断 (GTO) 晶闸管的容量和可靠性的提高，在中大容量的变频器中采用 PWM 开关方式的 GTO 晶闸管逆变电路逐渐成为主流。

在图 1-3 所示的电路中，由开关管器件 $VT_1 \sim VT_6$ 构成的电路称为逆变桥，由 $VD_7 \sim VD_{12}$ 构成续流电路。续流电路的作用如下：

- ① 为电动机绕组的无功电流返回直流电路提供通路。
- ② 当频率下降使同步转速下降时，为电动机的再生电能回馈至直流电路提供通路。
- ③ 为电路的寄生电感在逆变过程中释放能量提供通路。

(5) 能耗制动电路 在变频调速中，电动机的降速和停机是通过减小变频器的输出频率，从而降低电动机的同步转速的方法来实现的。当电动机减速时，在频率刚减小的瞬间，电动机的同步转速随之降低，由于机械惯性，电动机转子转速未变，使同步转速低于电动机的实际转速，电动机处于发电制动运行状态，负载机械和电动机所具有的机械能量被回馈给电动机，并在电动机中产生制动转矩，使电动机的转速迅速下降。

电动机再生的电能经过图 1-3 中的续流二极管 $VD_7 \sim VD_{12}$ 全波整流后，反馈到直流电路。由于直流电路的电能无法回馈给电网，在 C_1 和 C_2 上将产生短时间的电荷堆积，形成“泵生电压”，使直流电压升高。当直流电压过高时，可能损坏换流器件。变频器的检测单元检测到直流回路电压 U_d 超过规定值时，控制功率管 VT_B 导通，接通能耗制动电路，使直流回路通过 R_B 电阻释放电能。

2. 变频器控制电路

为变频器的主电路提供通断控制信号的电路称为控制电路，其主要任务是完成对逆变器开关器件的开关控制和提供多种保护功能。控制电路的控制方式有模拟控制和数字控制两种。目前已广泛采用了以微处理器为核心的全数字控制技术，主要靠软件完成各种控制功能，以充分发挥微处理器计算能力强和软件控制灵活性高的特点，完成许多模拟控制方式难以实现的功能。控制电路主要由以下几部分组成。

(1) 运算电路 运算电路的主要作用是将外部的速度、转矩等指令信号同检测电路的

电流、电压信号进行比较运算，决定变频器的输出频率和电压。

(2) 信号检测电路 将变频器和电动机的工作状态反馈至微处理器，并由微处理器按事先确定的算法进行处理后为各部分电路提供所需的控制或保护信号。

(3) 驱动电路 驱动电路的作用是为变频器中逆变电路的换流器件提供驱动信号。当逆变电路的换流器件为晶体管时，称为基极驱动电路；当逆变电路的换流器件为 SCR、IGBT 或 GTO 晶闸管时，称为门极驱动电路。

(4) 保护电路 保护电路的主要作用是对检测电路得到的各种信号进行运算处理，以判断变频器本身或系统是否出现异常。当检测到异常时，就进行各种必要的处理，如使变频器停止工作或抑制电压、电流值等。

二、变频器的分类

1. 按变换环节分类

(1) 交-交变频器 单相交-交变频器的原理框图如图 1-15 所示。它只需要一个变换环节就可以把恒压恒频 (CVCF) 的交流电源转换为变压变频 (VVVF) 的交流电源。因此称为直接变频器，或称为交-交变频器。

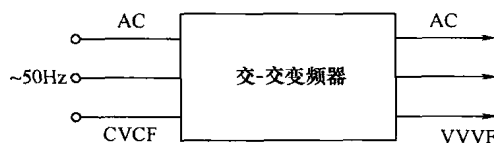


图 1-15 单相交-交变频器的原理框图

(2) 交-直-交变频器 交-直-交变频器又称为间接变频器。基本组成电路有整流电路和逆变电路两部分，整流电路将工频交流电整流成直流电，逆变电路再将直流电逆变成频率可调节的交流电。根据变频电源的性质可分为电压型变频和电流型变频。交-直-交变频器的原理框图如图 1-16 所示。

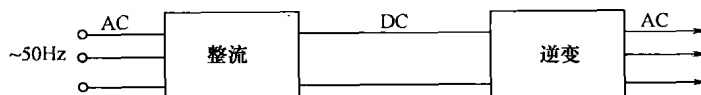


图 1-16 交-直-交变频器的原理框图

1) 电压型变频器。在电压型变频器中，整流电路产生的直流电压通过电容进行滤波后供给逆变电路。由于采用大电容滤波，故输出电压波形比较平直，在理想情况下可以看成是一个内阻为零的电压源，逆变电路输出的电压为矩形波或阶梯波。电压型变频器多用于不要求正反转或快速加减速的通用变频器中。电压型变频器的主电路结构如图 1-17a 所示。

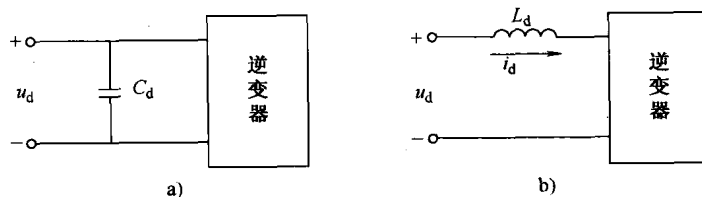


图 1-17 电压型和电流型变频器的主电路结构

a) 电压型变频器 b) 电流型变频器

这种变频器在大多数情况下采用 6 脉波运行方式，晶闸管在一个周期内导通 180° ，该电路的特点是：中间直流环节的储能元件采用大电容，负载的无功功率将由它来缓冲。由于

大电容的作用，主电路直流电压 E_d 比较平稳，电动机端的电压为方波或阶梯波。由于直流电源内阻比较小，相当于电压源，故称为电压源型变频器或电压型变频器。

对负载电动机而言，变频器是一个交流电压源，在不超过容量限度的情况下，可以驱动多台电动机并联运行，具有不选择负载的通用性。它的缺点是电动机处于再生发电状态时，回馈到直流侧的无功能量难以回馈给交流电网。要实现这部分能量向电网的回馈，必须采用可逆变流器，如图 1-18 所示，电网侧变流器采用两套全控整流器反并联，电动时由电桥 I 供电，回馈时电桥 II 作有源逆变运行 ($\alpha > 90^\circ$)，将再生能量回馈给电网。

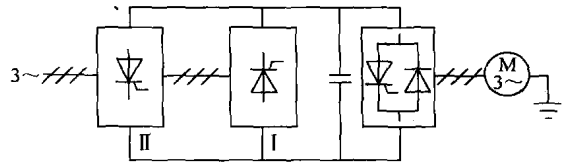


图 1-18 再生能量回馈型电压型变频器

2) 电流型变频器。当交-直-交变频器的中间直流环节采用大电感滤波时，直流电流波形比较平直，因而电源内阻很大，对负载来说基本上是一个电流源，逆变电路输出的电流为矩形波。电流型变频器适用于频繁可逆运转的变频器和容量的变频器中。电流型变频器的主电路结构如图 1-17b 所示。这种电流型变频器，其逆变器中晶闸管每周期工作 120° ，属于 120° 导电型。

电流型变频器的一个较突出的优点是，当电动机处于再生发电状态时，回馈到直流侧的再生电能可以方便地回馈到交流电网，不需要在主电路内附加任何设备，只要利用电网侧的不可逆变流器改变其输出电压极性（触发延迟角 $\alpha > 90^\circ$ ）即可。

这种电流型变频器可用于频繁加减速的大功率电动机的传动，在大功率风机和泵类节能调速中也有所应用。

(3) 交-交变频器和交-直-交变频器的主要特点 下面以表格的形式加以对比，见表 1-1。

表 1-1 交-直-交变频器与交-交变频器的主要特点比较

类别 比较项目	交-直-交变频器	交-交变频器
换能形式	两次换能，效率略低	一次换能，效率较高
换流方式	强迫换流或负载谐振换流	电源电压换流
装置元器件数量	元器件数量较少	元器件数量较多
调频范围	频率调节范围宽	一般情况下，输出的最高频率为电网频率的 $1/3 \sim 1/2$
电网功率因数	用可控整流调压时，功率因数在低压时较低； 用斩波器或 PWM 方式调压时，功率因数高	较低
适用场合	可用于各种电力拖动装置、稳频稳压电源和不停电电源	特别适用于低速大功率拖动

2. 根据调压方式的不同分类

根据调压方式的不同，交-直-交变频器又分为脉幅调制和脉宽调制两种。

(1) 脉幅调制 脉幅调制是改变电压源的电压 E_d 或电流源的电流 I_d 的幅值进行输出控制的方式。因此，在逆变器部分只控制频率，整流器部分只控制电压或电流。

脉冲幅值调制方式 (Pulse Amplitude Modulation), 简称 PAM 方式, 是通过改变直流电压的幅值进行调压的方式。在此类变频器中, 逆变器只负责调节输出频率, 而输出电压的调节则由相控整流器 (见图 1-19) 或直流斩波器 (见图 1-20) 通过调节直流电压 E_d 去实现。采用相控整流器调压时, 电网侧的功率因数随调节深度的增加而降低, 而采用直流斩波器调压时, 电网侧的功率因数在不考虑谐波影响时, 可以达到 $\cos\varphi_1 \approx 1$ 。

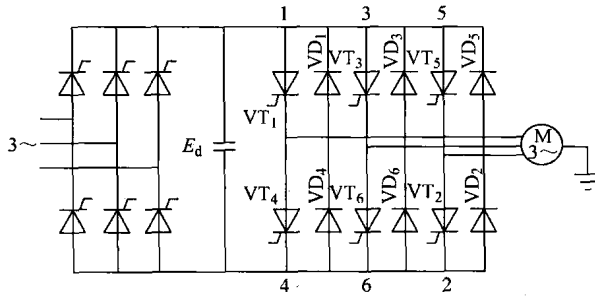


图 1-19 相控整流器

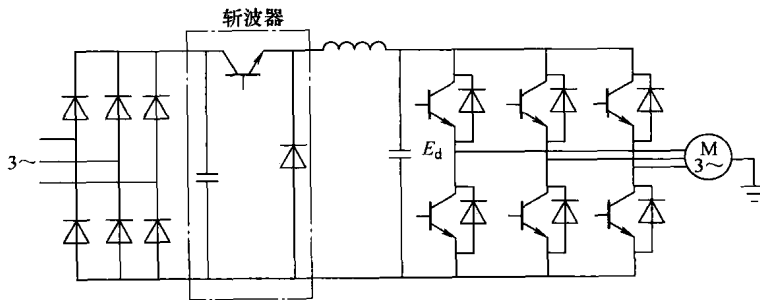


图 1-20 采用直流斩波器的 PAM 方式

PAM 方式下, 高压和低压时 6 脉冲方波逆变器的输出线电压波形如图 1-21 所示。

(2) 脉宽调制 (PWM) 脉宽调制指变频器输出电压的大小是通过改变输出脉冲的占空比来实现的。脉冲宽度调制方式简称 PWM 方式。PWM 变频器最常见的主电路如图 1-22a 所示。变频器中的整流器采用不可控的二极管整流电路。变频器的输出频率和输出电压的调节均由逆变器按 PWM 方式来完成。

PWM 变频器的调压原理的波形示意图如图 1-22b 所示。利用参考电压波 u_r 与载频三角波 u_c 互比较来决定主开关器件的导通时间而实现调压, 即利用脉冲宽度的改变来得到幅值不同的正弦基波电压。这种参考信号为正弦波、输出电压平均值近似为正弦波的 PWM 方式称为正弦 PWM 调制, 简称 SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) 方式。通用变频器采用 SPWM 方式调压, 是一种最常采用的方案。

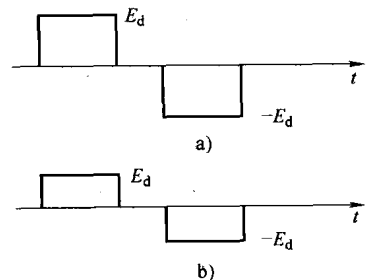


图 1-21 输出线电压波形
a) 高压时 b) 低压时

通用变频器采用 SPWM 方式调压, 是一种最常采用的方案。

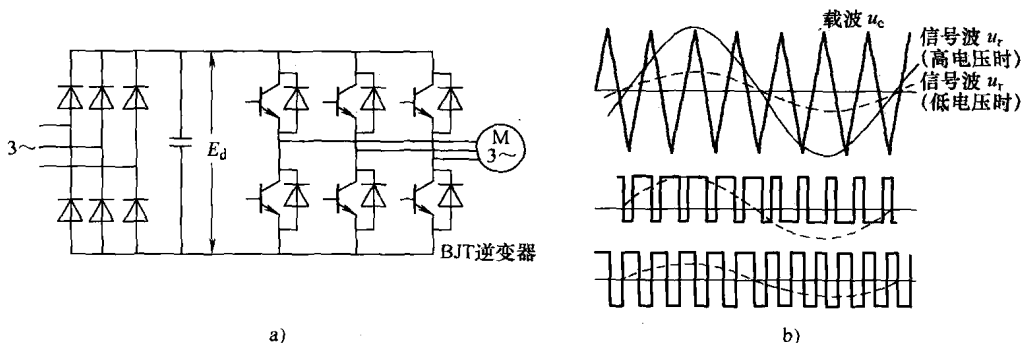


图 1-22 PWM 变频器

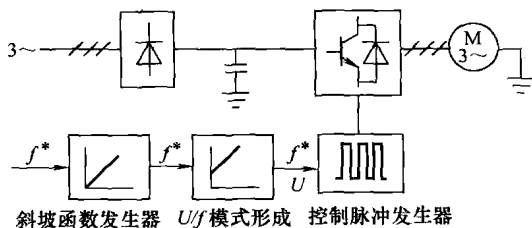
a) 主电路 b) 调压原理的波形示意图

3. 按变频的控制方式分类

按控制方式不同，变频器可以分为 U/f 控制、转差频率控制和矢量控制三种类型。

(1) U/f 控制变频器 U/f 控制即压频比控制。它的基本特点是对变频器输出的电压和频率同时进行控制，通过保持 U/f 恒定使电动机获得所需的转矩特性。基频以下可以实现恒转矩调速，基频以上则可以实现恒功率调速。这种方式控制电路成本低，多用于精度要求不高的通用变频器。

U/f 控制方式又称为 VVVF 控制方式，其简化的原理框图如图 1-23 所示。主电路中逆变器采用 BJT，用 PWM 方式进行控制。逆变器的控制脉冲发生器同时受控于频率指令 f^* 和电压指令 U ，而 f^* 与 U 之间的关系是由 U/f 曲线发生器 (U/f 模式形成) 决定的。这样经 PWM 控制之后，变频器的输出频率 f 、输出电压 U 之间的关系就是 U/f 曲线发生器所确定的关系。由图可见，转速的改变是靠改变频率的设定值 f^* 来实现的。电动机的实际转速要根据负载的大小，即转差率的大小来决定。负载变化时，在 f^* 不变的条件下，转子转速将随负载转矩的变化而变化，故 U/f 控制方式常用于调速精度要求不十分严格或负载变化较小的场合。

图 1-23 U/f 控制方式

U/f 控制是转速开环控制，无需速度传感器，控制电路简单，负载可以是通用标准异步电动机。 U/f 控制方式通用性强，经济性好，是目前通用变频器产品中使用较多的一种控制方式。

(2) SF 控制变频器 SF 控制即转差频率控制，是在 U/f 控制基础上的一种改进方式。在 U/f 控制方式下，如果负载变化，转速也会随之变化，转速的变化量与转差率成正比。 U/f 控制的静态调速精度较差，可采用转差频率控制方式来提高调速精度。采用转差频率控制方式，变频器通过电动机、速度传感器构成速度反馈闭环调速系统。变频器的输出频率由电动机的实际转速与转差频率之和来自动设定，从而达到在调速控制的同时也使输出转矩得到控制。该方式是闭环控制，故与 U/f 控制相比，调速精度与转矩特性较优。但是由于这

种控制方式需要在电动机轴上安装速度传感器，并需依据电动机特性调节转差，故通用性较差。

(3) 矢量控制变频器 矢量控制是一种对交流电动机新的控制思想和控制技术，也是异步电动机的一种理想调速方法。采用 U/f 控制方式和转差频率控制方式的控制思想都建立在异步电动机的静态数学模型上，因此动态性能指标不高。采用矢量控制方式可提高变频调速的动态性能。VC 的基本思想是将异步电动机的定子电流分解为产生磁场的电流分量（励磁电流）和与其相垂直的产生转矩的电流分量（转矩电流），并分别加以控制，即模仿直流电动机的控制方式对电动机的磁场和转矩分别进行控制，可获得类似于直流调速系统的动态性能。由于在这种控制方式中必须同时控制异步电动机定子电流的幅值和相位；即控制定子电流矢量，故这种控制方式被称为 VC。

VC 方式使异步电动机的高性能成为可能。VC 变频器不仅在调速范围上可以与直流电动机相匹敌，而且可以直接控制异步电动机转矩的变化，所以已经在许多需要精密或快速控制的领域得到应用。

(4) 变频器三种控制方式的比较 变频器三种控制方式的特性比较见表 1-2。

表 1-2 变频器三种控制方式的特性比较

类别 比较项目		U/f 控制	SF 转差频率控制	VC 矢量控制
加减速特性		加减速控制有限度，④象限运转时在零速度附近有空载时间，过电流抑制能力小	加减速控制有限度（比 U/f 控制有提高），④象限运转时通常在零速度附近有空载时间，过电流抑制能力一般	加减速时的控制无限度，可以进行连续④象限运转，过电流抑制能力大
速度控制	范围	1:10	1:20	1:100 以上
	响应	—	5 ~ 10rad/s	30 ~ 100rad/s
	控制精度	根据负载条件转差频率发生变动	与速度检出精度、控制运算精度有关	模拟最大值的 0.5% 数字最大值的 0.05%
转矩控制		原理上不可能	除车辆调速等外，一般不适用	适用 可以控制静止转矩
通用性		基本上不需要因电动机特性差异进行调整	需要根据电动机特性给定转差频率	按电动机不同的特性需要给定磁场电流、转矩电流、转差频率等多个控制量
控制构成		最简单	较简单	稍复杂

4. 按用途分类

(1) 通用变频器 通用变频器的特点是其通用性。随着变频技术的发展和市场需要的不断扩大，通用变频器也在朝着两个方向发展：一是低成本的简易型通用变频器；二是高性能的多功能通用变频器。它们分别具有以下特点：

简易型通用变频器是一种以节能为主要目的而简化了一些系统功能的通用变频器。它主