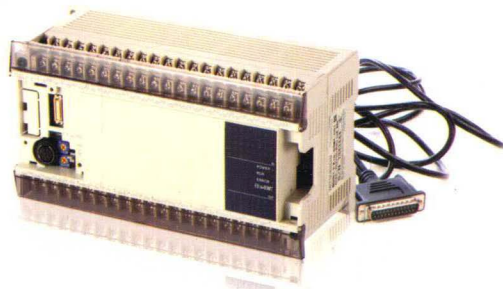




三菱 变频器与PLC 综合应用入门

万英 编著

深入浅出
入门快捷
内容全面



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

三菱 变频器与PLC 综合应用入门

万英 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以三菱公司的FR-A740变频器与FX2N系列PLC为例,以现场应用为导向,循序渐进地介绍了变频器与PLC的使用方法和实际应用,全书内容结构完整、重点突出、条理清晰、趣味性强、插图直观、通俗易懂。

本书实用性强、可读性强、操作性强,可供职业院校电气工程、机电一体化、自动化等相关专业的学生使用,也可供技术培训及在职技术人员参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

三菱变频器与PLC综合应用入门 / 万英编著. —北京: 中国电力出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-5198-0680-4

I. ①三… II. ①万… III. ①变频器—基本知识②PLC技术—基本知识 IV. ①TM773
②TM571.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第083678号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 刘 焜

责任校对: 王开云

装帧设计: 王英磊 张 娟

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 2017年6月第一版

印 次: 2017年6月北京第一次印刷

开 本: 787毫米×1092毫米 16开本

印 张: 12.5

字 数: 301千字

印 数: 0001—2000册

定 价: 38.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

前言



在众多的自动化控制器件和驱动装置中，变频器与PLC的应用非常广泛，它们已成为电气自动化控制系统中不可或缺的部分。本书是在认真研判相关职业标准的基础上，结合当前变频器与PLC的应用现状及一线工人的实际需求而编写的。通过对本书的学习，力求使读者了解和掌握电气控制变频器与PLC的基本知识和设计方法，并通过一些完整的应用实例加以说明，达到举一反三的目的。

本书以三菱公司的FR-A740变频器与FX_{2N}系列PLC为例，以现场应用为导向，循序渐进地介绍了变频器与PLC的使用方法和实际应用。全书共分十章，详细介绍了变频器与PLC的基本知识、变频器与PLC的使用方法、变频器与PLC的基本应用和典型应用、变频器与PLC的联机应用、变频器与PLC的选型与维护等内容。

本书内容结构完整、重点突出、条理清晰、趣味性强、插图直观、通俗易懂，实用性强、可读性强、操作性强，可供职业院校电气工程、机电一体化、自动化等相关专业的学生使用，也可供技术培训及在职技术人员参考和使用。

本书在编写过程中参阅了近年来出版的一些电工电子类书籍和刊物以及互联网上的电工电子类资料，在此对这些作者表示衷心的感谢！由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

编者

目 录



前言

第一章 变频器的基本知识	1
第一节 变频器的作用	1
第二节 变频器的分类	2
第三节 变频器的工作原理	3
第四节 变频器的基本结构	4
第五节 变频器的核心元器件	8
第二章 三菱 FR-A740 变频器	11
第一节 三菱变频器产品简介	11
第二节 三菱 FR-A740 变频器的特性	12
第三节 三菱 FR-A740 变频器的接线端子	16
第四节 三菱 FR-A740 变频器面板操作方法	23
第五节 三菱 FR-A740 变频器的主要参数及调试	28
第三章 三菱 FR-A740 变频器的基本应用	34
第一节 三菱 FR-A740 变频器主要参数简介	34
第二节 变频器的连续正反转及变频控制 (PU 操作模式)	40
第三节 变频器的正反转点动及变频控制 (PU 操作模式)	42
第四节 变频器的正反转点动控制 (EXT 操作模式)	43
第五节 变频器的连续正反转及点动控制 (EXT 操作模式)	45
第四章 三菱 FR-A740 变频器的典型应用	48
第一节 变频器在多段速控制中的应用	48
第二节 变频器在自动正反转控制中的应用	55
第三节 变频器在 PID 控制中的应用	58
第四节 变频器在程序控制中的应用	64
第五章 PLC 的基本知识	70
第一节 PLC 的基本特性	70
第二节 PLC 的基本结构	73
第三节 PLC 的工作原理	75
第四节 PLC 的核心单元	77
第六章 三菱 FX2N 系列 PLC	82
第一节 三菱 PLC 产品简介	82

第二节	三菱 FX ₂ N 系列 PLC 的整机配置	85
第三节	三菱 FX ₂ N 系列 PLC 的编程元件	94
第四节	三菱 FX ₂ N 系列 PLC 的用户程序	101
第五节	三菱 FX ₂ N 系列 PLC 的基本逻辑指令	103
第七章	三菱 FX₂N 系列 PLC 的基本应用	114
第一节	PLC 的编程规则及步骤	114
第二节	PLC 控制电动机连续运行	118
第三节	PLC 控制电动机正反转运行	120
第四节	PLC 控制电动机 Y- Δ 降压启动运行	123
第五节	PLC 控制电动机串电阻降压启动及反接制动运行	125
第六节	PLC 控制电动机全波整流能耗制动运行	128
第七节	PLC 控制电动机自动往返循环运行	130
第八节	PLC 控制电动机顺序启动、逆序停车运行	133
第八章	三菱 FX₂N 系列 PLC 的典型应用	137
第一节	PLC 在钻床控制中的应用	137
第二节	PLC 在机械手控制中的应用	141
第三节	PLC 在交通信号灯控制中的应用	145
第四节	PLC 在抢答器控制中的应用	149
第五节	PLC 在多种物料混合控制中的应用	153
第九章	三菱变频器与 PLC 的联机应用	157
第一节	变频器与 PLC 的联机	157
第二节	联机在电动机正反转控制中的应用	158
第三节	联机在电动机模拟信号无级调速控制中的应用	161
第四节	联机在电动机 3 段速控制中的应用	163
第五节	联机在电动机工频-变频切换控制中的应用	166
第六节	联机在高炉卷扬机控制中的应用	169
第十章	变频器与 PLC 的选型与维护	176
第一节	变频器的选型基础	176
第二节	变频器的选型	178
第三节	变频器的维护	182
第四节	PLC 的选型基础	184
第五节	PLC 的选型	186
第六节	PLC 的维护	189
参考文献	192

变频器的基本知识

第一节 变频器的作用

变频器是集高压大功率晶体管技术和电子控制技术于一体的控制装置，它利用电力电子器件的通断特性，将固定频率的电源变换为另一频率（连续可调）的交流电，其作用是改变交流电动机供电的频率和幅值，从而改变其运动磁场的周期，达到平滑控制交流电动机转速的目的，如图 1-1 所示。

变频器具有明显的智能化特征，能实现对交流电动机的软启动、变频调速，它可以提高运转精度、改变功率因数并具有过流、过压和过载保护。变频器与交流电动机相结合，可以实现对生产机械的传动控制，称为变频器传动。变频器传动已成为

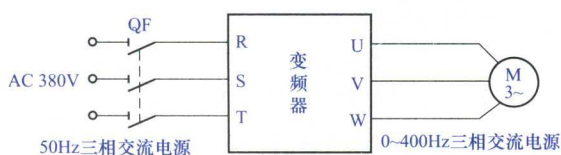


图 1-1 变频器的作用

为实现工业自动化的主要手段之一，在各种生产机械中（如风机、水泵、生产线、机床、纺织机械、塑料机械、造纸机械、食品机械、石化设备、工程机械、矿山机械、钢铁机械等）有着广泛的应用。它可以提高自动化水平，提高机械性能，提高生产效率，提高产品质量且节能，并且缩小了体积，降低了维修率，使传动技术发展到新阶段。

变频器的出现，使得交流电动机复杂的调速控制变得简单，它可以替代大部分原先只能用直流电动机完成的工作，在调速性能方面完全可与直流电力拖动相媲美，是现代电动机调速运行的发展方向之一。从调速特性上看，变频调速的任何一个速度段的机械特性都较硬，且调速范围宽，能实现真正的无级调速，在交流电动机多种调速方式（变极调速、串电阻调速、降压调速、串级调速）中具有绝对优势。归纳起来，变频调速具有以下优点。

- (1) 调速时平滑性好，效率高。交流电动机低速运行时，相对稳定性好。
- (2) 调速范围大，精度高。
- (3) 可实现交流电动机软启动，且启动电流低，对系统及电网无冲击，节电效果明显。
- (4) 变频器体积小，便于安装、调试，维修简便。
- (5) 易于实现过程自动化。
- (6) 交流电动机总是保持在低转差率运行状态，可减小转子损耗。

变频器经过几十年的发展，目前已处于应用普及阶段，但许多企业的工程技术人员对变频器的了解还处于非常初级的阶段。因此，我们有必要学习变频器的有关知识。

第二节 变频器的分类

1. 按电路结构形式分类

变频器按主电路结构形式的不同可分为交—交变频器和交—直—交变频器两大类。主电路中没有直流中间环节的变频器称为交—交变频器，有直流中间环节的称为交—直—交变频器。

(1) 交—交变频器可将工频交流电直接转换成可控频率的电压的交流电，由于没有直流中间环节，因此又称为直接式变压变频器。这类变频器的优点是过载能力强、效率高、输出波形较好，缺点是输出频率只有电源频率的 $1/3 \sim 1/2$ 、功率因数低，一般只用于低速大功率拖动系统。

(2) 交—直—交变频器先将工频交流电整流换成直流电，再通过逆变器将直流电变成可控的频率和交流电压，由于有直流中间环节，因此又称为间接式变压变频器。这类变频器是通用变频器的主要形式，能实现平滑的无级调速、变频范围可达 $0 \sim 400\text{Hz}$ ，效率高，广泛应用于一般交流异步电动机的变频调速控制。

交—直—交变频器根据直流中间电路的储能元件是电容性还是电感性，还可以分为电压型变频器和电流型变频器两种。

1) 电压型变频器储能元件为电容器，被控量为电压，动态响应较慢，其特性是输出电压恒定、电压波形为方波、电流波形为正弦波、允许多台电动机并联运行、过流及短路保护复杂，适宜一台变频器对多台电动机供电的多机运行方式。

2) 电流型变频器储能元件为电抗器，被控量为电流，动态响应快，其特性是输出电流恒定、电流波形为方波、电压波形为正弦波、不允许多台电动机并联运行、过流及短路保护简单，适宜一台变频器对一台电动机供电的单机运行方式。

2. 按电压调制方式分类

变频器按输出电压调制方式的不同可分为 PAM 控制方式变频器、PWM 控制方式变频器和 SPWM 控制方式变频器三种。

(1) 脉冲幅值调制 (PAM) 控制方式变频器是通过改变直流电压的幅值进行调压，在变频器中，逆变器只负责调节输出频率，而输出电压的幅值调节则由相控整流器或直流斩波器通过调节直流电压的幅值实现。此种方式下，系统低速运行时谐波与噪声都比较大，所以当前几乎不采用，只有在与高速电动机配套的高速变频器中才采用。

(2) 脉冲宽度调制 (PWM) 控制方式变频器是通过逆变器同时对输出电压的幅值和频率按 PWM 方式进行调节，其特点是变频器在改变输出频率的同时，也改变输出电压的脉冲占空比 (幅值不变)。此种方式具有谐波影响少、输出转矩波动小、控制电路简单 (与 PAM 相比)、成本低等特点，是目前通用变频器中广泛采用的一种逆变器控制方式。

(3) 正弦波脉宽调制 (SPWM) 控制方式变频器是通过 PWM 输出的脉冲系列的占空比宽度按正弦规律来安排，使输出电压 (电流) 的平均值接近于正弦波。此种方式下，电压的脉冲系列可以使负载电流中的谐波成分大为减小，使电动机在进行调速运行时能够更加平滑。

3. 按逆变器控制方式分类

变频器按逆变器控制方式的不同可分为 U/f 控制方式变频器、转差频率控制方式变频



器、矢量控制方式变频器和直接转矩控制方式变频器等几种。

(1) U/f 控制方式是早期变频器采用的控制方式。在这种控制方式中,为了得到比较满意的转矩特性,变频器的输出电压频率 f 和输出电压幅值 U 同时得到控制,并基本保持 U/f 恒定。

(2) 转差频率控制方式是在若基本保持 U/f 恒定,则电动机的转矩基本上与转差率 s 成正比的基础上所建立的控制方式,它通过调节变频器的输出频率就可以使电动机具有某一所需的转差频率,即可得到电动机所需的输出转矩。

(3) 矢量控制方式的基本原理是通过测量和控制电动机定子电流矢量,根据磁场定向原理分别对电动机的励磁电流和转矩电流进行控制,从而达到控制电动机转矩的目的。

(4) 直接转矩控制方式也称之为“直接自控制”,它是建立在精确的电动机模型基础上的控制方式,电动机模型是在电动机参数自动辨识程序运行中建立的。通过简单地检测电动机定子电压和电流,借助瞬时空间矢量理论计算电动机磁链和转矩,并根据与给定值比较所得差值,实现磁链和转矩的直接控制。

4. 按性能和用途分类

变频器根据性能和用途的不同可分为通用型变频器和专用型变频器。通用型是变频器的基本类型,具有变频器的基本特征,它包含节能型变频器和高性能变频器两大类,可应用于各种场合;专用型变频器是针对某一种特定的应用场合而设计的变频器,其在某一特定方面具有优良的性能,如风机、水泵、空调专用变频器,注塑机专用、纺织机械专用变频器,电梯、起重机专用变频器等。

5. 其他分类

变频器按供电电压的不同可分为低压变频器(440V以下)、中压变频器(600V~1kV)、高压变频器(1kV以上);按供电电源的相数不同可分为单相输入变频器、三相输入变频器;按输出功率的不同可分为小功率变频器(7.5kW以下)、中大功率变频器(11kW以上);按开关器件不同可分为IGBT变频器、GTO变频器、GTR变频器等。

第三节 变频器的工作原理

1. 变频器的调速原理

由电动机理论可知,电动机的转速 n 与三相交流电源的频率 f 、电动机磁极对数 P 、电动机转差率 s 之间的关系为

$$n = \frac{60f}{P} \times (1 - s)$$

从上式可以看出,影响电动机转速的因素有电动机的磁极对数 P 、转差率 s 和电源频率 f 。对于一个定型的电动机来说,磁极对数 P 一般是固定的,通常情况下,转差率 s 对于特定的负载来说是基本不变的,并且其可以调节的范围较小,加之转差率不易被直接测量,调节转差率来调速在工程上并未得到广泛应用。因此,只有通过改变电动机的供电频率 f 来实现电动机的调速运行,这就是变频器调速的原理。

2. 变频器的工作原理

从表面上看,只要改变三相交流电源的频率 f ,就可以调节电动机转速的高低。事实上,

只改变 f 并不能正常调速，因为会出现转速非线性变化的情况，而且很可能会引起电动机因过流而烧毁，这是由异步电动机的特性决定的。因此进行调速控制时，必须保持电动机的主磁通恒定。

若磁通太弱，铁芯利用不充分，在同样的转子电流下，电磁转矩小，电动机带负载能力下降。要想带负载能力恒定，就得加大转子电流，这就会引起电动机因过电流发热而烧毁。若磁通太强，则电动机处于过励磁状态，励磁电流过大，同样会引起电动机因过电流而发热。所以，变频调速一定要保持磁通恒定。

为了保证电动机调速过程中磁通保持恒定，由感应电动势的基本公式 $E=4.44fN\Phi_m$ 可知，磁通最大值 $\Phi_m = \frac{E}{4.44fN}$ ，由于式中 N （定子绕组匝数）对某一台电动机而言是一个固定常数，所以只要对 E （感应电动势）和 f （频率）进行适当的控制，就可以使磁通 Φ_m 保持额定值不变。恒磁通变频调速的实质是，调速时要保证电动机的电磁转矩恒定不变，这是因为电磁转矩与磁通是成正比的关系。

由上面的分析可知，异步电动机的变频调速必须按照一定的规律且同时改变感应电动势 E 和频率 f ，即必须通过变频装置获得电压和频率均可调节的供电电源，从而实现调速控制，这就是变频器的工作原理。下面分基频以下与基频以上两种调速情况进行分析。

3. 由基频（电动机额定频率）开始向下变频调速

为了保持电动机的带负载能力，应控制气隙主磁通 Φ_m 保持不变，这就要求频率由额定值 f 向下减小的同时应降低感应电动势，以保持 E/f 为常数，即保持电动势与频率之比为常数。这种控制又称为恒磁通变频调速，属于恒转矩调速方式。

但是， E 难于直接检测和直接控制。当 E 和 f 的值较高时，定子的漏阻抗电压降相对比较小，如忽略不计，则可以近似地保持定子绕组相电压 U 和频率 f 的比值为常数，即认为 $U=E$ ，这就是恒压频比控制方式，是近似的恒磁通控制。

当频率较低时， U 和 E 都变得很小，此时定子电流却基本不变，所以定子的阻抗压降，特别是电阻压降相对此时的 U 来说是不能忽略的。因此可以想办法在低速时人为地提高定子相电压 U 以补偿定子阻抗压降的影响，使气隙主磁通 Φ_m 额定值基本保持不变。

4. 由基频（电动机额定频率）开始向上变频调速

频率由额定值 f 向上增大的同时，如果按照 E/f 为常数的规律控制，则电压也必须由额定值向上增大，但电压受额定电压的限制不能再升高，只能保持不变。根据公式 $E=4.44fN\Phi_m$ 可知，随着 f 的升高，即电动机转速升高，主磁通 Φ_m 必须相应地随着 f 的上升而减小才能保持 E/f 为常数，此时相当于直流电动机弱磁调速的情况，属于近似的恒功率调速方式。也就是说，随着转速的提高（ f 增大），电压恒定，磁通就自然下降，当转子电流不变时，电磁转矩就会减小，电磁功率却保持恒定不变。

第四节 变频器的基本结构

交—直—交变频器称为通用变频器（简称变频器），它先将工频交流电源通过整流器转换成直流电，然后再经过逆变器将直流电转换成电压和频率可调的交流电源，目前变频器的变换环节大多采用交—直—交变频方式。交—直—交变频器的基本结构是整流电路和无源逆



变电路的组合，它由主电路、控制电路、检测电路、保护电路、操作电路、显示电路等组成，其中主电路和控制电路是变频器的核心，如图 1-2 所示。

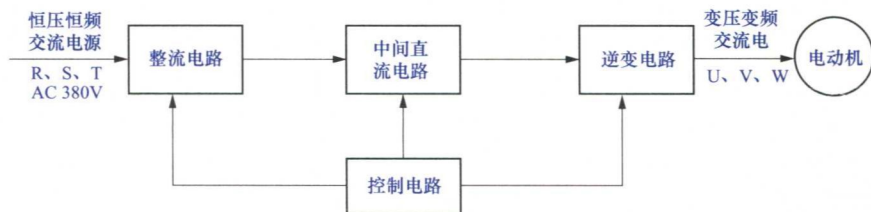


图 1-2 变频器的基本结构

变频器主电路包括整流电路、中间直流电路和逆变电路三部分。整流电路可将三相（也可以是单相）交流电转换成直流电，逆变电路可将直流电转换成任意频率的交流电，中间直流电路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，无论电动机处于电动状态还是发电制动状态，其功率因数都不会为 1，因此在中间直流电路和电动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电路的储能元件（电容器或电抗器）进行缓冲。

变频器控制电路为主电路提供控制信号，通常由运算电路、检测电路、控制信号的 I/O 电路及驱动电路等组成，其主要任务是完成对逆变电路开关元件的开关控制、对整流电路的电压控制及各种保护功能等。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，因此数字控制方式常可以完成模拟控制方式难以实现的功能。

1. 主电路

变频器的主电路如图 1-3 所示。

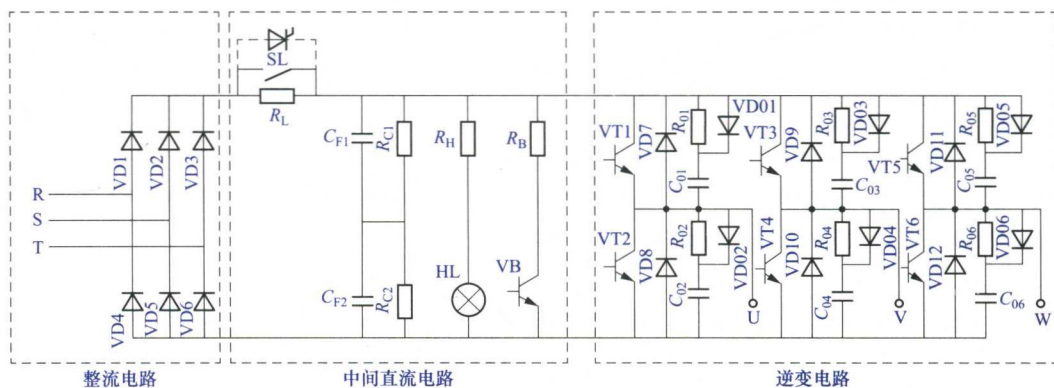


图 1-3 变频器的主电路

(1) 整流电路。变频器的整流电路是由全波整流桥 (VD1~VD6) 组成，其主要作用是对工频电源进行整流，经中间直流电路平滑滤波后为逆变电路和控制电路提供所需要的直流电源。整流电路可分为可控整流和不可控整流，根据输入电源的相数可分为单相（小型变频器）和三相桥式整流，可控整流使用的器件通常为普通晶闸管，不可控整流使用的器件通常为普通整流二极管。

(2) 中间直流电路。

1) 限流电路。由限流电阻 R_L 和短路开关 SL 组成的并联电路，短路开关 SL 大多由晶闸管构成，在容量较小的变频器中，也常由继电器的触点构成。变频器刚接入电源的瞬间，将产生很大的冲击电流经整流电路流向滤波电容器 C_{F1} 、 C_{F2} ，使整流桥可能因此而受到损坏，将限流电阻 R_L 串接在整流桥和滤波电容器之间，就是为了削弱该冲击电流并将其限制在允许的范围内，避免整流桥受到损坏。但限流电阻 R_L 不能长期接在电路内，否则会影响直流电压和变频器输出电压的大小，并消耗能量。所以当直流电压增大到一定程度时，令短路开关 SL 接通，将限流电阻 R_L 短路（切出限流电路）。

2) 滤波电路。滤波器可分为电容和电感两种，采用电容滤波具有电压不能突变的特点，可使直流电的电压波动比较小，输出阻抗比较小，相当于直流恒压源，因此这种变频器也称为电压型变频器。电感滤波具有电流不能突变的特点，可使直流电流波动比较小，由于串联在回路中，其输出阻抗比较大，相当于直流恒流源，因此这种变频器也称为电流型变频器。

电容滤波电路通常由若干个电解电容串联成一组 (C_{F1} 、 C_{F2})，以滤除桥式整流后的电压纹波，保持直流电压平稳。由于电解电容的容量有较大的离散性，可能使各电容的电压不相等，因此，为了解决 C_{F1} 和 C_{F2} 的均压问题，在两电容旁并联一个阻值相等的均压电阻 R_{C1} 和 R_{C2} 。

3) 电源指示电路。电源指示灯 HL 除了表示电源是否接通外，还具有提示保护的作用，即在变频器切断电源后，提示滤波电容器 C_F 上的电荷是否已经释放完毕。由于 C_F 的容量较大，而切断电源又必须在逆变电路停止工作的状态下进行，所以 C_F 没有快速放电的回路，其放电时间往往长达数分钟。又由于 C_F 的电压较高，如不放完，对人身安全将构成威胁。故在维修变频器时，必须等指示灯 HL 完全熄灭后才能接触变频器内部的导电部分，以保证安全。

4) 能耗制动电路。能耗制动电路是为了满足异步电动机制动的需要而设置的，它由制动电阻 R_B 、制动三极管 VB 构成。电动机在停机或降速过程中，输出频率将下降，电动机将处于再生制动状态，此时必须将再生到直流电路的能量消耗掉，制动电阻 R_B 就是用来以热能形式消耗这部分能量的。制动三极管 VB 由 GTR 或 IGBT 及其驱动电路构成，其功能是为放电电流流经 R_B 提供通路。

新型变频器都有内部制动功能，并有交流制动和直流制动两种方式。一般来讲，7.5kW 及以下的小容量通用变频器都采用内部制动功能，7.5kW 以上的大、中容量的通用变频器可采用外接制动电阻、制动单元和电源再生电路。

(3) 逆变电路。

1) 三相逆变桥。三相逆变桥是通用变频器核心部件之一，其输出就是变频器的输出，它通过 6 个功率开关器件 (VT1~VT6) 按一定规律轮流导通或截止，将中间直流电路输出的直流电源转换为频率和电压都任意可调的三相交流电源。目前，常用的功率开关器件有门极关断晶闸管 (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，在使用时可以查阅有关使用手册。

2) 续流电路。续流电路由续流二极管 (VD7~VD12) 构成。其主要功能为：电动机的绕组是电感性的，其电流具有无功分量，VD7~VD12 为无功电流返回直流电源提供通道；当频率下降、电动机处于再生制动状态时，再生电流将通过 VD7~VD12 整流后返回给直流电路；同一桥臂的两个功率开关器件在不停地交替导通和截止的换相过程中，需要 VD7~



VD12 为电流提供通路。

3) 缓冲电路。功率开关器件在关断和导通的瞬间,其电压和电流的变化率是很大的,有可能使功率开关器件受到损害。因此,每个功率开关器件旁还应接入缓冲电路,以减缓电压和电流的变化率。缓冲电路的结构因功率开关器件的特性和容量等的不同而有较大差异,其比较典型的一种是由 $C_{01} \sim C_{06}$ 、 $R_{01} \sim R_{06}$ 、VD01~VD06 构成。

$C_{01} \sim C_{06}$ 的功能。功率开关器件 VT1~VT6 每次由导通状态切换到截止状态的关断瞬间,集电极(c极)和发射极(e极)间的电压将极为迅速地由近乎 0V 上升至直流电压值,这过高的电压增长率将导致功率开关器件的损坏。因此, $C_{01} \sim C_{06}$ 的功能是减小 VT1~VT6 在每次关断时的电压增长率。

$R_{01} \sim R_{06}$ 的功能。功率开关器件 VT1~VT6 每次由截止状态切换到导通状态的接通瞬间, $C_{01} \sim C_{06}$ 上所充的电压将向 VT1~VT6 放电。此放电电流的初始值将是很大的,并且将叠加到负载电流上,导致 VT1~VT6 的损坏。因此, $R_{01} \sim R_{06}$ 的功能是限制功率开关器件在接通瞬间 $C_{01} \sim C_{06}$ 的放电电流。

VD01~VD06 的功能。由于 $R_{01} \sim R_{06}$ 的接入,又会影响到 $C_{01} \sim C_{06}$ 在功率开关器件 VT1~VT6 关断时减小电压增长率的效果。因此,VD01~VD06 的功能是在 VT1~VT6 的关断过程中,使 $R_{01} \sim R_{06}$ 不起作用;而在 VT1~VT6 的接通过程中,又迫使 $C_{01} \sim C_{06}$ 的放电电流流经 $R_{01} \sim R_{06}$ 。

2. 控制电路

变频器的控制电路框图如图 1-4 所示。

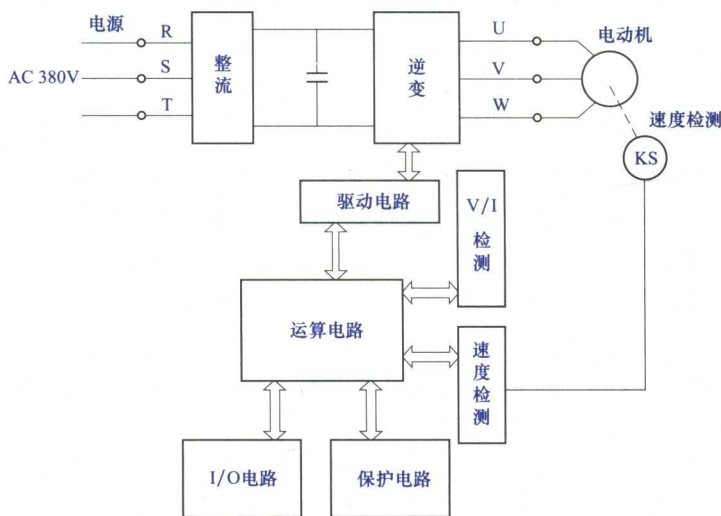


图 1-4 变频器的控制电路框图

各厂家的变频器主电路大同小异,而控制电路却多种多样。依据电动机的调速特性和运转特性,可对供电电压、电流、频率进行控制。变频器的控制电路目前都采用微机控制,与一般微机控制系统没有本质区别,是专用型的。

(1) 运算电路。其作用是将变频器外部负载的非电量信号(如压力、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,其差值作为驱动电路的输入信号,决定变频

器的输出频率和电压。

(2) 输出电压、电流检测电路。采用电隔离检测技术检测主回路的电压、电流并将变频器和电动机的工作状态反馈至运算电路,然后由运算电路按事先的算法进行处理后为各部分电路提供所需的控制信号或保护信号。

(3) 速度检测电路。以装在异步电动机轴上的速度检测器为核心,将检测到的电动机速度信号进行处理和转换并输入运算电路,变频调速系统可以根据信号处理电路设置的参数运行。

(4) 驱动电路。其作用是在控制电路的控制下,产生足够功率的驱动信号使逆变电路中的开关器件导通或关断。

(5) 保护电路。其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。当检测出现异常时,进行各种必要的处理,如变频器停止工作或抑制电流、电压值等。

(6) I/O 电路。I/O 电路的功能是为了使变频器更好地实现人机对话,变频器可对外界输出多种输入信号(如运行、多段速度运行等),还有各种内部参数的输出信号(如电流、频率、保护动作驱动等)及故障报警输出信号等。

第五节 变频器的核心元器件

1. 电力半导体开关器件

电力半导体开关器件本质上都是大容量的无触点电流开关,因它在电气传动中主要用于开关工作而得名,其基本性能要求是能耐大的工作电流、有高的阻断电压和开关频率。变频器主电路中的整流电路和逆变电路就是由电力半导体开关器件构成的。下面简单介绍几种常用的电力半导体开关器件,并对其性能及其应用进行简单的说明。

(1) 晶闸管(SCR)。晶闸管是一种不具有自身关断能力的半控型电力半导体开关器件,从外形上可分为平板型和螺栓型两种。应用于变频器时,由于需要强迫换流电路,使得控制电路复杂、庞大、工作频率低、效率低,并提高了变频器的成本。但是,由于从生产工艺和制造技术上来说,大容量、高电压、大电流的晶闸管器件更容易制造,而且和其他电力半导体开关器件相比,晶闸管具有更好的耐过电流特性,故它仍广泛应用于大容量交-交变频器中的可控整流电路和变流电路中。

(2) 门极可关断晶闸管(GTO)。门极可关断晶闸管,顾名思义是一种可以通过门极信号进行开通和关断的晶闸管,属于电流控制型元件,它的基本结构和普通晶闸管相同,只是采取了特殊的工艺,使得十几个甚至数百个共阳极的小 GTO 单元集成在一个芯片里,具有高阻断电压和低导通损失率的特性。应用于变频器时,其主电路组件少、结构简单、体积变小、成本低、不需要强迫换流装置、开关损耗少,由于是脉冲换流,所以其噪声小,容易实现 PWM 脉宽调制控制。在大功率、高电压变频调速领域应用范围广。

(3) 电力晶体管(GTR、BJT)。在电力电子器件中,常将大功率的开关器件和高击穿电压大容量的双极型晶体管称为电力晶体管,我国和日本常称之为 GTR,欧美国家常称之为 BJT。应用于变频器时,一般采用模块型电力晶体管,其内部结构既有单管型,也有达林顿复合型(将 2、4、6 只电力晶体管封装在一个管壳内),这样的结构是为了实现大电流、耐高压。电力晶体管具有开关速度快、饱和压降低、功耗小、安全工作区宽等特点,并具有



自关断能力（切断基极电流即可切断集电极电流的特性），但它的工作频率较低，一般为 5~10kHz，驱动功率大，驱动电路复杂，耐冲击能力差，易受二次击穿损坏。目前，电力晶体管的应用一般被绝缘栅双极晶体管（IGBT）所替代。

(4) 绝缘栅双极晶体管（IGBT）。绝缘栅双极晶体管是一种新型复合电力半导体开关器件，它集合了场效应晶体管和电力晶体管的优点，具有可靠性高、功率大、输入阻抗高、输出特性好、开关速度快、工作频率高（达 20kHz 以上）、通态电压低、耐压高、驱动电路简单、保护容易等特点。IGBT 产品也有多种形式，主要有模块型和芯片型，模块型结构有一单元（一个 IGBT 与一个续流二极管反向并联）、二单元、四单元、六单元及七单元等。目前，一单元的绝缘栅双极晶体管模块指标已达到最高电压 4000V、最高电流 1800A、关断时间已缩短到 40ns，工作频率可达 40kHz，在中小容量变频器电路中，绝缘栅双极晶体管的应用处于绝对的优势地位。

2. 智能功率模块（IPM）

智能功率模块是一种输出功率大于 1W 的混合集成电路，它由大功率开关器件（IGBT）、门极驱动电路、保护电路、检测电路等构成，不但具有一定功率输出的能力，而且还具有逻辑、控制、传感、检测、保护和自诊断等功能，从而将智能赋予功率器件，通过智能作用对功率器件状态进行监控。

智能功率模块从电流、电压、容量来划分可分为三种类型，即低压大电流、高压小电流和高压大电流。高压大电流智能功率模块主要用于电动机控制、家用电器等，其他的智能功率模块主要应用于电视机、音响等家用电器和计算机、复印机等办公设备及汽车、飞机等交通工具。变频器中常用的智能功率模块的工作电压已达到 1500V，工作电流达 700A，特别适用于逆变器高频化发展方向的需要，在中小容量变频器中广泛应用。

3. 脉宽调制（SPWM）波形处理芯片

(1) HEF4752 系列。HEF4752 输出的调制频率范围比较窄，为 1~200Hz，开关频率也较低，一般不超过 2kHz，两路六相 SPWM 波输出电路，既可用于强迫换流的三相晶闸管逆变器，也可用于由全控型开关器件构成的逆变器。对于后者，可以输出三相对称 SPWM 波控制信号，在实际应用中开关频率在 1kHz 以下，所以较适于 GTR 或 GTO 为开关器件的逆变器，在早期的通用变频器中应用较为广泛，目前已不适合采用 IGBT 逆变器的通用变频器。

(2) SLE4520 系列。SLE4520 是一种大规模全数字化 CMOS 集成电路，它产生波形的基本原理是利用同步脉冲触发 3 个可预置数的 8 位减法计数器，预置数对应脉冲宽度。理论上它的正弦波输出频率为 0~2.6kHz，开关频率可达 23.4kHz，与中央处理器及相应的软件配合后，就可以产生三相逆变器所需要的 6 路控制信号。

(3) MA818 系列。MA818（828/838）是一种新型的三相 PWM 专用集成芯片，其工作频率范围宽，三角波载波频率可选，最高可达 24kHz，输出调制频率最高可达 4kHz。该芯片与 SLE4520 相似，但功能比 SLE4520 要强大得多，特别适用于控制 IGBT 为开关器件的逆变器，其输出波形为纯正弦波。

(4) 8XC196Mx 系列。8XC196Mx 系列微处理器芯片是新型通用变频器中广泛应用的芯片，该系列包括 8XC196MC/8XC196MD/8XC196MH 等，是三相电动机变频调速控制专用高性能 16 位微处理器。8XC196Mx 载波调制频率由输入到重装寄存器 RELOAD 中的数值决定，三相脉宽调制由软件编程计算，并分别送到其内部的三相 SPWM 发生器的比较输出寄

存器进行控制。因为 8XC196Mx 是把 CPU 与 PWM 波发生器等功能集成在一起，硬件电路大大简化，所以进一步提高了系统的抗干扰能力和可靠性。

(5) TMS320 DSP 系列。TMS320 DSP 芯片是专为实时数字信号处理而设计的，芯片包含定点运算 DSP、浮点运算 DSP、多处理器 DSP 和定点 DSP 控制器等，在变频器中应用较多的是 TMS320C24x、TMS320C28x 系列定点 DSP 或 DSP 控制器。

4. 电动机控制芯片 8XC196Mx

8XC196Mx 系列有三种型号，即 80C196MC、80C196MD、80C196MH，该系列芯片内部除了具有一般 16 位微处理器的功能外，还集成了专用于电动机控制的外围部件，如三相互补 SPWM 波形发生器 WG、PWM 调制器、事件管理器 EPA、频率发生器 FG、串行 SIO、I/O 口、A/D 转换通道及监视定时器（看门狗时钟）WDT 等。波形发生器 WG、PWM 调制器可以编程产生中心对称的三相 SPWM 波形和脉宽调制 PWM 波形，通过 P6 口可以直接输出 6 路 SPWM 信号，在用于逆变器的驱动时，每个引脚的驱动电流可达 20mA。

5. 数字信号处理器芯片 DSP

DSP 芯片按执行速度可分为低速产品、中速产品、高速产品。低速产品一般为 20~50MIPS（每百万条指令每秒），能维持适量存储和功耗，提供了较好的性能价格比，适用于仪器仪表和精密控制等，在变频器中应用的 TMS320C24x、TMS320C28x、ADMCx 等系列定点 DSP 芯片就属于这一类。DSP 芯片具有实时算术运算能力，减少了查表的数量，节省了内存空间、并集成了电动机控制外围部件，减少了系统中传感器的数量，依据控制算法控制电源的开关频率，从而产生 SPWM 波形控制信号，在电动机控制方面，具有其他控制器无法比拟的优越性以 TMS320C24x 芯片为例，它采用高性能静态 CMOS 技术，塑壳扁平封装，其特征是将高性能的 DSP 内核和丰富的微处理器外设功能集成在一体。

6. 矢量控制处理器芯片 AD2S100

AD2S100 是矢量控制专用处理器，它是根据 Park 变换原理构成的矢量变换控制器，可以实现正交矢量旋转变换，从而应用于异步电动机和永磁无刷电动机的矢量控制。目前，大多数变频器都采用微处理器或数字信号处理器，以软件来实现，而采用 AD2S100 硬件来代替软件处理中的 Park 变换算法，处理时间可由典型的微处理器的 100 μ s 或数字信号处理器的 40 μ s 降低到 2 μ s，它不但使系统带宽增加，而且可以使中央处理器 CPU 附加更多性能。因此，在一些高动态性能的变频器中得到应用。

三菱FR-A740变频器

第一节 三菱变频器产品简介

三菱变频器产品目前在市场上用量最多的是 FR-(A、E、S、F) 700 系列，它完全取代了早期的 FR-(A、E、S、F) 500 系列，FR-700 系列共同的特点如下。

- (1) 采用三菱最新的柔性 PWM 控制技术，使噪声减小，加强了抑制射频干扰能力。
- (2) 采用直接监视并控制主回路的智能驱动回路，使低速性能提高。
- (3) 具有可拆卸型冷却风扇、控制端子和漏、源型逻辑转换端子，输入输出端子可在漏、源型逻辑之间转换。
- (4) 输入输出信号类型包括模拟信号、数字信号、脉冲串和网络连接。
- (5) 输入电压范围宽，三相输入电压范围为 323~528V，单相输入电压为 170~264V。
- (6) 过载能力为 150% (60s)、200% (0.5s)，具有反时限特性。
- (7) 所有的产品均内置 PID 控制器和 RS-485 通信接口，也可以通过可选件实现与现场总线通信。
- (8) 将操作面板拆下后即可与计算机连接，通过计算机可以设置参数和监控运行。

1. 三菱 FR-A700 系列变频器

三菱 FR-A700 系列变频器是多功能通用型，适用于高启动转矩和高动态响应及需要精确的闭环控制（如速度反馈控制、位置反馈控制）等场合。该系列功率范围 0.4~500kW，采用磁通矢量控制方式，调速比 1:120 (0.5~60Hz)，具有在线自动调整功能，从而可以在无速度传感器低速运行状态下，实现高精度运行和高转矩输出，具有参数复制功能、参数组自选功能、PID 控制等多种控制功能，用户可以根据需要自己选择读写的参数组，并保存在参数单元中，随机附带一个具有 LED 显示的简易操作面板 FR-DU07（具有旋转式数字转盘 M），也可以选用具有 LCD 显示带菜单功能的参数单元 FR-PU04（具有数字式按键），内置 PLC 功能（特殊型号）。

2. 三菱 FR-E700 系列变频器

三菱 FR-E700 系列变频器是小型高性能型，适用于功能要求简单、对动态性能要求不高的场合。该系列功率为 0.1~15kW，采用先进磁通矢量控制方式，将滑差补偿结合到通用磁通矢量控制中，1Hz 时能以 150% 转矩输出，3Hz 时能以 200% 转矩输出，具有 PID 控制、第二功能选择和 15 段速度等多功能选择，停止精度高，可以选择具有 LED 显示的 FR-PA02-02 简易型面板或具有 LCD 显示带菜单功能的参数单元 FR-PU04。