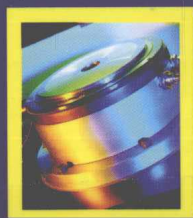


电工实用技术丛书



# 实用 变频器技术



电工实用技术丛书

# 实用变频器技术

王 建 徐洪亮 主编

辽宁科学技术出版社

沈 阳

## 内容简介

本书根据企业生产实际,结合典型项目的变频器及 PLC 程序,详细介绍了三菱 FR-A700 变频器的实用技术,实例设计紧贴生产一线。主要内容包括:变频器基础、通用变频器的基本操作与应用、变频器及外围设备的选择、变频调速拖动系统设计与典型应用等内容。

本书内容取材于生产一线,实用性强,可供广大生产一线从事电气控制的人员使用,也可供电气技术人员参考,更是各级各类职业教育机构相关专业的理想教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

实用变频器技术 / 王建, 徐洪亮主编. — 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2011.4

(电工实用技术丛书)

ISBN 978-7-5381-6863-1

I. ①实… II. ①王… ②徐… III. ①变频器 - 基本  
IV. ①TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 018717 号

---

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳市北陵印刷厂有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 11

字 数: 260 千字

印 数: 1~4000

出版时间: 2011 年 4 月第 1 版

印刷时间: 2011 年 4 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪 王 晶

责任校对: 李淑敏

---

书 号: ISBN 978-7-5381-6863-1

定 价: 22.00 元

联系电话: 024-23284372

邮购热线: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

本书网址: [www.lnkj.cn/uri/sh/6863](http://www.lnkj.cn/uri/sh/6863)

# 编 委 会

主 编 王 建 徐洪亮

副主编 王继先 李华雄 边保家

徐丕兵 王春晖

参 编 常卫花 岳同森 寇 爽

孙月光 李修霞 李迎波

主 审 张 宏

参 审 韩春梅

# 目 录

<b>第一章 变频器基础</b> .....	1
<b>第一节 变频器的组成和原理</b> .....	1
一、变频器的结构 .....	1
二、变频器的基本工作原理 .....	9
<b>第二节 变频器的分类</b> .....	12
一、按变频的原理分类 .....	12
二、按变频的控制方式分类 .....	17
三、按用途分类 .....	20
<b>第三节 变频器的脉宽调制技术</b> .....	21
一、PWM 控制的基本原理 .....	22
二、PWM 型逆变电路的控制方式 .....	27
<b>第四节 变频器的基本参数</b> .....	29
一、基本频率参数 .....	29
二、其他频率参数 .....	31
<b>第五节 变频器的安装与维护</b> .....	36
一、变频器的安装 .....	36
二、变频器的日常维护与检查 .....	39
三、变频器的接线 .....	40
四、变频器的外部接口电路 .....	44
<b>第二章 通用变频器的基本操作与应用</b> .....	61
<b>第一节 变频器的基本操作</b> .....	61
一、变频器运行前的操作 .....	61
二、PU 运行操作 .....	76
三、外部运行 .....	81
四、典型实例 .....	88

第二节	变频器的正转、反转控制 .....	91
一、	FR-A740-2.2K-CHT 三菱变频器正反转控制	
	线路的连接 .....	91
二、	相关功能参数的含义及设定操作技能 .....	92
三、	典型实例 .....	102
第三节	变频器的点动控制 .....	105
一、	FR-A740-2.2k-CHT 三菱变频器点动控制	
	线路的连接 .....	105
二、	相关功能参数的含义及设定操作技能 .....	107
三、	应用实例 .....	109
第四节	变频器的外接两地控制 .....	111
一、	FR-A740-2.2K-CHT 三菱变频器两地控制	
	线路的连接 .....	111
二、	相关功能参数的含义及设定操作技能 .....	112
三、	典型实例 .....	113
第五节	变频器的组合运行控制 .....	116
一、	FR-A740-2.2K-CHT 三菱变频器组合控制	
	运行线路的连接 .....	116
二、	相关功能参数的含义及设定操作技能 .....	117
三、	典型实例 .....	121
第六节	变频器的多段速控制 .....	124
一、	FR-A740-2.2K-CHT 三菱变频器多段速控制	
	线路的连接 .....	124
二、	相关功能参数的含义及设定操作技能 .....	125
三、	典型实例 .....	127
第七节	变频器的 PID 控制运行操作 .....	132
一、	FR-A740-2.2Kk-CHT 三菱变频器 PID 控制	
	线路的连接 .....	132
二、	相关功能参数的含义及设定操作技能 .....	133

三、典型实例 .....	142
第八节 变频器的多级加减速控制 .....	144
一、FR-A740-2.2K-CHT 三菱变频器多级加减速控制 线路的连接 .....	145
二、相关功能参数的含义及设定操作技能 .....	146
三、典型实例 .....	148
第三章 变频器及外围设备的选择 .....	152
第一节 变频器类型的选择 .....	152
一、对恒转矩负载变频器的选择 .....	152
二、对恒功率负载变频器的选择 .....	154
三、对二次方律负载变频器的选择 .....	156
四、其他类型的负载变频器的选择 .....	158
五、变频器形式的选择 .....	160
第二节 变频器容量的计算 .....	161
一、连续运行时变频器容量的选定 .....	162
二、加减速时变频器容量的选定 .....	163
三、频繁加减速运转时变频器容量的选定 .....	163
四、电动机电流变化不规则的场合所需变频器 容量的选定 .....	164
五、电动机直接启动时所需变频器容量的选定 .....	164
六、大惯性负载启动时变频器容量的选定 .....	165
七、一台变频器拖动多台电动机并联运行时 变频器容量的选定 .....	165
八、多台电动机并联启动且部分直接启动时 变频器容量的选定 .....	167
九、并联运行中追加投入启动时变频器容量的选定 ...	167
十、与离心泵配合使用时变频器容量的选定 .....	168
十一、电动机轻载时变频器容量的选定 .....	168
第三节 变频器选择的注意事项 .....	169

一、启动转矩与低速区转矩 .....	169
二、变频器的输出电压 .....	170
三、变频器的输出频率 .....	170
四、变频器的保护结构 .....	170
五、从电网到变频器的切换 .....	171
六、瞬时停电再启动 .....	171
七、变频器容量选择的注意事项 .....	171
<b>第四节 变频器的外围设备及选择 .....</b>	<b>173</b>
一、输入变压器 .....	174
二、低压断路器 .....	174
三、交流接触器 .....	175
四、电抗器 .....	175
五、制动电阻 .....	177
六、滤波器 .....	181
<b>第五节 电动机的选择 .....</b>	<b>181</b>
一、电动机类型的选择 .....	182
二、电动机额定功率的选择 .....	183
三、电动机额定电压的选择 .....	187
四、电动机额定转速的选择 .....	187
五、电动机形式的选择 .....	188
<b>第四章 变频调速拖动系统的设计与典型应用 .....</b>	<b>190</b>
<b>第一节 变频调速拖动系统设计基础 .....</b>	<b>190</b>
一、设计变频调速拖动系统的基本要求 .....	190
二、变频调速时电动机的机械特性 .....	192
<b>第二节 恒转矩负载变频调速系统的设计 .....</b>	<b>197</b>
一、恒转矩负载的基本特点 .....	197
二、系统设计的主要问题 .....	198
三、电动机和变频器的选择 .....	203
<b>第三节 恒功率负载变频调速系统的设计 .....</b>	<b>206</b>



一、恒功率负载的基本特点 .....	206
二、系统设计的主要问题 .....	206
三、电动机和变频器的选择 .....	210
四、典型实例——车床主轴的变频调速 .....	211
<b>第四节 二次方律负载变频调速系统的设计 .....</b>	<b>220</b>
一、二次方律负载的基本特点 .....	220
二、系统设计的主要问题 .....	220
三、电动机与变频器的选择 .....	222
四、典型实例——恒压供水系统 .....	223
<b>第五节 通用变频器在典型控制系统中的应用 .....</b>	<b>243</b>
一、工业洗衣机控制系统 .....	243
二、电梯控制系统 .....	251
三、中央空调控制系统 .....	262
四、注塑机电气控制系统的 PLC、变频器改造 .....	275
五、龙门刨床的 PLC、变频器改造 .....	296
六、离心机变频控制系统 .....	334
<b>参考文献 .....</b>	<b>342</b>

# 第一章 变频器基础

## 第一节 变频器的组成和原理

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学、电力电子技术、计算机技术和自动控制理论等的不断发展而发展，其应用越来越普及。变频器的外形图如图 1-1 所示。

### 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。



图 1-1 变频器的外形

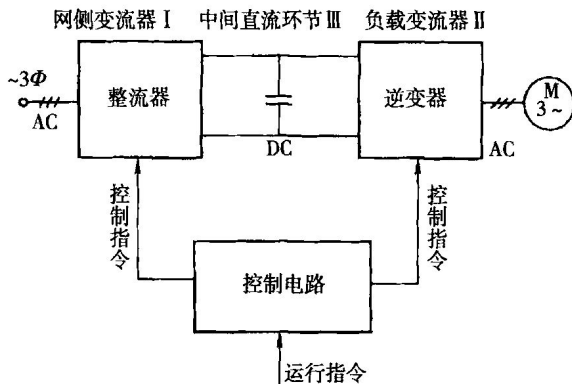


图 1-2 通用变频器的基本结构

## 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 中的 VD1 ~ VD6。

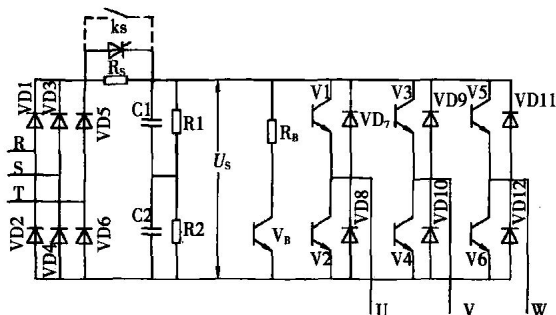


图 1-3 交—直—交电压型变频器主电路

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及伏安特性如图 1-4 所示，其中，A 为阳极，K 为阴极，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。

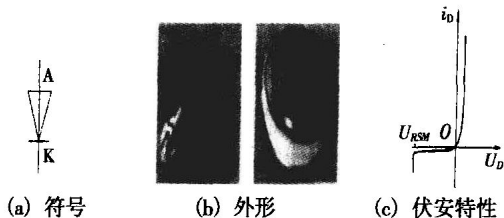


图 1-4 电力二极管图形符号和伏安特性

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 1-5 (a) 所示，其中，A 为阳极，K 为阴极，G 为门极，其伏安特性如图 1-5 (b) 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，晶闸管开通。但导通后门极失去控制作用，不能用门极控制晶闸管关断，所以它是半控器件。其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  $I_L$ 、通态浪涌电流  $I_{TSM}$  等。

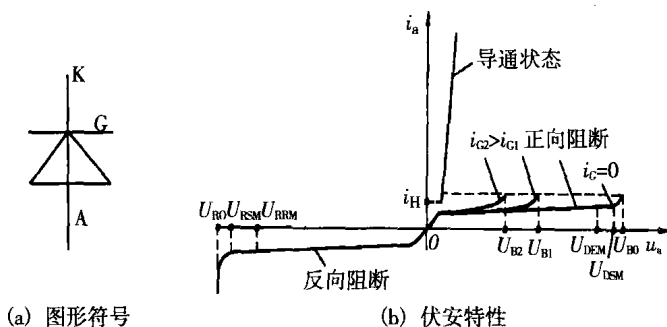


图 1-5 图形符号和伏安特性

(2) 滤波及限流电路：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 C1 和 C2。为了解决电容 C1 和 C2 的均压问题，在两电容旁各并联一个阻值相等的均压电阻 R1 和 R2。

在图 1-3 中，串接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。在许多新型变频器中， $R_s$  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

流成直流电压和直流电流，但这种电压和电流含有电压或电流纹波，将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压进行滤波。

对电流型变频器来说，直流中间电路通过电感对输出电压进行滤波。

(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和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，该电路关键是对开关器件电力晶体管进行控制。目前，常用的开关器件有门极可关断晶闸管 (GTO)、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，在使用时要查有关的使用手册。

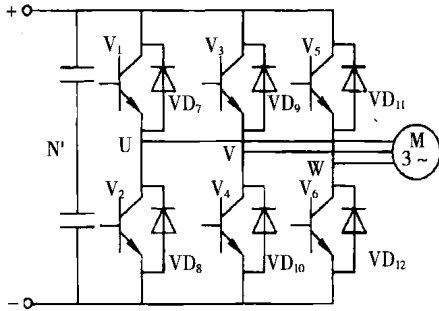


图 1-6 三相桥式逆变电路

①门极可关断晶闸管 (GTO) 的开通控制与晶闸管一样，但门极加负电压可使其关断，具有自关断能力，属于全控器件，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。其多数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。

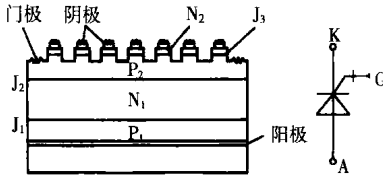


图 1-7 门极可关断晶闸管的结构和图形符号

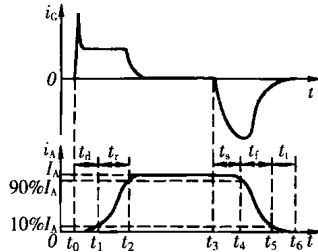
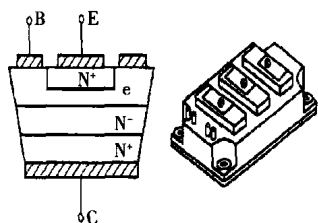


图 1-8 开关特性示意图

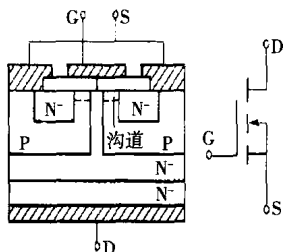
②电力晶体管通常又称为双极型晶体管, 是一种大功率高反压晶体管, 属于全控型器件。其工作原理与普通中小功率晶体管相似, 但主要工作在开关状态, 不用于信号放大, 它所承受的电压和电流数值大, GTR 作为大功率开关应用最多的是 GTR 模块, 其结构和外形如图 1-9 所示, 其中, B 为基极, C 为集电极, E 为发射极。主要参数有反向击穿电压  $U_{CEO}$ 、最大工作电流  $I_{CM}$ 、集电极最大耗散功率  $P_{CM}$ 、开通时间  $t_{on}$ 、关断时间  $t_{off}$  等。

③电力场效应晶体管 (P-MOSFET) 是单极型全控器件, 属于电压控制型器件。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  $\mu_{CS} < U_i$  时,  $i_p$  近似为零; 当  $\mu_{CS} > U_i$  时, 随着  $\mu_{CS}$  的增大,  $i_D$  也增大, 当  $i_p$  较大时,  $i_D$  与  $\mu_{CS}$  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, 当  $\mu_{CS}$  不变时,  $i_D$  几乎不随  $\mu_{DS}$  的增加而增加, 近似为一常数。当 P-MOSFET 作为线性放大时, 就工作在该区; 在雪崩区 III, 当  $\mu_{CS}$  增加到某一数值

时，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  $BU_{DS}$ ，漏极连续电流  $I_D$ ，漏极峰值电流  $I_{DM}$ ，栅极峰值电流  $I_{GM}$ ，栅源击穿电压  $BU_{GS}$ ，开启电压  $U_i$ ，极间电容和通态电阻  $R_{ON}$  等。



(a) 结构示意图 (b) 外形图  
图 1-9 GTR 模式的结构和外形



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

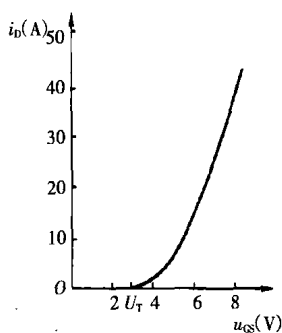


图 1-11 P-MOSFET 的转移特性

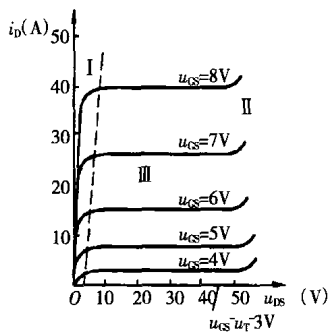


图 1-12 P-MOSFET 的输出特性

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，其结构和图形符号如图 1-13 所示，其中，G 为栅极，C 为集电极，E 为发射极。IGBT 的开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 截止。

关断，其传输特性如图 1-14 (a) 所示，当  $u_{CE}$  小于开启电压  $u_{CE(th)}$  时，IGBT 处于关断状态；当  $u_{CE}$  大于开启电压  $u_{CE(th)}$  时，IGBT 开始导通， $i_C$  与  $u_{CE}$  基本呈现线性关系。其输出特性如图 1-14 (b) 所示，该特性描述以栅射电压  $u_{CE}$  为控制变量时，集电极电流  $i_C$  与集射极间电压  $u_{CE}$  之间的相互关系。IGBT 的输出特性可分为三个区域：正向阻断区、有源区、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  $U_{CES}$ ，集电极额定最大直流  $I_C$ ，集电极—发射极间的饱和压降  $U_{CE(sat)}$  和开关频率等。

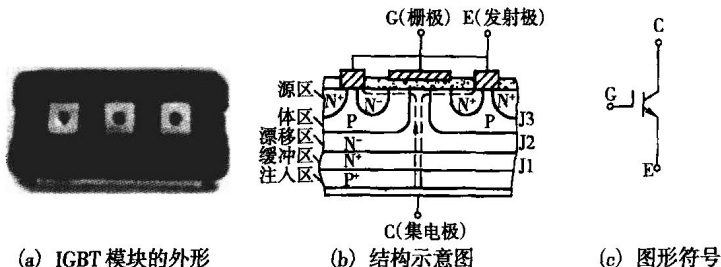


图 1-13 IGBT 模块的外形、结构示意图、图形符号

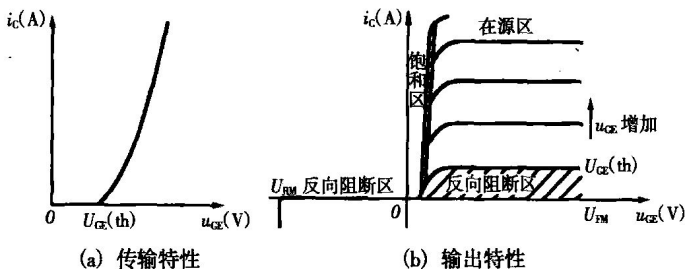


图 1-14 IGBT 的静态特性

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)。随着可关断晶闸管 (GTO) 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 中, 由开关管器件 V1 ~ V6 构成的电路称为逆变器, 由 VD7 ~ VD12 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反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力矩, 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 VD7 ~ VD12 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 C1 和 C2 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  $U_s$  超过规定值时, 控制功率管 VB 导通, 接通能耗制动电路, 使直流回路通过 RB 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