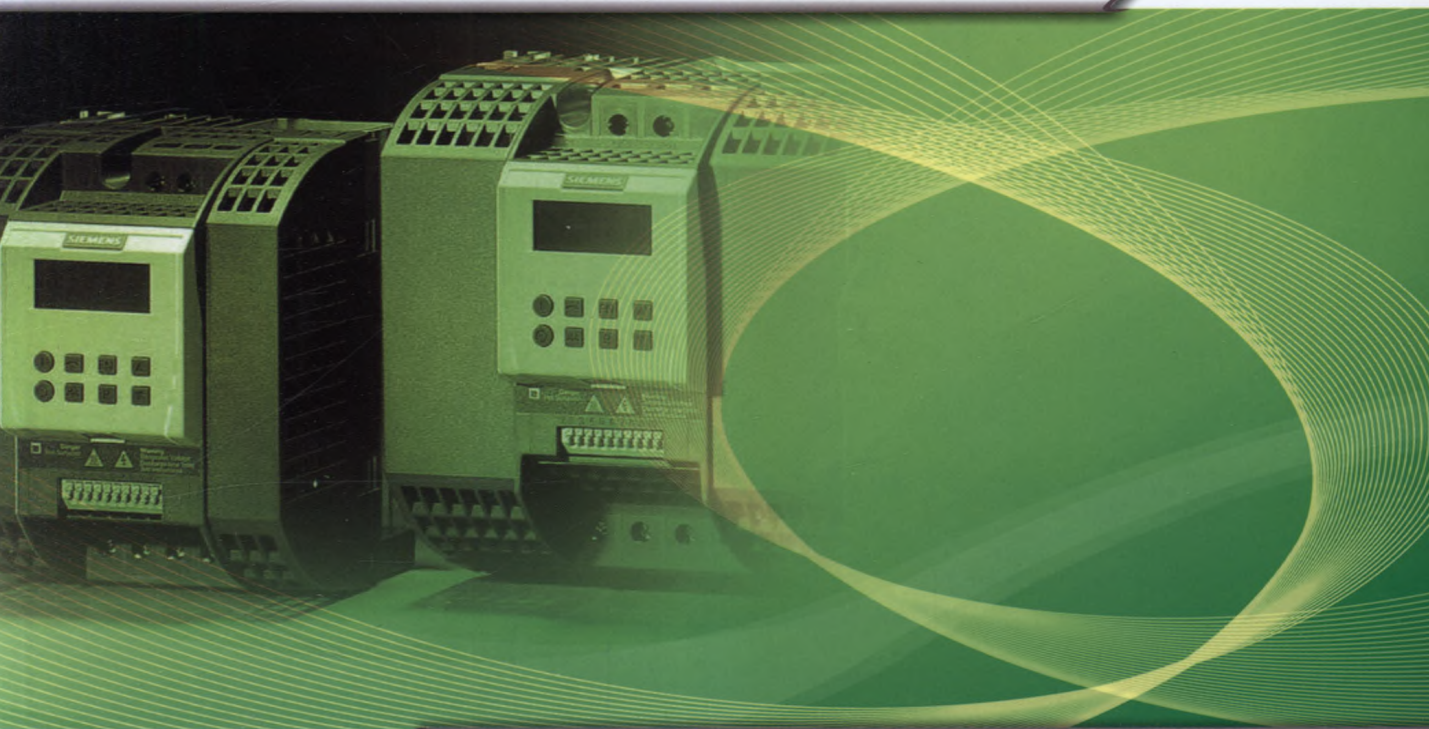


西门子变频器 工程应用与 故障处理实例

周志敏 纪爱华 等编著



西门子变频器工程应用与 故障处理实例

周志敏 纪爱华 等编著



机械工业出版社

本书结合西门子变频器在我国的应用现状,在简要介绍了变频器基础知识及西门子变频器应用知识的基础上,系统地讲述了西门子变频调速系统工程设计、变频调速系统电磁兼容性工程设计、变频调速系统参数设置与调试、西门子变频调速系统工程应用实例、西门子变频器故障信息及故障处理实例等内容。本书题材新颖实用,内容丰富,深入浅出,文字通俗,具有很高的实用价值。

本书可供电气传动、自动控制、电气自动化及家电等领域从事变频调速技术研究开发、设计、应用和维修的工程技术人员,高等院校、职业技术学院的电气传动、工业自动化等专业的师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

西门子变频器工程应用与故障处理实例/周志敏,纪爱华等编著. —北京:机械工业出版社,2013.5

ISBN 978-7-111-42282-2

I. ①西… II. ①周…②纪… III. ①变频器 - 基本知识 IV. ①TM773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 083960 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:林春泉 责任编辑:赵 任

版式设计:潘 蕊 责任校对:肖 琳

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 12.5 印张 · 307 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-42282-2

定价:33.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

西门子公司采用高性能的矢量控制技术，结合诸多先进的生产工艺推出的高性能变频器，具有全新一代模块化设计、强大的通信能力、精确的控制性能和高可靠性、宽的功率范围，提供低速高转矩输出和良好的动态特性，同时具备超强的过载能力，友好的用户界面，使安装、操作和控制灵活方便，其产品应用领域广泛，能够满足绝大多数的工业领域各种应用对交流调速的不同要求。

西门子变频器可以很好地与工艺流程控制系统结合，达到最优的速度控制并保持高精度，在保证生产线最终产品的稳定品质的同时，降低了对电动机和驱动机械设备的磨损，因而降低了维护的成本。

西门子变频器在结构和性能上的不断创新，使由其构成的交流变频调速系统在性能上不断地完善，因此我国的工业电气传动领域得以广泛应用。为此，本书根据国内从事西门子变频器工程应用的一线工程技术人员的实际需求，系统地介绍了西门子变频器工程应用设计、参数设置、系统调试、工程应用实例、故障代码及故障处理实例。本书在写作上力求做到通俗易懂和结合实际，以使从事西门子变频器工程应用和维修的工程技术人员从中获益，本书是从事西门子变频器工程应用和维修的工程技术人员必备的参考工具书。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪和平、纪达安等。本书在写作过程中无论从资料的收集还是技术信息交流上都得到了国内专业学者和同行以及西门子变频器制造商的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间短，水平有限，难免有错误之处，敬请读者批评指正。

作 者
2013 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 变频器的基础知识	1
1.1.1 变频器的基本原理与一般分类	1
1.1.2 变频器的结构	4
1.1.3 变频器的控制方式及分类	9
1.1.4 PWM 方式	12
1.2 西门子变频器简介	14
1.2.1 西门子变频器的分类	14
1.2.2 西门子变频器的特性	15
1.2.3 西门子变频器的特点及应用领域	18
第 2 章 变频调速系统工程设计	21
2.1 变频器的选择	21
2.1.1 变频器的选型	21
2.1.2 变频器功率的选取	29
2.2 变频器选用件的特点和应用	35
2.2.1 变频调速系统的制动选件	35
2.2.2 电抗器和滤波器选件	41
第 3 章 变频调速系统电磁兼容性工程设计	49
3.1 变频器的电磁兼容性	49
3.1.1 变频器电磁兼容性的分析	49
3.1.2 变频调速系统电磁兼容性设计规则	54
3.2 变频器谐波的产生及抑制对策	55
3.2.1 变频器谐波的产生和危害	55
3.2.2 谐波干扰的抑制对策	59
3.3 变频系统的电磁干扰及抑制措施	64
3.3.1 变频系统的电磁干扰源及传播途径	64
3.3.2 变频调速系统中的抗电磁干扰措施	65
3.3.3 变频调速系统中的共模噪声及抑制	71
3.3.4 变频器周边控制回路的抗干扰措施	75
3.3.5 变频器软件抗干扰	79
第 4 章 变频调速系统的参数设置与调试	82
4.1 变频器的参数设置	82
4.1.1 变频器的参数	82
4.1.2 变频器的频率给定	87
4.1.3 变频器压频比的正确设置	90
4.1.4 变频器起停与加减速过程	92

4.1.5 变频器多功能端子的应用	101
4.1.6 变频器转矩的提升功能	102
4.1.7 变频器的直流制动功能	104
4.1.8 西门子变频器的参数设置实例	105
4.2 变频调速系统的调试	107
4.2.1 变频调速系统的调试条件	107
4.2.2 变频器的操作	109
4.2.3 变频器的调试	123
第5章 西门子变频调速系统工程的应用实例	127
实例1. SIMOVERTMV 中压变频器在鼓风机上的应用	127
实例2. ECO 变频器在疏水泵上的应用	130
实例3. MM440 变频器在给水泵上的应用	133
实例4. MASTERDRIVE6SE 变频器在起重机上的应用	137
实例5. ER440 变频器在联动生产线上的应用	143
实例6. S7-PLC 基于 PROFIBUS-DP 与 Master 系列变频器通信	147
实例7. S7-300/400 基于 PROFIBUS-DP 与 6SE70 系列变频器通信	149
实例8. MMV 系列变频器的远程控制及数据通信	153
实例9. ECO 系列变频器的远程监控机数据通信	156
第6章 西门子变频器故障信息及故障处理实例	160
6.1 西门子变频器的故障信息	160
6.2 西门子变频器的故障检修实例	174
参考文献	193

第1章 概述

1.1 变频器的基础知识

1.1.1 变频器的基本原理与一般分类

1. 变频器的基本原理

异步电动机调速的基本原理基于以下公式

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (1-1)$$

式中, n_1 为同步转速 (r/min); f_1 为定子供电电源频率 (Hz); p 为磁极对数。

一般异步电动机转速 n 与同步转速 n_1 存在一个滑差关系

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \quad (1-2)$$

式中, n 为异步电动机转速 (r/min); s 为异步电动机转差率。

由式 (1-2) 可知, 调速的方法可通过改变 f_1 、 p 、 s 参数中任意一个达到, 对异步电动机最好的方法是改变频率 f_1 。基于电动机理论, 三相异步电动机每相电动势的有效值与下式有关

$$E_1 = 4.44f_1 N_1 \phi_m \quad (1-3)$$

式中, E_1 为定子每相电动势有效值 (V); f_1 为定子供电电源频率 (Hz); N_1 为定子绕组有效匝数; ϕ_m 为定子磁通 (Wb)。

针对式 (1-3) 可分成两种情况分析:

(1) 在频率低于供电的额定电源频率时属于恒转矩调速

变频器设计时为维持电动机输出转矩不变, 必须维持每极气隙磁通 ϕ_m 不变, 从式 (1-3) 可知, 也就是要使 $E_1/f_1 = \text{常数}$ 。如忽略定子漏阻抗压降, 可以认为供给电动机的电压 U_1 与频率 f_1 按相同比例变化, 即 $U_1/f_1 = \text{常数}$ 。

但是在频率较低时, 定子漏阻抗压降已不能忽略, 因此要人为地提高定子电压, 以作漏抗压降的补偿, 维持 $E_1/f_1 \approx \text{常数}$, 此时变频器输出 U_1/f_1 关系如图 1-1 中的曲线 2, 而不再是曲线 1。

多数变频器在频率低于电动机额定频率时, 输出的电压 U_1 和频率 f_1 类似图 1-1 中的曲线 2, 并且随着设置的不同, 可改变补偿曲线的形状, 应用时要根据实际电动机的运行情况调整。

(2) 在频率高于定子供电的额定电源频率时属于恒功率调速

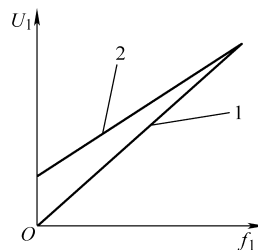


图 1-1 U/f 关系

1— $U_1/f_1 = \text{常数}$ 2— $E_1/f_1 = \text{常数}$

此时变频器的输出频率 f_1 提高,但变频器的电源电压由电网电压决定,不能继续提高。根据式(1-3), E_1 不能变, f_1 提高必然使 ϕ_m 下降,由于 ϕ_m 与电流或转矩成正比,因此也就使转矩下降,转矩虽然下降了,但因转速升高了,所以它们俩的乘积并未变,转矩与转速的乘积表征着功率。因此这时候电动机处在恒功率输出的状态下运行。异步电动机变频调速时的输出特性如图1-2所示。 ϕ_m 的大小表征电动机转矩的大小,因此 ϕ_m 曲线可以看作转矩曲线。

由以上分析可知,采用通用变频器对异步电动机调速时,输出频率和电压是按一定规律改变的,在额定频率以下,变频器的输出电压随输出频率升高而升高,即所谓的变压变频调速(VVVF)。而在额定频率以上,电压并不变,只改变频率。

实际上多数变频调速系统是运行在额定频率以下,低频时采用的补偿是为了解决低频转矩的下降,其采用的方式多种多样,有矢量控制技术、直接转矩控制技术以及拟超导技术等。其作用不外乎动态地改变低频时变频器的输出电压、输出相位或输出频率,也就是利用计算机技术,实时地而不是固定地改变图1-1中曲线1的形状达到低速时力矩提升,并且稳定运行,又不至于电流太大而造成故障。

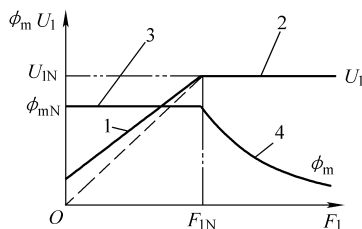


图1-2 异步电动机变频调速时的输出特性

1—恒转矩时的电压曲线 2—恒功率时的电压曲线
3—恒转矩时的转矩曲线 4—恒功率时的转矩曲线

2. 变频器的分类

(1) 按变换的环节分类

1) 交-交变频器。交-交变频器是将工频交流电直接变换成频率电压可调的交流电(转换前后的相数相同),又称直接式变频器。对于大容量、低转速的交流调速系统,常采用晶闸管交-交直接变频器直接驱动低速电动机,可以省去庞大的齿轮减速箱。其缺点是:最高输出频率不超过电网频率的 $1/3 \sim 1/2$,且输入功率因数较低,谐波电流含量大,谐波频谱复杂,因此必须配置大容量的滤波和无功补偿设备。

近年来,又出现了一种应用全控型开关器件的矩阵式交-交变压变频器,在三相输入与三相输出之间用9组双向开关组成矩阵阵列,采用PWM控制方式,可直接输出变频电压。这种调速方法的主要优点是:

- ① 输出电压和输入电流的低次谐波含量都较小。
- ② 输入功率因数可调。
- ③ 输出频率不受限制。
- ④ 能量可双向流动,可获得四象限运行。
- ⑤ 可省去中间直流环节的电容元件。

交-交变频自从20世纪70年代末提出以来,一直受到电力电子学科工作者的高度重视。

2) 交-直-交变频器。交-直-交变频器是先把工频交流电通过整流器变成直流电,然后再把直流电变换成频率电压可调的交流电,又称间接式变频器。交-直-交变频器是目前广泛应用的通用型变频器。

(2) 按直流电源性质分类

1) 电流型变频器。电流型变频器的特点是中间直流环节采用大电感器作为储能环节来缓冲无功功率,即扼制电流的变化,使电压波形接近正弦波,由于该直流环节内阻较大,故称电流型变频器。电流型变频器的特点是能扼制负载电流的频繁而急剧的变化,常应用于负载电流变化较大的场合。

2) 电压型变频器。电压型变频器的特点是中间直流环节的储能元件采用大电容器作为储能环节来缓冲无功功率,直流环节电压比较平稳,直流环节内阻较小,相当于电压源,故称电压型变频器,常应用于负载电压变化较大的场合。

(3) 根据电压的调制方式分类

1) 脉宽调制 (SPWM) 变频器。脉宽调制变频器输出电压的大小是通过调节脉冲占空比来实现的,中、小容量的通用变频器几乎全都采用脉宽调制方式。

2) 脉幅调制 (PAM) 变频器。脉幅调制变频器输出电压的大小是通过调节直流电压幅值来实现的。

(4) 根据输入电源的相数分类

1) 三进三出变频器。三进三出变频器的输入侧和输出侧都是三相交流电,绝大多数变频器都属此类。

2) 单进三出变频器。单进三出变频器的输入侧为单相交流电,输出侧是三相交流电。家用电器里的变频器均属此类,通常容量较小。

此外,变频器还可以按输出电压调节方式分类,按主开关元器件分类,按输入电压高低分类。

3. 变频器的额定数据

(1) 输入侧的额定数据

1) 输入电压 U_{1N} 即电源侧的电压。在我国,低压变频器的输入电压通常为 380V (三相) 和 220V (单相),中、高压变频器的输入电压通常为 0.66kV、3kV、6kV (三相)。此外,变频器还对输入电压的允许波动范围作出规定,如 $\pm 10\%$ 、 $-15\% \sim +10\%$ 等。

2) 相数如单相、三相。

3) 频率 f_{1N} 即电源频率 (常称工频),我国为 50Hz,频率的允许波动范围通常规定为 $\pm 5\%$ 。

(2) 输出侧的额定数据

1) 额定电压 U_N 。因为变频器的输出电压要随频率而变,所以 U_N 定义为输出的最大电压。通常,它总是和输入电压 U_{1N} 相等。

2) 额定电流 I_N 。变频器允许长时间输出的最大电流。

3) 额定容量 S_N 。由额定线电压 U_N 和额定线电流 I_N 的乘积决定:

$$S_N = U_N I_N \quad (1-4)$$

容量为在连续不变的负载中,允许配用的最大负载容量。在生产机械中,负载的容量主要是根据发热状况来定的。在变动负载、断续负载及短时负载中,只要温升不超过允许值,在由变频器构成的调速系统中,因电动机是允许短时间 (几分钟或几十分钟) 过载的,而变频器则允许 150% 负载过载 1min。所以,在选用变频器时,应充分考虑负载的工况。

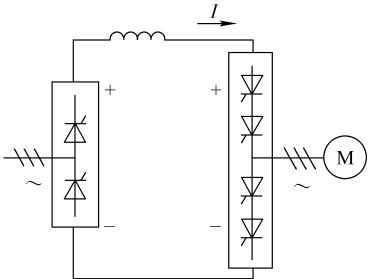
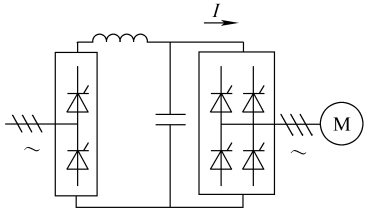
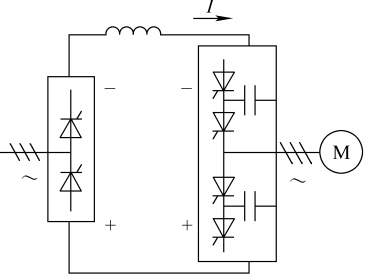
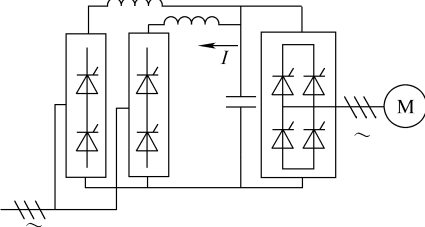
4) 过载能力是指变频器的输出电流允许超过额定值的倍数和时间。大多数变频器的过载能力规定为: 150% / 1min。可见,变频器的允许过载时间与电动机的允许过载时间相比,

变频器的过载能力是很低的。

4. 电压型变频器和电流型变频器的特点

电压型和电流型变频器都属于交-直-交变频器，其主电路由整流器、平波电路和逆变器三部分组成。由于负载一般都是感性的，它和电源之间必有无功功率传送，因此在中间的直流环节中，需要有缓冲无功功率的元件。如果采用大电容器来缓冲无功功率，则构成电压型变频器；如采用大电抗器来缓冲无功功率，则构成电流型变频器。电压型变频器和电流型变频器的特点见表 1-1。

表 1-1 电压型变频器和电流型变频器的特点

项 目	电流型变频器	电压型变频器
电流滤波方式	电感滤波	电容滤波
电压波形	近似正弦波（电动机负载）	矩形波（或阶梯形波）
电流波形	矩形波	近似正弦波
电动运行		
再生发电运行		
电源阻抗	大	小
适用范围	适用于单机拖动，频繁加、减速情况下运行，并需经常反向的场合	适用于向多台电动机供电，不可逆拖动，稳速工作，快速性要求不高的场合
其他	1) 对于电流源型变频器不需要换流电感器 2) 可使用关断时间较长的普通晶闸管 3) 过电流保护容易 4) 不需要滤波电容	1) 对于电压源型变频器需要换流电感器 2) 晶闸管承受电压低，要求晶闸管关断时间短 3) 过电流保护困难 4) 需要滤波电容

1.1.2 变频器的结构

1. 主电路

变频器给负载提供调压调频电源的功率变换部分称为变频器的主电路，图 1-3 示出了典

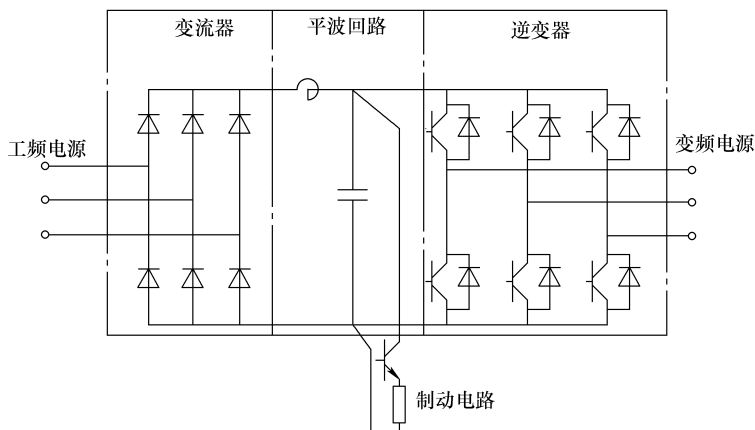


图 1-3 典型电压型变频器的主电路

型电压型变频器的主电路。其主电路由三部分构成，将工频电源变换为直流的整流器，吸收整流器、逆变器产生的电压脉动的平波回路，以及将直流变换为交流的逆变器。另外，若负载为异步电动机，在变频调速系统需要制动时，还需要附加制动回路。

(1) 整流器

变频器一般使用的是二极管整流器，如图 1-3 所示，也可用两组晶体管整流器构成可逆变整流器，由于可逆变整流器功率方向可逆，可以进行再生运行。它与单相或三相交流电源相连接，产生脉动的直流电压，经中间直流环节平波后为逆变电路和控制电路提供所需的直流电源。三相交流电源一般需经过吸收电容和压敏电阻网络引入整流桥的输入端。阻容吸收网络的作用是吸收交流电网的高频谐波信号和浪涌过电压，从而避免由此而损坏变频器。当电源电压为三相 380V 时，整流器件的最大反向电压一般为 1200 ~ 1600V，最大整流电流为变频器额定电流的两倍。

(2) 平波回路

在整流器整流后的直流电压中含有电源 6 倍频的脉动电压，此外逆变器产生的脉动电流也使直流电压变动。为了抑制电压波动，采用电感和电容吸收脉动电压（电流）。对于容量较小的变频器，如果电源和主电路构成器件有余量，可以省去电感而采用简单的平波回路。平波回路有以下三种作用：

- 1) 使脉动的直流电压变得稳定或平滑，供逆变器使用。
- 2) 通过开关电源为各个控制电路供电。
- 3) 可以配置滤波或制动装置以提高变频器的性能。

逆变器的负载是感性负载的异步电动机，无论异步电动机处于电动或发电状态，在直流滤波电路和异步电动机之间，总会有无功功率的交换，这种无功能量要靠直流中间电路的储能元件来缓冲。同时，三相整流桥输出的电压和电流属直流脉冲电压和电流。为了减小直流电压和电流的波动，直流滤波电路起到对整流电路的输出进行滤波的作用。通用电压型变频器直流滤波电路的大容量铝电解电容，是由若干个电容器串联和并联构成的电容器组，以得到所需的耐压值和容量。另外，因为电解电容器容量有较大的离散性，这将使它们的电压不相等。因此，电容器要各并联一个匀压电阻，消除离散性的影响，但电容器的寿命则会严

重制约变频器的寿命。

(3) 逆变器

利用晶闸管装置将直流电转变为交流电，这一功能就叫逆变。整流和逆变关系密切，若同一套晶闸管装置，可以工作在整流状态，而在一定条件下，又可以工作在逆变状态，常称这一装置为变流器。逆变分为有源逆变和无源逆变（变频），变流器工作在逆变状态时，若把直流电转变为 50Hz 的交流电送到电网，称之为有源逆变；若把直流电转变为某一频率或频率可调的交流电供给负载使用，则称之为无源逆变或变频。

逆变电路的作用是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。逆变电路的输出就是变频器的输出，所以逆变电路是变频器的核心电路之一，起着非常重要的作用。最常见的逆变电路的结构形式是利用 6 个功率开关器件（GTR、IGBT、GTO 等）组成的三相桥式逆变电路，有规律地控制逆变器中功率开关器件的导通与关断，可以得到任意频率的三相交流输出。

中小容量变频器的主回路器件一般采用集成模块或智能模块。智能模块的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。如西门子公司生产的 BSM50GD120 等，模块的典型开关频率为 20kHz，保护功能有欠电压、过电压和过热保护及过电流保护。

在逆变电路中都设置有续流电路，续流电路的功能是当频率下降时，异步电动机的同步转速也随之下降，其为异步电动机的再生电能反馈至直流电路提供通道。在逆变过程中，为寄生电感释放能量提供通道。另外，当位于同一桥臂上的两个开关，同时处于导通状态时将会出现短路现象，并损坏换流器件。所以在实际的通用变频器中还设有缓冲电路等各种相应的辅助电路，以保证电路的正常工作和在发生意外情况时，对换流器件进行保护。

(4) 制动回路

异步电动机负载运行于再生制动区域时（转差率为负），再生能量储存于平波回路电容器中，使直流环节电压升高。一般说来，由机械系统（含电动机）惯量积累的能量比电容器能储存的能量大，为抑制直流电路电压上升，需采用制动回路消耗直流电路中的再生能量，制动回路也可采用可逆整流器把再生能量向工频电网反馈。

2. 变频器控制电路的构成

变频器的控制电路是给变频器主电路提供控制信号的回路，变频器控制电路如图 1-4 所示，它将信号传送给整流器、中间电路和逆变器，同时它也接收来自这些部分的信号。其主要组成部分是：输出驱动电路、操作控制电路等。其主要功能是：

- 1) 利用信号来开关逆变器的半导体器件。
- 2) 提供操作变频器的各种控制信号。
- 3) 监视变频器的工作状态，并提供各种保护驱动信号。

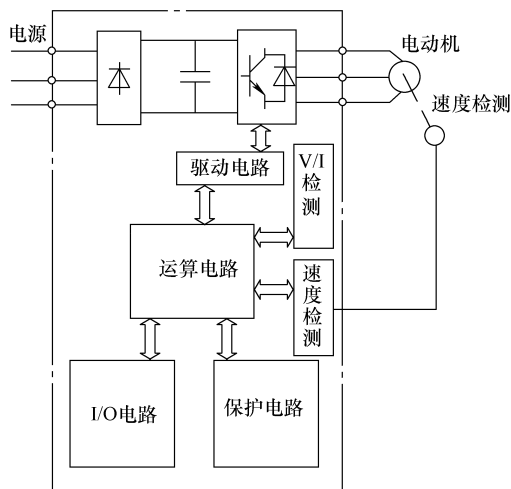


图 1-4 变频器控制电路

(1) 控制电路

控制电路包括频率、电压的运算电路、主电路的电压/电流检测电路、电动机的速度检测电路、将运算电路的控制信号进行放大的驱动电路以及逆变器和负载的保护电路。

1) 运算电路。运算电路的功能是将变频器的电压、电流检测电路的信号及变频器外部负载的非电量（速度、转矩等经检测电路转换为电信号）信号与给定的电流、电压信号进行比较运算，决定逆变器的输出电压、频率。

2) 电压、电流检测电路。变频器的电压、电流检测电路是采用电隔离检测技术来检测主回路的电压、电流，检测电路对检测到的电压、电流信号进行处理和转换，以满足变频器控制电路的需要。

3) 驱动电路。驱动电路由隔离放大电路、驱动放大电路和驱动电路电源组成，3个上桥臂驱动电路采用3个独立驱动电源电路，3个下桥臂驱动电路采用一个公共的驱动电源电路。驱动电路是将主控电路中CPU产生的6个PWM信号，经光电隔离和放大后，为逆变电路的换流器件（逆变模块）提供驱动信号。对驱动电路的各种要求，因换流器件的不同而异。同时，一些开发商开发了许多适合各种换流器件的专用驱动模块。有些型号的变频器直接采用专用驱动模块。变频器驱动电路的功能是在控制电路的控制下，产生足够功率的驱动信号使主电路开关器件导通或关断，控制电路是采用电隔离技术实现对驱动电路的控制。

4) I/O（输入/输出）电路。变频器的I/O（输入/输出）电路的功能是为了使变频器更好地实现人机交互。变频器具有多种输入信号（如运行、多段速度运行等），还有各种内部参数的输出（如电流、频率、保护动作驱动等）信号。

5) 速度检测电路。速度检测电路以装在异步电动机轴上的速度检测器（TG、PLG等）为核心，将检测到的电动机速度信号进行处理和转换，送入运算回路，可使电动机按指令给定的速度运转。

6) 主控板上的通信电路。当变频器由可编程序控制器或上位计算机、人机界面等进行控制时，必须通过通信接口相互传递信号。变频器通信时，通常采用两线制的RS-485接口。两线分别用于传递和接收信号，变频器在接收到信号后或传递信号之前，这两种信号都经过缓冲器A1701、75176B等集成电路，以保证良好的通信效果。所以，变频器主控板上的通信电路主要是指这部分电路，还有信号的抗干扰电路。

7) 外部控制电路。变频器外部控制电路主要是指频率设定电压输入，频率设定电流输入、正转、反转、点动及停止运行控制、多档转速控制。频率设定电压（电流）输入信号通过变频器内的A-D转换电路输入至CPU。其他一些控制通过变频器内输入电路的光耦隔离输入至CPU。

(2) 开关电源电路

开关电源电路向操作面板、主控板、驱动电路及风机等提供低压电源，直流高压P端加到高频脉冲变压器一次侧，开关调整管串接脉冲变压器另一个一次侧后，再接到直流高压N端。开关管周期性地导通、截止，使一次侧直流电压变换为矩形波，由脉冲变压器耦合到二次侧，再经整流滤波后，获得相应的直流输出电压。它又对输出电压取样比较，去控制脉冲调宽电路，以改变脉冲宽度的方式，使输出电压稳定。

(3) 保护电路

当变频器出现异常时，为了使变频器因异常而造成的损失减少到最小，甚至减少到零，

为此变频器都设有保护功能。较典型的是过电流检测保护电路，由电流取样、信号隔离放大和信号放大输出三部分组成。变频器的保护电路是通过检测主电路的电压、电流等参数来判断变频器的运行状况，当发生过载或过电压等异常时，为了防止变频器的逆变电路的功率器件和负载损坏，使变频器中的逆变电路停止工作或抑制输出电压、电流值。变频器中的保护电路，可分为变频器保护和负载（异步电动机）保护两种，保护功能见表 1-2。

表 1-2 保 护 功 能

保 护 对 象	保 护 功 能	保 护 对 象	保 护 功 能
变频器保护	瞬时过电流保护 过载保护 再生过电压保护 瞬时停电保护 接地过电流保护 冷却风机保护	异步电动机保护	过载保护 超频（超速）保护
		其他保护	防止失速过电流 防止失速再生过电压

变频器的保护功能有：

1) 瞬时过电流保护。在变频器的逆变器负载侧发生短路时，流过逆变器开关器件的电流达到异常值（超过容许值）时，瞬时过电流保护动作停止逆变器运行。当整流器的输出电流达到异常值，也同样停止逆变器运行。

2) 过载保护。在变频器的逆变器输出电流超过额定值，且电流持续时间达到设定值以上时，为了防止逆变器的开关器件损坏，过载保护动作停止逆变器运行。过载保护需要反时限特性，通常采用热继电器或者电子热保护（由电子电路构成）。

3) 再生过电压保护。变频调速系统在电动机快速减速时，由于再生功率使变频器的直流电路电压升高，有时会超过容许值。对此可采取停止逆变器运行或停止快速减速的方法，防止变频器过电压。

4) 瞬时停电保护。对于数毫秒以内的瞬时停电，变频器控制电路是可以正常工作的。但瞬时停电时间在 10ms 以上时，通常不仅控制电路误动作，主电路也不能供电，所以变频器应设置瞬时停电保护，在发生瞬时停电后使变频器的逆变器停止运行。

5) 接地过电流保护。变频器的负载接地时，为了保护逆变器需要设置接地过电流保护功能。但为了确保人身安全，还需要装设漏电断路器。

6) 冷却风机异常。有冷却风机的变频器，当风机异常时变频器内温度将上升，因此采用风机热继电器或功率器件散热片温度传感器，检出异常后停止变频器逆变器运行。

7) 防止失速过电流。变频调速系统在急加速时，如果异步电动机跟踪迟缓，则过电流保护电路动作，运转就不能继续进行（失速）。所以，在负载电流减小之前要进行控制，抑制频率上升或使频率下降。对于恒速运转中的过电流，有时也用同样的方法控制。

8) 防止失速再生过电压。变频调速系统在减速时产生的再生能量使主电路直流电压上升，为了防止再生过电压电路保护动作，在直流电压上升之前要进行控制，抑制频率下降，防止调速系统失速。

负载保护的功能有：

1) 过载保护。负载过载检出单元与变频器的逆变器过载保护共用，但考虑变频调速系统电动机在低速运转时过热，在异步电动机定子内埋入温度传感器，或者利用装在逆变器内

的电子热保护来检出电动机的过热。当电动机过载保护动作频繁时,可以考虑减轻电动机负载、增加电动机及变频器容量等。

2) 超额(超速)保护。变频器的输出频率或者变频调速系统电动机的速度超过规定值时,超额(超速)保护动作,停止变频器运行。

1.1.3 变频器的控制方式及分类

1. 变频器的控制方式

在变频器中使用的非智能控制方式有 U/f 协调控制、转差频率控制、矢量控制、直接转矩控制等。低压通用变频器的输出电压为 380 ~ 650V, 输出功率为 0.75 ~ 400kW, 工作频率为 0 ~ 400Hz, 它的主电路都采用交-直-交电路。其控制方式有:

(1) 以 $U/f=C$ 的正弦脉宽调制 (SPWM) 控制方式

U/f 控制是为了得到理想的转矩-速度特性, 基于在改变电源频率进行调速的同时, 又要保证电动机的磁通不变的思想而提出的, 通用型变频器基本上都采用这种控制方式。 U/f 控制变频器结构非常简单, 但是这种变频器采用开环控制方式, 不能达到较高的控制性能, 而且在低频时必须进行转矩补偿, 以改变低频转矩特性。

$U/f=C$ 的正弦脉宽调制 (SPWM) 控制方式的特点是: 控制电路结构简单、成本较低, 机械特性硬度也较好, 能够满足一般传动系统的平滑调速要求。这种控制方式在低频时, 由于输出电压较低, 受定子电阻压降的影响比较明显, 故造成输出最大转矩减小。另外, 其机械特性没有直流电动机硬, 动态转矩性能和静态调速性能都不理想, 以 $U/f=C$ 控制的系统性能不高、控制曲线会随负载的变化而变化, 转矩响应慢、电动机转矩利用率不高, 低速时因定子电阻和逆变器死区效应的存在而性能下降, 使系统的稳定性变差。

(2) 矢量控制 (磁场定向法)

20 世纪 70 年代西门子公司工程师 F. Blaschke 首先提出用异步电动机矢量控制理论来解决交流电动机的转矩控制问题。矢量控制 (又称 VC 控制) 变频调速的做法是将异步电动机在三相坐标系下的定子交流电流 I_a 、 I_b 、 I_c 通过三相-二相变换, 等效成两相静止坐标系下的交流电流 I_{a1} 、 I_{b1} , 再通过按转子磁场定向旋转变换, 等效成同步旋转坐标系下的直流电流 I_{m1} 、 I_{t1} (I_{m1} 相当于直流电动机的励磁电流; I_{t1} 相当于直流电动机与转矩成正比的电枢电流), 然后模仿直流电动机的控制方法, 求得直流电动机的控制量, 经过相应的坐标反变换, 实现对异步电动机的控制。

矢量控制的实质是将交流电动机等效为直流电动机, 分别对速度、磁场两个分量进行独立控制。通过控制转子磁链及转子磁通定向, 分解定子电流而获得转矩和磁场两个分量, 经坐标变换实现正交或解耦控制。矢量控制方法的提出具有划时代的意义。然而, 在实际应用中, 由于转子磁链难以准确观测, 系统特性受电动机参数的影响较大, 且在等效直流电动机控制过程中, 所用矢量旋转变换较复杂, 使得实际的控制效果难以达到理想分析的结果。

矢量控制方式有基于转差频率控制的矢量控制方式、无速度传感器矢量控制方式和有速度传感器的矢量控制方式等。基于转差频率的矢量控制方式与转差频率控制方式两者的主要区别是: 基于转差频率的矢量控制要经过坐标变换对电动机定子电流的相位进行控制, 使之满足一定的条件, 以消除转矩电流过渡过程中的波动。因此, 基于转差频率的矢量控制方式比转差频率控制方式在输出特性方面能得到很大的改善。但是, 这种控制方式属于闭环控制

方式,需要在电动机上安装速度传感器,因此应用范围受到限制。

无速度传感器矢量控制是通过坐标变换处理,分别对励磁电流和转矩电流进行控制,然后通过控制电动机定子绕组上的电压、电流辨识转速以达到控制励磁电流和转矩电流的目的。这种控制方式调速范围宽,启动转矩大,工作可靠,操作方便,但计算比较复杂,一般需要专门的处理器来进行计算,因此实时性不是太理想,控制精度受到计算精度的影响。

采用矢量控制方式的通用变频器不仅可在调速范围上与直流电动机相匹配,而且可以控制异步电动机产生的转矩。由于矢量控制方式所依据的是准确的被控异步电动机的参数,有的通用变频器在使用时需要准确地输入异步电动机的参数,有的通用变频器需要使用速度传感器和编码器。目前,新型矢量控制通用变频器中已经具备异步电动机参数自动检测、自动辨识、自适应功能,带有这种功能的通用变频器在驱动异步电动机进行正常运转之前可以自动地对异步电动机的参数进行辨识,并根据辨识结果调整控制算法中的有关参数,从而对普通的异步电动机进行有效的矢量控制。

(3) 直接转矩控制 (DTC 控制)

在 20 世纪 80 年代中期,德国学者 Depenbrock 教授于 1985 年提出直接转矩控制,其思路是把电动机和逆变器看成一个整体,采用空间电压矢量分析方法在定子坐标系进行磁通、转矩计算,通过跟踪 PWM 逆变器的开关状态直接控制转矩。因此,无需对定子电流进行解耦,免去矢量变换的复杂计算,控制结构简单。该技术在很大程度上解决了矢量控制的不足,并以新颖的控制思想、简洁明了的系统结构、优良的动静态性能得到了迅速发展。目前,该技术已成功地应用在电力机车牵引的大功率交流传动上。

直接转矩控制技术是利用空间矢量、定子磁场定向的分析方法,直接在定子坐标系下分析异步电动机的数学模型,计算控制异步电动机的磁链和转矩,采用离散的两点式调节器 (Band - Band 控制),把转矩检测值与转矩给定值作比较,使转矩波动限制在一定的误差范围内,误差的大小由频率调节器来控制,并产生 PWM 脉宽调制信号,直接对逆变器的开关状态进行控制,以获得高动态性能的转矩输出。它的控制效果不取决于异步电动机的数学模型是否能够简化,而是取决于转矩的实际状况,它不需要将交流电动机与直流电动机作比较、等效、转化,即不需要模仿直流电动机的控制,由于它省掉了矢量变换方式的坐标变换与计算和解耦而简化异步电动机数学模型,没有通常的 PWM 脉宽调制信号发生器,所以它的控制结构简单、控制信号处理的物理概念明确、系统的转矩响应迅速且无超调,是一种具有高静、动态性能的交流调速控制方式。即使在开环的状态下,也能输出 100% 的额定转矩,对于多拖动系统具有负载平衡功能。

(4) 矩阵式交 - 交方式

VVVF 变频、矢量控制变频、直接转矩控制变频都是交 - 直 - 交变频控制方式中的一种,其共同的缺点是输入功率因数低,谐波电流大,直流回路需要大的储能电容,再生能量又不能反馈回电网,即不能进行四象限运行。为此,矩阵式交 - 交变频应运而生。由于矩阵式交 - 交变频省去了中间直流环节,从而省去了体积大、价格贵的电解电容。它能实现功率因数为 1,输入电流为正弦且能四象限运行,系统的功率密度大。该技术目前虽尚未成熟,但仍吸引了众多的学者深入研究。其实质不是间接的控制电流、磁链等,而是把转矩直接作为被控制量来实现的。具体方法是:

1) 引入定子磁链观测器,实现无速度传感器方式。

2) 依靠精确的电动机数学模型, 对电动机参数自动识别。

3) 依据定子阻抗、互感、磁饱和因素、惯量等算出实际的转矩、定子磁链、转子速度进行实时控制。

4) 按磁链和转矩的 Band – Band 控制产生 PWM 信号, 对逆变器开关状态进行控制。

矩阵式交 – 交方式具有快速的转矩响应 (小于 2ms), 很高的速度精度 ($\pm 2\%$, 无 PC 反馈), 高转矩精度 (小于 $+3\%$); 具有较高的启动转矩, 尤其在低速时 (包括 0 速度时), 可输出 150% ~ 200% 转矩。

限制矩阵式变频器实际应用的问题是:

1) 功率器件数量大, 装置结构复杂。

2) 双向开关的安全换流问题。

3) 当输出电压必须接近正弦波时, 理论上最大输出输入电压比只有 0.866。

20 世纪 90 年代开发出几种智能换流技术 (二步换流、四步换流等), 使第二个问题得到了解决。现有的一些控制方案已能实现更高的电压比, 使第三项也不成问题。在应用上最大的进展是 2000 年以后出现的功率模块 (一相模块 “3in1”、4kW 的矩阵式功率模块), 它们克服了矩阵式变频器最大的缺点。

(5) 最优控制

最优控制是基于最优控制理论, 根据最优控制的理论对某一个控制要求进行个别参数的最优化。在实际的应用中, 控制系统根据要求的不同而有所不同, 例如在高压变频器的控制应用中, 就成功地采用了时间分段控制和相位平移控制两种策略, 以实现一定条件下的电压最优波形。

(6) 其他控制方式

在实际应用中, 还有一些非智能控制方式在变频器的控制中得以实现, 例如自适应控制、滑模变结构控制、差频控制、环流控制、频率控制等。

2. 变频器控制方式的合理选用

变频器的控制方式决定了由其构成的变频调速系统的动态性能, 目前市场上低压通用变频器品牌很多, 包括欧、美、日及国产的共近百种。选用变频器时不要认为档次越高越好, 其实只要按负载的特性, 满足使用要求就可以, 以使构成的变频调速系统具有高的性能价格比。变频器不同控制方式的技术参数见表 1-3。

表 1-3 变频器不同控制方式的技术参数

控制方式	$U/f = C$ 控制		电压空间 矢量控制	矢量控制		直接转矩控制
反馈装置	不带 PG	带 PG 或 PID 调节器	不需要反馈装置	不带 PG	带 PG 或 编码器	不带 PG
速比 I	< 1:40	1:60	1:100	1:100	1:1000	1:100 *
启动转矩 (在 3Hz)	150%	150%	150%	150%	零转速时 为 150%	启动转矩 (在 0Hz) > 150% ~ 200%
静态速度 精度 (%)	$\pm (0.2 \sim 0.3)$	$\pm (0.2 \sim 0.3)$	± 0.2	± 0.2	± 0.02	± 0.2 **

(续)

控制方式	$U/f = C$ 控制		电压空间 矢量控制	矢量控制		直接转矩控制
适用场合	一般风机、 泵类等	较高精度 调速, 控制	一般工业上的 调速或控制	所有调速 或控制	伺服拖动、 高精传动、 转矩控制	重负载启动、起性 重负载, 恒转 矩波动大负载

注: 1. * 直接转矩控制, 在带 PG 或编码器后, 速比 1 可拓展至 $1:1000$ 。

2. ** 在带 PG 或编码器后, 静态速度精度的达 $+0.01\%$ 。

1.1.4 PWM 方式

目前, 中小功率的变频电路几乎都采用 PWM 技术, PWM 变频电路也可分为电压型和电流型两种。根据正弦波频率、幅值和半周期脉冲数, 准确计算 PWM 波各脉冲宽度和间隔, 据此控制变频电路开关器件的通断, 就可得到所需的 PWM 波形, 当输出正弦波的频率、幅值或相位变化时, 其结果都要变化。

通常采用等腰三角波或锯齿波作为 PWM 波的载波, 等腰三角波应用最多, 其任一点水平宽度和高度成线性关系且左右对称, 与任一平缓变化的调制信号波相交, 在交点控制开关器件通断, 就得到宽度正比于信号波幅值的脉冲, 其符合 PWM 的要求。

调制信号波为正弦波时, 得到的就是 SPWM 波。调制信号不是正弦波, 而是其他所需波形时, 也能得到等效的 PWM 波。采用等腰三角形作为 PWM 载波, 其三角波两个正峰值之间为一个采样周期 T_c 。在自然采样法中, 脉冲中点不和三角波一周期中点 (即负峰点) 重合。而规则采样法使两者重合, 每个脉冲中点为相应三角波中点, 使计算大为简化。规则采样法如图 1-5 所示。三角波负峰时刻 t_D 对应信号波采样的 D 点, 过 D 作水平线和三角波交于 A、B 点, 在 A 点时刻 t_A 和 B 点时刻 t_B 控制开关器件的通断。脉冲宽度 δ 和用自然采样法得到的脉冲宽度非常接近。

1. 双极性 PWM 控制方式 (单相桥变频)

双极性 PWM 控制方式波形如图 1-6 所示, 在 u_r 半个周期内, 三角波载波有正有负, 所

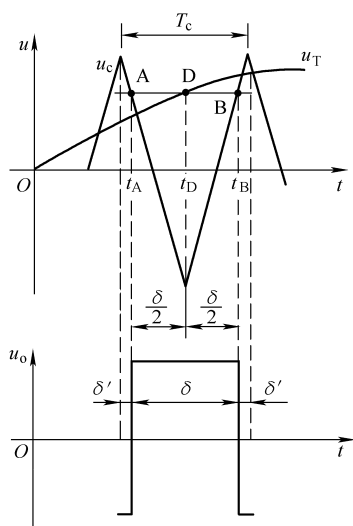


图 1-5 规则采样法

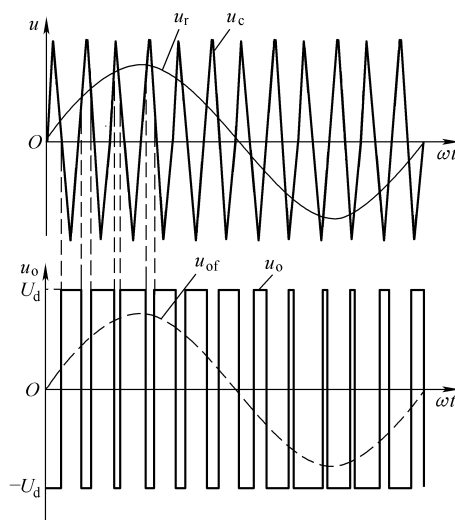


图 1-6 双极性 PWM 控制方式波形

得 PWM 波也有正有负。在 u_r 一周期内, 输出 PWM 波只有 $\pm U_d$ 两种电平。仍在调制信号 u_r 和载波信号 u_c 的交点控制开关器件通断。

2. 特定谐波消去法

特定谐波消去法的输出 PWM 波形如图 1-7 所示, 在输出电压半周期内, 开关器件导通、关断各 3 次 (不包括 0 和 π), 共 6 个开关时刻可控。为减少谐波并简化控制, 要尽量使波形对称。为消除偶次谐波, 使波形正、负两半周对称。

3. 异步、同步调制

根据载波和信号波是否同步及载波比 (载波频率 f_c 与调制信号频率 f_r 之比, $N = f_c/f_r$) 的变化情况, PWM 调制方式分为异步调制和同步调制。

(1) 异步调制

异步调制是载波信号和调制信号不同步的调制方式, 通常保持 f_c 固定不变, 当 f_r 变化时, 载波比 N 是变化的。在信号波的半周期内, PWM 波的脉冲个数不固定, 相位也不固定, 正、负半周期的脉冲不对称, 半周期内前后 $1/4$ 周期的脉冲也不对称:

- 1) 当 f_r 较低时, N 较大, 一周期内脉冲数较多, PWM 脉冲不对称的不利影响都较小。
- 2) 当 f_r 增高时, N 减小, 一周期内的脉冲数减少, PWM 脉冲不对称的影响就变大。

(2) 同步调制

同步调制使 N 等于常数, 并在变频时使载波和信号波保持同步, 基本同步调制方式在 f_r 变化时 N 不变, 信号波一周期内输出脉冲数固定。三相共用一个三角波载波, 且取 N 为 3 的整数倍, 使三相输出对称。同步调制三相 PWM 波形如图 1-8 所示。

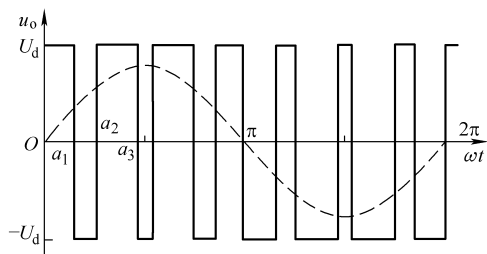


图 1-7 特定谐波消去法的输出 PWM 波形

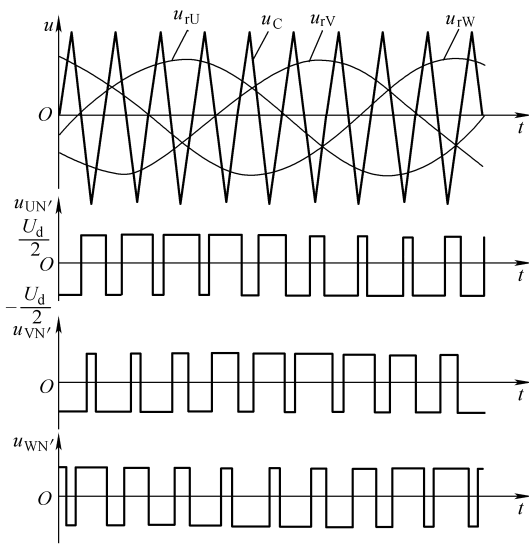


图 1-8 同步调制三相 PWM 波形

为使一相的 PWM 波正、负半周对称, N 应取奇数, f_r 很低时, f_c 也很低, 由调制带来的谐波不易滤除; f_r 很高时, f_c 会过高, 使开关器件难以承受。

把 f_r 范围划分成若干个频段, 每个频段内保持 N 恒定, 不同频段 N 不同, 在 f_r 高的频段

采用较低的 N ，使载波频率不致过高；在 f_r 低的频段采用较高的 N ，使载波频率不致过低。

分段同步调制方式如图 1-9 所示，为防止 f_c 在切换点附近来回跳动，采用滞后切换的方法。同步调制比异步调制复杂，但采用微机控制时容易实现，可在低频输出时采用异步调制方式，高频输出时切换到同步调制方式，这样把两者的优点结合起来和分段同步调制方式效果接近。

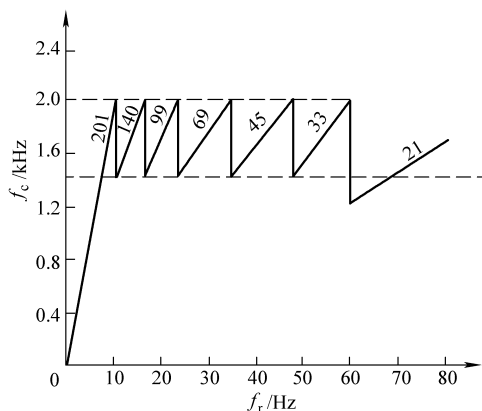


图 1-9 分段同步调制方式

1.2 西门子变频器简介

1.2.1 西门子变频器的分类

1. 西门子变频器

西门子变频器是由德国西门子公司研发、生产的知名变频器品牌，主要用于控制和调节三相交流异步电动机的速度。并以其稳定的性能、丰富的组合功能、高性能的矢量控制技术、低速高转矩输出、良好的动态特性、超强的过载能力、创新的 BiCo（内部功能互联）功能以及无可比拟的灵活性，在变频器市场占据着重要的地位。

在中国市场上，早期的西门子变频器主要有电流型的 SIMOVERTA 以及电压型的 SIMOVERTP，这些变频器也主要由于设备的引进而一起进入了中国的市场，目前仍有少量在使用，而其后在中国市场上主要有 MICROMASTER 和 MIDIMASTER，以及西门子变频器最为成功的 SIMOVERTMASTERDRIVE 系列，也就是 6SE70 系列。它不仅提供了通用场合使用的变频器，也提供了在造纸、化纤等特殊行业要求使用的多电动机传动的直流母线方案。现在西门子变频器在中国市场上的主要机型就是 MM420、MM440、6SE70 系列。

2. 西门子变频器的分类

每个系列的变频器都有其特点，了解了这些特点，才能选到最合适的变频器。西门子系列变频器可分为以下几类：

1) SINAMICSV10 变频器是由西门子公司生产的一种具有基本功能的多用途工业变频器。SINAMICSV10 变频器经济、简便，具有鲁棒性和适应性，尤其适合中国复杂的电网环境，可应用于风机、水泵、纺织及其他简单的物料传送系统。

2) MicroMaster4（MM4）系列变频器为单象限工作，有紧凑型 MicroMaster410、基本型 MicroMaster420、节能型 MicroMaster430、矢量型 MicroMaster440 4 个子系列。MM420 的 I/O 数量少，不支持矢量控制，无自由功能块可使用，功率范围小。MM430 专为风机水泵设计，不支持矢量控制，功率范围大，在恒压供水等场合有很实用的功能。MM440 是矢量控制变频器，有制动单元，有自由功能块，功能相对强大。

3) SIMOVERTMasterDrives、6SE70 工程型变频器的控制板采用 CUVC，可以完美地实现变频器速度、力矩控制功能，可四象限工作。但早期产品的 CPU 运算能力有限。

4) SINAMICSG110、SINAMICSV10 为小功率变频器，SINAMICSV50 可以看做是 MM4 的

柜体机；比 MM4 功率有所扩展，同时应用也很方便；与 MM4 相同的参数操作面板做了改进，使操作更加方便。

SINAMICSG110 系列变频器是西门子公司统一的模块化系统的一部分，可以派生出多种多样的结构，满足各种机械和设备控制的需要。SINAMICS 驱动装置采用以系统为基础的创新设计，即使是最小的 G110 变频驱动装置，其电源、电压和技术功能都符合标准规格。

5) SINAMICSG120 系列变频器，可以看做是 MicroMaster4 的升级版，在结构和功能上都做了改进。与 MM4 不同的是，G120 不是一体机，而是分为 CU 和 PM 两部分。而且 PM250 和 PM260 创新地采用 F3E 技术，实现变频器的四象限运行，高端的 CU 还集成了安全功能。

6) SINAMICSG120D 系列变频器输出功率为 0.75 ~ 7.5kW，它的模块化设计将变频器分为控制单元和功率单元两个部分，非常适用于分布式体系结构，并能满足系统对于分布式驱动和灵活通信的需要。它具有强大的通信能力，通过再生能量回馈功能可节约能源。SINAMICSG120D 是基于 G120 而大幅提升了 IP 防护等级的变频器，可以达到 IP65，但功率范围有限。

7) SINAMICSS120 系列变频器，可以看做是 6SE70 的升级版，在结构和功能上都做了改进。控制板采用 CU320，各组件之间使用 DRIVE - CLiQ 接口进行通信，自动组态带 DRIVE - CLiQ 接口设备。变频器功能十分强大，开放了很多用户接口，可使用 DCC 进行编程，操作面板 AOP30 的功能也十分强大。

8) SINAMICSG150 是高性能单体传动柜，可以看做是 V50 的升级版，同时功率范围也比 V50 大。它使用 CU320 作为控制器，同时带有 AOP30 操作面板，单体使用也很方便。

9) SINAMICSV60 和 V80 是针对步进电动机而推出的两款产品。它们功率较小，与电动机成套配置，只接收脉冲信号，称为步进电动机驱动器，是非常理想的廉价之选。

10) ET200SFC 系列变频器是一种位 - 模块式的分布式 I/O 系统，防护等级为 IP20，具有安装简便，灵活性大，以及运行费用较低等特点。ET200SFC 是一种可以整体嵌入 ET200S 分布式 I/O 系统的模块化变频器。它的每一个部件都必须由 STEP7 的硬件组态功能来组态/工程设计，变频器本身由控制单元和功率模块组成。

1.2.2 西门子变频器的特性

1. MicroMaster420 变频器的特性

MicroMaster420 是全新一代模块化设计的多功能标准变频器，它友好的用户界面，安装、操作和控制灵活方便。它还具有全新的 IGBT 技术、强大的通信能力、精确的控制性能。MicroMaster420 变频器的主要特征是：

- 1) 交流单相：(200 ~ 240V) $\pm 10\%$ ，功率：0.12 ~ 5.5kW；交流三相：(380 ~ 480V) $\pm 10\%$ ，功率：0.37 ~ 11kW。
- 2) 模块化结构设计，具有最多的灵活性；标准参数访问结构，操作方便。
- 3) 控制功能：线性 U/f 控制，平方 U/f 控制，可编程多点设定 U/f 控制；磁通电流控制 (FCC)，可以改善动态响应特性；最新的 IGBT 技术，数字微处理器控制。
- 4) 数字量输入：3 个，模拟量输入：1 个，模拟量输出：1 个，继电器输出：1 个。
- 5) 集成 RS - 485 通信接口，可选 PROFIBUS - DP 通信模块/Device - Net 模板；采用

BiCo 技术, 实现 I/O 端口自由连接。

6) 具有 7 个固定频率, 4 个跳转频率, 可编程; 捕捉再启动功能; 在电源消失或故障时具有自动再启动功能。

7) 灵活的斜坡函数发生器, 带有起始段和结束段的平滑特性; 快速电流限制 (FCL), 防止运行中不应有的跳闸; 有直流制动和复合制动方式提高制动性能。

8) 保护功能: 过载能力为 150% 额定负载电流, 持续时间为 60s; 过电压、欠电压保护; 变频器过温保护; 接地故障保护, 短路保护; I^2t 电动机过热保护; 采用 PTC 通过数字端接入的电动机过热保护; 采用 PIN 编号实现参数联锁; 闭锁电动机保护, 防止失速保护。

2. MicroMaster430 变频器的特性

MicroMaster430 是全新一代风机和泵类变转矩负载专用变频器, 按照专用要求设计, 具有高度可靠性和灵活性。MicroMaster430 变频器的主要特征是:

1) 交流三相: (380 ~ 480V) $\pm 10\%$, 功率: 7.5 ~ 250kW。

2) 风机和泵类变转矩负载专用; 可靠的 EMC (电磁兼容性) 设计; 控制信号快速响应。

3) 控制功能: 线性 U/f 控制, 并带有增强电动机动态响应和控制特性的磁通电流控制 (FCC), 多点 U/f 控制; 内置 PID 控制器; 快速电流限制, 防止运行中不应有的跳闸。

4) 数字量输入: 6 个, 模拟量输入: 2 个, 模拟量输出: 2 个, 继电器输出: 3 个; 具有 15 个固定频率, 4 个跳转频率, 可编程。

5) 采用 BiCo 技术, 实现 I/O 端口自由连接; 集成 RS-485 通信接口, 可选 PROFIBUS-DP 通信模块。

6) 灵活的斜坡函数发生器, 可选平滑功能; 三组参数切换功能: 电动机数据切换, 命令数据切换。

7) 风机和泵类专用功能: 多泵切换; 旁路功能; 手动/自动切换; 断带及缺水检测; 节能方式。

8) 保护功能: 过载能力为 140% 额定负载电流, 持续时间为 3s 和 110% 额定负载电流, 持续时间为 60s; 过电压、欠电压保护; 变频器过温保护; 接地故障保护, 短路保护; I^2t 电动机过热保护; PTC 电动机保护。

3. MicroMaster440 变频器的特性

MicroMaster440 是全新一代可以广泛应用的多功能标准变频器, 它采用高性能的矢量控制技术, 提供低速高转矩输出和良好的动态特性, 同时具备超强的过载能力, 以满足广泛的应用场合。创新的 BiCo (内部功能互联) 功能有无可比拟的灵活性。MicroMaster440 变频器的主要特征是:

1) 交流单相: (200 ~ 240V) $\pm 10\%$, 功率: 0.12 ~ 45kW; 交流三相: (380 ~ 480V) $\pm 10\%$, 功率: 0.37 ~ 250kW。

2) 矢量控制方式, 可构成闭环矢量控制, 闭环转矩控制; 高过载能力, 内置制动单元; 三组参数切换功能; 标准参数结构, 标准调试软件; 内置 PID 控制器, 参数自整定。

3) 控制功能: 线性 U/f 控制, 平方 U/f 控制, 可编程多点设定 U/f 控制, 磁通电流控制, 免测速矢量控制, 闭环矢量控制, 闭环转矩控制, 节能控制模式。

4) 数字量输入: 6 个, 模拟量输入: 2 个, 模拟量输出: 2 个, 继电器输出: 3 个; 独立 I/O 端子板, 方便维护; 具有 15 个固定频率, 4 个跳转频率, 可编程。

5) 采用 BiCo 技术, 实现 I/O 端口自由连接; 集成 RS-485 通信接口, 可选 PROFIBUS-DP/Device-Net 通信模块。

6) 可实现主/从控制及力矩控制方式; 在电源消失或故障时具有自动再启动功能; 灵活的斜坡函数发生器, 带有起始段和结束段的平滑特性; 快速电流限制 (FCL), 防止运行中不应有的跳闸; 有直流制动和复合制动方式可提高制动性能。

7) 保护功能: 过载能力为 200% 额定负载电流, 持续时间为 3s 和 150% 额定负载电流, 持续时间为 60s; 过电压、欠电压保护; 变频器、电动机过热保护; 接地故障保护, 短路保护; 闭锁电动机保护, 防止失速保护; 采用 PIN 编号实现参数联锁。

4. SINAMICSG120C 紧凑型变频器

SINAMICSG120C 紧凑型变频器在许多方面为同类变频器的设计典范, 包括它紧凑的尺寸, 便捷的快速调试, 简单的面板操作, 方便友好的维护以及丰富的集成功能都将成为新的标准。

SINAMICSG120C 紧凑型变频器是专门为满足 OEM 用户对于高性价比和节省空间的要求而设计的变频器, 同时它还具有操作简单和功能丰富等特点。这个系列的变频器与同类相同功率的变频器相比, 具有更小的尺寸, 并且它安装快速, 调试简便, 以及它友好的用户接线方式和简单的调试工具都使它与众不同。它集成众多功能: 安全功能 (STO, 可通过端子或 PROFIsafe 激活), 多种可选的通用的现场总线接口, 以及用于参数复制的存储卡槽。

SINAMICSG120C 紧凑型变频器的功率范围为 0.55 ~ 18.5kW, 为了提高能效, 变频器集成了矢量控制实现能量的优化利用并自动降低了磁通。该系列的变频器是全集成自动化的组成部分, 并且可选 PROFIBUS、ModbusRTU、CAN 以及 USS 等通信接口。操作控制和调试可以快速简单地采用 PC 通过 USB 接口, 或者采用 BOP-2 (基本操作面板) 或 IOP (智能操作面板) 来实现。

SINAMICSG120C 紧凑型变频器隶属于功率完备和功能集成的 SINAMICS 驱动家族, 它是面向未来的创新的驱动装置。SINAMICS 驱动家族为每个应用提供最佳的驱动解决方案, 所有的变频器都能够进行组态、参数设置、调试, 并可以按照通常的方式运行。SINAMICS 变频器的优点有:

1) 标准的操作控制功能使它们具有相同的软硬件平台, 覆盖了低压和中压的电压范围; 所有变频器采用相同的工程工具, SIZER 用于工程设计; STARTER 用于参数设置和调试; 高度的灵活性和组合性; 相同的选件。

2) 机械设计紧凑, 需要的空间更小; 可并排紧密安装不降容; 更高的功率密度, 更小的尺寸, 可以安装在更小的柜体内, 可以更接近现场安装。

3) 操作友好: 优化的参数组; 简单快速的软件参数设定; 运行和调试操作更简单; 优化的调试; 可采用 BOP-2 和 IOP 操作面板; 集成 USB 接口; 充分利用已有的 SINAMICS 知识, 降低培训费用; 维修更加简单、友好。

4) 安装、维护简单; 可插拔的接线端子; 可通过 BOP-2 和 IOP 操作面板以及 SD 卡进行参数复制; G120C 可通过 TIA 远程调试; 变频器和电动机运行时间计数器; 快速的机械

安装，直观的系列调试；可集成于自动化控制系统中。

5) 先进的技术功能；高效，无传感器矢量控制；通过 U/FECO 功能自动降低磁通；集成电能计算器；集成 STO 安全功能；集成的通信接口（DP、CAN、USS、ModbusRTU）；更高的控制精度和质量；电动机控制的能效更高；可计算节省电能；可以连接到所有的通用的总线系统中。

6) 稳定可靠；采用了可用于重载的元器件，所有电路板都带涂层；运行环境温度可达 60℃；可在恶劣的工业环境下无故障运行；具有更长的使用寿命。

7) 内置制动单元；IOP，BOP-2 和 USB 接口；集成存储卡（SD）卡槽；带电气隔离的输入。

SINAMICSG120C 变频器的技术参数见表 1-4。

表 1-4 SINAMICSG120C 变频器的技术参数

电压/频率	三相，(380~480V) -20% +10%，50/60Hz + / - 5%
功率范围控制类型	0.55~18.5kW/0.7~24Hp
过载能力	对于 I_{H0-out} ： $2.0 \times I_{H0-out}$ 过载 3s， $1.5 \times I_{H0-out}$ 过载 57s/300s 周期 对于 I_{H0-out} ： $1.6 \times I_{H0-out}$ 过载 3s， $1.1 \times I_{H0-out}$ 过载 57s/300s 周期
防护等级	IP20/Ulopentype
环境温度	0~40℃ 不降容/到 60℃ 可降容运行
EMC	加装 EMC 滤波器符合 IEC61800-3，2 类标准
电动机电缆长度	屏蔽电缆 50m/非屏蔽电缆 100m
符合的标准	CE \ UL
输入/输出信号	6 个数字量输入、2 个数字量输出、1 个模拟量输入、1 个模拟量输出
安全功能	安全转矩截止（STO）
控制方式	矢量控制，U/f、U/FECO
能量管理	节能计算器、能量消耗计算器、自动降低磁通
功能	固定频率/速度设定、2/3 线控制、PID 控制器、电动机抱闸控制
制动	内置制动单元

1.2.3 西门子变频器的特点及应用领域

1. 西门子变频器的特点

西门子变频器主要分为通用型、工程型和专用型三类，西门子变频器得以广泛应用的原因主要有以下几个方面：

1) 西门子变频器专为工业应用而设计，特别适合于工业过程控制领域，不断推出新产品。西门子产品一般的更新周期不超过 5 年，其产品能够满足不同用户的特殊要求。

2) 强大的通信功能和全面的配套软件是西门子自动化产品的一大特点。在我国造纸、化工、钢铁、机械制造等诸多产业中，从技术改造向自动化控制全面推进的飞速发展过程中尤显其竞争优势。

西门子变频器具有高度的灵活性，经过一定的配置，能够满足工业领域交流调速系统的

各种精确控制要求。西门子变频器覆盖了功率与电压的广泛领域，并配有多种内置可选项。西门子变频器的一个关键特性是可编程控制性，因此能轻松自如地适应不同的应用领域。

3) 推出的 MM4 新一代变频器不仅具有西门子工程型变频器的良好结构，还具有较高的性能价格比。利用 BiCo 功能可以为更为复杂的功能进行编程，它可以在输入（数字的、模拟的、串行通信的等）和输出（变频器的电流、频率、模拟输出、继电器节点输出等）之间建立布尔代数式和数学关系式。

4) MM4 新一代变频器不同于其他变频器的另一个显著特点是：它给用户提供的是一个完全开放的编程平台，使用户可以根据自己的需要最大限度地合理利用有限的资源实现尽可能复杂的控制特性。它的自由功能块可以代替 PLC 实现一些简单的编程操作。

5) 西门子变频器产品具有很长的使用寿命，这是产品设计中最重要的原则之一。例如，风机、电容等易损耗部件根据延长产品使用寿命的原则进行选型。同时产品具有强大的保护能力，这使得西门子变频器产品在不断成长的工业领域得以广泛应用。

6) 西门子变频器具有友好的用户接口，简单快捷的调试和操作，可以简易地使用 PC 软件工具进行调试、维护、监视和编程。灵活、可编程的西门子变频器可以满足不同工业现场的多种应用需求。

7) 西门子变频器可以很好地与工艺流程控制系统结合，来达到最优的速度和最优的转矩，并且保持高精度，这样能够保证生产线的最终产品的稳定品质。西门子变频器可以调整电动机的转速和转矩，这样降低了对电动机和驱动机械设备的磨损。

8) 在节能降耗的大环境下，西门子变频器在风力发电和太阳能发电领域有着广阔的发展前途。西门子公司凭借领先的变频技术、多年积累的工程经验和超强的研发能力，在风电变流器和太阳能变流器等领域取得了很大的进展。此外，在电动汽车方面，变频技术也能够与之完美结合。

2. 西门子变频器的应用领域

1) 化工、石油、天然气行业。基于西门子变频器可构成应用于化工、石油、天然气行业的创新性解决方案，西门子变频器在石油和天然气行业体现出显著的价值，使得产品成本降低，优化了产品各项技术经济指标。

2) 水泥、采矿与矿山行业。西门子变频器在水泥、采矿与矿山行业中得以广泛应用，精细的设计使得变频器即使处于恶劣的环境条件中，也能够提供精确地控制。西门子变频器有助于优化生产进程，降低能源消耗和二氧化碳排放量。

3) 运输及轻工行业。西门子变频器已经被广泛地应用于原材料装卸、输水系统、混合配料、皮带运输、风机控制、包装以及储藏等领域，可提升设备的工作效率、节约能源、降低设备磨损，提高了产品质量。

4) HVAC 行业。西门子变频器的通用应用软件（宏指令）作为标准配置，内置于变频器中。应用程序的选择只需数秒，其余程序的启动配有像使用手机一样简单、直观的用户界面。该功能依 HVAC 行业应用要求而设计，包括供应和回流风机、冷却塔风机、增压泵和冷凝器。HVAC 的智能控制盘能在任何时候给予最直接、最明确的文字指示。谐波和 RFI 辐射是 HVAC 设备主要关注的方面。而将西门子变频器应用于 HVAC 中，能够满足对电磁兼容性的高要求。采用的直流变感扼流圈对谐波的削减量最高可达到 25%。

5) 船舶行业。西门子变频器与异步、永磁同步电动机结合构成的交流调速系统，降低

了运营成本，满足海运、航海的各种需求，经过设计和运行测试，符合海运、航海的批准条件。完整的、紧凑封装的西门子变频器可确保在任何海运、航海情况下可靠、经济的运行。

6) 冶金行业。西门子变频器能够为高要求的冶金行业的应用提供快捷、精确、可靠的控制，这能优化生产，最大限度地减少磨损，同时提高了可靠性，确保了最终产品的质量。

7) 风力发电行业。西门子变频器通过提升可用性、电网规范性和使用寿命，提高风力发电机的发电量，变频器的设计全面考虑了风机主要动力驱动概念。西门子变频器具有完全封闭的、紧凑的机柜，能够防止灰尘、盐分、沙尘和其他环境污染物污染内部的电子装置。

8) 供水与污水处理行业。西门子变频器可用于供水和污水处理厂的各个环节，能够优化供水、水处理和污水处理，通过水处理系统和泵装置，进入分配系统，再进入污水系统，然后经过处理后返回环境中。西门子变频器用于在水处理过程中进行流量和压力控制，可根据流量计、压力传感器和其他传感器的输入数据，根据实际需求，调节水处理工艺流程。

第2章 变频调速系统工程设计

2.1 变频器的选择

通用变频器的选择包括变频器的形式选择和容量选择两个方面，其总的原则是首先保证满足工艺要求，再尽可能节省资金。要根据工艺环节、负载的具体要求选择性价比相对较高的品牌和类型及容量。

2.1.1 变频器的选型

1. 变频器的类型

变频器选用时一定要做详细的技术经济分析论证，对那些负荷较高且非变工况运行的设备不宜采用变频器。变频器具有较多的品牌和类型，价格相差很大。为此必须了解变频器的技术特性和分类，变频器可以从以下不同的方面进行分类：

1) 按控制方式不同可分为通用型和工程型。通用型变频器一般采用给定闭环控制方式，动态响应速度相对较慢，在电动机高速运转时可满足设备恒功率的运行特性，但在低速时难以满足恒功率要求。工程型变频器在其内部通过检测设有自动补偿、自动限制的环节，在设备低速运转时可保持较好的特性实现闭环控制。按控制功能分为：普通功能型 F 控制变频器、具有转矩控制功能的高性能型 F 控制变频器和矢量控制高性能型变频器。

2) 按安装形式不同可分为四种，可根据受控电动机功率及现场安装条件选用合适的类型。一种是固定式（壁挂式），功率多在 37kW 以下。第二种是书本型，功率为 0.2 ~ 37kW，占用空间相对较小，安装时可紧密排列。第三种是装机、装柜型，功率为 45 ~ 200kW，需要附加电路及整体固定壳体，体积较为庞大，占用空间相对较大。第四种为柜型，控制功率为 45 ~ 1500kW，除具备装机、装柜型的特点外，与之比较占用空间更大。

3) 从变频器的电压等级来看，有单相 AC230V 电压等级，也有三相 AC208 ~ 230V、380 ~ 460V、500 ~ 575V、660 ~ 690V 电压等级，应根据电源条件和电动机额定电压参数做出正确的选择。

4) 从变频器的防护等级来看，有 IP00 的，也有 IP54 的，要根据现场环境条件做出相应的选择。

5) 从调速范围及精度而言，FC（频率控制）变频器调速范围为 1:25；VC（矢量控制）变频器的调速范围为 1:1000 ~ 1:100；SC（伺服控制）变频器的调速范围为 1:4000 ~ 1:1000，要根据系统的负载特性做出相应的选择。

变频器的类型选用要根据生产机械的负载特性、调速范围、静态速度精度、启动转矩的要求，决定选用哪种控制方式的变频器最合适。所谓合适是既要好用，又要经济，以满足工艺和生产的基本条件和要求。在变频器选型前应掌握传动系统的以下参数：

1) 电动机的极数。一般电动机极数以不多于 4 极为宜，否则变频器容量就要适当

加大。

2) 转矩特性、临界转矩、加速转矩。在同等电动机功率的情况下, 相对于高过载转矩模式, 变频器规格可以降额选取。

3) 电磁兼容性。为减少主电源干扰, 使用时可在中间电路或变频器输入电路中设置电抗器, 或安装前置隔离变压器。一般当电动机与变频器距离超过 50m 时, 应在它们中间串入输出电抗器、滤波器或采用屏蔽防护电缆。

变频器的选型应满足以下条件:

1) 电压等级与驱动电动机相符, 变频器的额定电压与负载的额定电压相符。

2) 额定电流为所驱动电动机额定电流的 1.1 ~ 1.5 倍, 对于特殊的负载, 如深水泵等则需要参考电动机性能参数, 以最大电流确定变频器电流和过载能力。由于变频器的过载能力没有电动机的过载能力强, 一旦电动机有过载, 损坏的首先是变频器。如果机械设备选用的电动机功率大于实际机械负载功率, 并把机械功率调节到电动机输出功率, 此时, 变频器功率选用一定要等于或大于电动机功率。个别电动机额定电流值较特殊, 不在常用标准规格附近, 又有的电动机额定电压低, 额定电流偏大, 此时要求变频器额定电流必须等于或大于电动机额定电流。

3) 根据被驱动设备的负载特性选择变频器的控制方式。

变频器的选型除一般须注意的事项 (如输入电源电压、频率、输出功率、负载特点等) 外, 还要求与相应的电动机匹配良好, 要求在正常运行时, 在充分发挥其节能优势的同时, 避免其过载运行, 并尽量避开其拖动设备的低效工作区, 以保证其高效可靠运行。在变频器选型时, 对于相同设备配用的变频器的规格应尽可能统一, 以便于备品备件的准备, 便于维修管理, 选用时还要考虑生产厂家售后服务质量情况。

2. 变频调速系统的效率与损耗

(1) 变频器的效率

变频器的效率是指其本身的变换效率, 交-交变频器尽管效率较高, 但调频范围受到限制, 应用也受到限制。目前, 通用的变频器主要为交-直-交型, 交-直-交变频器的损耗由三部分组成, 整流损耗约占总损耗的 40%, 逆变损耗约占 50%, 控制回路损耗占 10%。其前两项损耗是随着变频器的容量、负荷、拓扑结构的不同而变化的, 而控制回路损耗不随变频器容量、负荷而变化。变频器采用大功率自关断开关器件等现代电力电子技术, 其整流损耗、逆变损耗等都比采用传统电子技术的损耗小。变频器在额定状态运行时, 其效率一般为 86.4% ~ 96%, 变频器的效率随着变频器功率的增大而提高。

(2) 电动机的效率和损耗

电动机变频调速后的各种损耗和效率均有所变化, 根据电动机学理论, 电动机的损耗可分为铁心损耗 (包括磁滞损耗和涡流损耗)、轴承摩擦损耗、风阻损耗、定子绕组铜耗、转子绕组铜耗、杂散损耗等几种。

1) 铁心中的磁滞损耗表达式为

$$P_n = \sigma_n (f/50) (B/10000)^n G_c \quad (2-1)$$

由式 (2-1) 可知, 磁滞损耗与磁滞损耗系数 σ_n 、铁心中磁通密度 B 、铁心重量 G_c 及电源频率 f 有关, 变频调速后, 磁滞损耗减少速度比电动机有功减少速度慢, 损耗所占比例有所提高。

2) 涡流损耗表达式为

$$P_e \propto af^2 \quad (2-2)$$

3) 轴承摩擦损耗表达式为

$$P_z \propto f^{1.5} \quad (2-3)$$

4) 风阻损耗表达式为

$$P_f \propto f^3 \quad (2-4)$$

5) 定子绕组铜耗和转子绕组铜耗的大小与电源频率 f 没有直接关系,但谐波及脉动电流增加了电动机的铜耗。

6) 杂散损耗及附加损耗。不论何种形式的变频器,其输出波形除基波外,都会出现谐波,如通用的正弦波变频器(PWM),其载波频率高达几千至几万赫兹,附加谐波的转矩方向是与基波转矩方向相反的,另外谐波也会增加涡流损耗。

综上所述,电动机变频调速后的磁滞损耗、涡流损耗、轴承摩擦损耗、定转子铜损及杂散损耗在功率中所占比例都有所增加,有关文献指出,变频调速后电动机电流增加10%,温升增加20%。

变频器负载率 β 与效率 η 的关系曲线如图2-1所示。由图2-1可见:当 $\beta=50\%$ 时, $\eta=94\%$;当 $\beta=100\%$ 时, $\eta=96\%$ 。虽然 β 增一倍, η 变化仅2%,但对于中、大功率变频调速系统,如几百千瓦至几千千瓦电动机而言亦是可观的。系统效率等于变频器效率与电动机效率的乘积,只有两者都处在较高的效率下工作时,系统效率才较高。从效率角度出发,在选用变频器功率时,要注意以下几点:

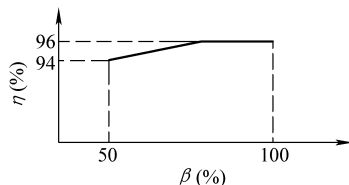


图 2-1 变频器负载率 β 与效率 η 的关系曲线

- 1) 变频器功率值与电动机功率值相匹配时最合适,以使变频器在高的效率值下运行。
- 2) 在变频器功率分级与电动机功率分级不相同时,变频器功率要尽可能接近电动机功率,并应略大于电动机功率。
- 3) 当电动机属频繁起动、制动工作或处于重载起动且较频繁工作时,可选取大一级的变频器,以利用变频器长期、安全地运行。
- 4) 经实际测试,电动机实际功率确实有富余,可以考虑选用功率小于电动机功率的变频器,但要注意电动机瞬时峰值电流是否会造成变频器过电流保护动作。

当变频器与电动机功率不相同时,必须修改相关参数的设置,以利于经济运行。

3. 变频器的选择原则

(1) 负载特性

变频调速与机械变速存在本质上的区别,不能将某电动机使用机械变速改为相同功率的变频调速。因为功率是转矩与转速的乘积:

$$P = M\omega = M\left(\frac{2\pi n}{60}\right) \quad (2-5)$$

式中, M 为转矩($N \cdot m$); ω 为角速度(rad/s); n 为转速(r/min)。

机械变速时(例如齿转变速、皮带变速),若变比为 K ,在电动机功率不变时,忽略变速器效率,即转速下降 K 倍,而转矩可升高 K 倍,它属于恒功率负载。

而变频调速的转矩-转速曲线在低于额定频率时,电动机为恒转矩运行,电动机不能提高输出转矩。高于额定频率时,转速升高转矩下降。常见的不同负载的机械特性如图2-2所示。图2-2中的曲线3为平方率负载(例如风机、水泵);曲线2为恒转矩负载(例如传送带),这两种负载在低于额定频率运行时,负载力矩没有增加,所以当在额定频率以下时,可以按电动机功率大小配置变频器功率。

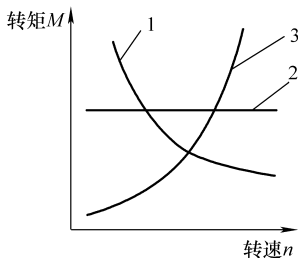


图 2-2 不同负载的机械特性

1—恒功率负载 2—恒转矩负载
3—平方率负载

图 2-2 中的曲线 1 是恒功率负载(例如切削机床),低速时力矩增加,而变频器和电动机低于额定频率时的电流被限制,力矩不能增加,所以在变频调速系统运行在低速区时,有可能会造成电动机带不动负载,选用时要根据减速造成力矩增加的比例,选用比原电动机功率大的电动机和变频器。例如原来为 1.5kW 的电动机,负载转矩为 $9.18\text{N} \cdot \text{m}$,转速为 1460r/min ,机械变速后转速降到 720r/min ,转矩就可达 $18.36\text{N} \cdot \text{m}$,而与之配套的电动机和变频器不可能输出 $18.36\text{N} \cdot \text{m}$ 的转矩。因此,变频调速后电动机和变频器需增加的功率是:

$$P = M\omega = 18.36 \left(\frac{2\pi}{60} 720 \right) = 1383.61\text{W}$$

选用标准功率为 3.7kW 或 4kW 的电动机和变频器才能保证在低速区时输出要求的转矩。

在我国将工频 50Hz 以下区间作为变频器的“恒力矩区”,即频率和转速成比例下降时,电动机为恒力矩特性。在 50Hz 以上区间为“恒功率区”,即频率和转速越高,电动机的力矩越小。变频器的输出频率和拖动电动机的转速成正比,其输入的功率(机械功率)为:转速×转矩。为此,选择变频器时应根据以下原则:

1) 电动机功率在 280kW 以上应选择电流型变频器(多重化波形),75kW 以下的电动机应选择电压型变频器(PWM 波形),75~280kW 的电动机可根据实际情况决定。

2) 根据拖动设备特性选择,机床类设备需要尽可能满足恒功率的硬特性,可选用专用电动机和配足变频器功率,尽可能选用矢量型变频器,并要求变频器带有制动单元。风机、水泵等减力矩负载要选用专用变频器,便于节能运行。对于只需恒力矩的传动系统,选用通用型、矢量型或 F 型变频器均可。

变频器的正确选用对于机械设备及系统的正常运行至关重要,选择变频器首先要满足机械设备的类型、负载转矩特性、调速范围、静态速度精度、启动转矩和使用环境的要求,然后决定选用何种控制方式和防护结构的变频器最合适。所谓合适是在满足机械设备的实际工艺生产要求和使用场合的前提下,实现变频器应用的最佳性价比。在实践中常将生产机械根据负载转矩特性的不同,分为三大类型:

1) 恒转矩负载。在恒转矩负载中,负载转矩 T_L 与转速 n 无关,在任何转速下 T_L 总保持恒定或基本恒定,负载功率则随着负载速度的增高而线性增加。多数负载具有恒转矩特性,但在转速精度及动态性能等方面要求一般不高,例如挤压机、搅拌机、传送带、厂内运输电车、吊车的平移机构、吊车的提升机构和提升机等。选型时可选 F 控制方式的变频器,最好采用具有恒转矩控制功能的变频器。起重机类负载的特点是启动时冲击很大,因此要求

变频器有一定余量。同时,在重物下放时,会有能量回馈,因此要使用制动单元或采用共用母线方式。

变频器拖动具有恒转矩特性的负载时,低速时的输出转矩要足够大,并且要有足够的过载能力。如果需要在低速下稳速运行,应考虑标准电动机的散热能力,避免电动机的温升过高。而对不均性负载(其特性是:负载有时轻,有时重)应按照重负载的情况来选择变频器容量,例如轧钢机械、粉碎机械、搅拌机等。

对于大惯性负载,如离心机、冲床、水泥厂的旋转窑,此类负载惯性很大,因此启动时可能会振荡,电动机减速时有能量回馈。应该选用容量稍大的变频器来加快启动,避免振荡,并需配有制动单元消除回馈电能。

长期低速运行的系统,由于电动机发热量较高,风扇冷却能力降低,因此必须采用加大减速比的方式或改用6级电动机,使电动机运转在较高频率附近。对于低速运行时要求有较硬的机械特性和一定的调速精度,但动态性能方面无较高要求时,可选用具有转矩控制功能的高功能型变频器,以实现恒转矩负载的调速运行。另外对于恒转矩负载下的电动机,如果采用通用标准电动机,则应考虑低速下电动机的强迫通风冷却,以避免电动机在低速运行时发热。

2) 恒功率负载。恒功率负载的特点是需求转矩 T_L 与转速 n 大体成反比,但其乘积即功率却近似保持不变。金属切削机床的主轴和轧机、造纸机、薄膜生产线中的卷取机、开卷机等,都属于恒功率负载。

负载的恒功率性质是针对一定的速度变化范围而言的,当速度很低时,受机械强度的限制, T_L 不可能无限增大,在低速下转变为恒转矩性质。负载的恒功率区和恒转矩区对传动方案的选择有很大的影响。电动机在恒磁通调速时,最大允许输出转矩不变,属于恒转矩调速;而在弱磁调速时,最大允许输出转矩与速度成反比,属于恒功率调速。如果电动机的恒转矩和恒功率调速的范围与负载的恒转矩和恒功率范围相一致时,即所谓“匹配”的情况下,电动机的容量和变频器的容量均最小。

3) 流体类负载。在各种风机、水泵、油泵中,随叶轮的转动,空气或液体在一定的速度范围内所产生的阻力大致与速度 n 的二次方成正比。随着转速的减小,转矩按转速的二次方减小。这种负载所需的功率与速度的三次方成正比。各种风机、水泵和油泵都属于典型的流体类负载,由于流体类负载在高速时的需求功率增长过快,与负载转速的三次方成正比,所以不应使这类负载超工频运行。

流体类负载在过载能力方面要求较低,由于负载转矩与速度的二次方成反比,所以低速运行时负载较轻(罗茨风机除外),又因为这类负载对转速精度没有什么要求,故选型时通常以价格为主要原则,应选择普通功能型变频器,只要变频器容量等于电动机容量即可(空压机、深水泵、泥沙泵、快速变化的音乐喷泉需加大容量),目前已有为此类负载配套的专用变频器可供选用。

(2) 系统特性

1) 快速响应系统。所谓响应快是指实际转速对于转速指令的变化跟踪快,从负载变动和外界干扰引起的过渡性速度变化中恢复得快。要求响应快的典型负载有轧钢机、生产线设备、机床主轴、六角孔冲床等,针对快速响应系统最好选用转差频率控制的变频器。

2) 被控对象的动态、静态指标要求。变频调速系统在低速时应有较硬的机械特性,才

能满足生产工艺对控制系统的动态、静态指标要求，如果控制系统采用开环控制，可选用具有无速度反馈的矢量控制方式的变频器。

对于调速精度和动态性能指标都有较高要求，以及要求高精度同步运行的系统，如轧钢、造纸、塑料薄膜加工线这一类负载，可选用带速度反馈的矢量控制方式的变频器。如果控制系统采用闭环控制，可选用能够四象限运行，F 控制方式，具有恒转矩功能的变频器。对于电力机车、交流伺服系统、电梯、起重机负载，可选用具有直接转矩控制功能的专用变频器。

综上所述，在选用变频器时除了考虑技术性和可靠性外，还应考虑经济性，一般不要留有太大的功率余量，变频器与电动机两者的功率应相匹配，这样不但经济性好而且输出波形更好。常见的几类设备的负载特性和负载转矩特性见表 2-1，可供变频器选型时参考。

表 2-1 常见的几类设备的负载特性和负载转矩特性

应用	负载特性					负载转矩特性			
	风机、泵类	摩擦性负载	重力负载	流体负载	惯性负载	恒转矩	恒功率	降转矩	降功率
流体	压缩机			●				●	
金属加工 机床	齿轮泵			●		●			
	压榨机					●			
	卷板机、拔丝机	●			●	●			
	离心铸造机					●			
	机械化供应装置	●			●				
	自动车床	●				●			
	转塔车床	●							●
	车床及加工中心					●			
	磨床、钻床						●		
电梯	刨床	●				●			●
	电梯高低速、自动停车装置	●					●		
输送	电梯门		●			●			
	传送带	●				●			
	门式提升机	●				●			
	起重机、升降机升降		●			●			
	起重机、升降机平移		●			●		●	
	泥浆输送机	●				●			
	运载机				●	●			
	自动仓库上下		●			●			
	造料器、自动仓库输送	●				●			
普通	搅拌器			●		●			
	农用机械、挤压机					●			
	分离机、离心分离机				●				
	印刷机、食品加工机械					●			
	商业清洗机				●				●
	吹风机						●		
	木材加工机	●				●			●

4. 变频器选择的注意事项

在选择变频器时应注意以下事项：

1) 选择变频器时应以实际电动机电流值作为变频器选择的依据,电动机的额定功率只能作为参考。另外应充分考虑变频器的输出含有谐波,会造成电动机的功率因数和效率变差。采用变频器给电动机供电与用工频电网供电相比较,电动机的电流增加10%而温升增加约20%。所以在选择变频器时,应考虑到这种情况,适当留有裕量,以防止温升过高,影响电动机的使用寿命。

2) 当变频器和电动机之间的接线超长时,随着变频器输出电缆长度的增加,其分布电容明显增大,从而造成变频器逆变输出的容性尖峰电流过大引起变频器的过电流保护动作,因此必须使用输出电抗器或 du/dt 滤波器或正弦波滤波器等装置对这种容性尖峰电流进行限制。

输出电抗器用于补偿在电动机电缆长距离敷设时引起的线路电容充电电流,也可抑制谐波。在多电动机成组的传动系统时,可接入一台输出电抗器,总电缆长度是每台电动机电缆长度的总和。从理论上说,功率等级不同的变频器所允许敷设的电动机电缆长度是不同的,并且不同生产厂商的变频器所允许敷设的电动机电缆长度也是不同的。因此,关于变频器与电动机之间的电缆在超过多长的距离时应加装输出电抗器,还应参阅各变频器生产厂商提供的使用手册。

3) 当变频器用于控制并联的几台电动机时,一定要考虑变频器到电动机的电缆长度总和在变频器的容许范围内。如果超过规定值,要放大一档或两档来选择变频器。在此种情况下,变频器的控制方式只能为F控制方式,并且变频器无法保护电动机的过电流、过载,此时需在每台电动机回路上设置过电流、过载保护。

4) 对于一些特殊的应用场合,如高环境温度、高开关频率、高海拔等,应降容选择变频器,变频器需放大一档选择。环境温度长期较高,变频器若安装在通风冷却不良的机柜内时,会造成变频器寿命缩短(特别是电解电容等元器件,在高于额定温度后,每升高10℃寿命会下降一半),除设置完善的通风冷却系统以保证变频器正常运行外,在选用上增大一级变频器容量,可使其在运行时温升有所下降。

5) 采用变频器控制高速电动机时,由于高速电动机的电抗小,谐波增加了输出电流值。因此,选择用于高速电动机的变频器时,应比普通电动机选择的变频器大一级。

6) 如果在变频调速系统中,为了扩大调速范围而必须选用多速电动机时,应使其最大额定电流在变频器的额定输出电流以下,在运行中不能改变极对数。因为多速电动机是用改变定子绕组接线方法改变极对数,实现调速目的。如果在变频器运行中改变电动机的绕组接线,就会引起很大的冲击电流,造成变频器过载跳闸,甚至烧毁的严重事故。所以,要安全切换多速电动机的绕组,必须要等到变频器停止输出后才能进行。

7) 在选择变频器时,一定要注意其防护等级是否与现场的情况相匹配,否则现场的灰尘、水汽会影响变频器的长期安全稳定运行。驱动防爆电动机时,因变频器没有防爆类型,应将变频器设置在危险场所之外。

8) 使用变频器驱动齿轮减速电动机时,使用范围受到齿轮转动部分润滑方式的制约。若为润滑油润滑时,在低速范围内没有限制;在超过额定转速的高速范围内,有可能发生齿轮减速机的机械和润滑故障。因此,不要超过齿轮减速机的最高转速容许值。

9) 变频器驱动绕线转子异步电动机时,由于绕线转子电动机与普通的笼型电动机相比,绕线转子电动机绕组的阻抗小,因此,容易发生由于纹波电流而引起的过电流保护动作。所以应选择比绕线转子电动机的容量大一级的变频器。一般绕线转子电动机多用于飞轮

力矩 GD^2 较大的场合, 应用中应结合实际工况设定加、减速时间。

10) 在可以使用单相电源的情况下, 三相小型电动机可选择“单相 220V 电源进线三相输出”的变频器, 电动机可由原三相 380V 的 Y 接法, 改为 Δ 接法, 功率与原使用状态相同, 这样选用更为经济。变频器输入端 R、S、T 与输出端 U、V、W 不能接错。变频器的输入端 R、S、T 是与三相整流桥输入端相连接, 而输出端 U、V、W 是与三相异步电动机相连接的晶体管逆变电路。若两者接错, 轻则不能实现变频调速, 电动机也不会运转, 重则烧毁变频器。

11) 在用变频器驱动同步电动机时, 与工频电源相比, 降低输出容量 10% ~ 20%, 变频器的连续输出电流要大于同步电动机额定电流与同步牵入电流标么值的乘积。对于同步电动机负载, 选择变频器的依据是电流、电压而不是功率。

12) 对于压缩机、振动机等转矩波动大的负载和油泵等有峰值负载的机械设备, 如果按照电动机的额定电流或功率值选择变频器, 有可能发生因峰值电流使过电流保护动作。因此, 应了解工频运行情况, 选择比其最大电流大的变频器。变频器驱动潜水泵电动机时, 因为潜水泵电动机的额定电流比普通电动机的额定电流大, 所以选择变频器时, 其额定电流要大于潜水泵电动机的额定电流。

13) 当为驱动罗茨风机的电动机选择变频器时, 由于其启动电流很大, 所以选择变频器时一定要注意变频器的容量是否足够大。

14) 单相电动机不适用变频器驱动。

15) 变频器与供电电源之间应装设带有短路及过载保护的断路器、交流接触器, 以免变频器发生故障时事故扩大。电控系统的急停控制应使变频器电源侧的交流接触器开断, 彻底切断变频器的电源供给, 保证设备及人身安全。变频器连接在大容量电源变压器 (500kVA 以上) 电网中, 或者在同一电源变压器上连接有晶闸管变流器而未使用换流电抗器, 或者同一电网上有功率改善用切换电容器组时, 应配置 AC 电抗器或 DC 电抗器, 它们也有改善变频器电源侧功率因数和降低输入谐波电流的效果。电网电压处于不正常时将危及变频器的安全运行, 如对 380V 的线电压, 若上升到 450V 就会造成变频器损坏, 因此对于电网电压超过使用手册规定范围的场合, 要使用变压器调整, 以确保变频器的安全。

16) 高海拔地区因空气密度降低, 散热器不能达到额定散热效果, 一般在 1000m 以上, 每增加 100m 容量下降 10%, 必要时可加大一级变频器容量, 以免变频器过热。

17) 当变频器为降低电动机噪声而将调制频率设置较高, 并超过出厂设置频率时, 会造成变频器损耗增大。设置频率越高, 损耗越大, 因此要适当减载。不同调制频率与负载率降低的关系如图 2-3 所示, 不同公司、不同系列的变频器会有差别, 但趋势是相似的。

18) 若用一台变频器驱动多台电动机时, 变频器容量应比多台电动机容量之和大, 并且只能选择 F 控制模式, 不能用矢量控制模式。因矢量控制模式只能对应一台变频器驱动一台电动机, 而且变频器的额定电流应等于或大于各台电动机的额定电流之和。

19) 当多台变频器的逆变单元共用一个整流、回馈单

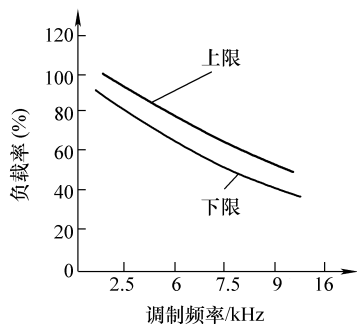


图 2-3 不同调制频率与负载率降低的关系

元时,即采用公共直流母线方式,有利于多台逆变器制动能量的储存和利用,此时整流、回馈单元的容量要足够大,并要设有防止变频器整流桥过载损坏的保护措施,在使用中,多台电动机不能同时制动。

20) 在起动、停止频繁的场所,不要用主电路电源的通、断来控制变频器的起动、停止,应使用变频器控制面板上的 RUN/STOP 键或 SF/SR 控制端子。因为变频器起动时,首先要给直流回路的大容量电解电容充电,如果频繁起动变频器势必造成电容充电用限流电阻发热严重,同时也缩短了大容量电解电容的使用寿命。

21) 变频器的端子“N”为中间直流回路的低电平端,严禁与三相四线制供电线路中的零线或大地相接,否则会造成三相整流桥因电源短路而损坏变频器。

22) 变频器的输出侧一般不能安装接触器,若必须安装,则一定要注意满足以下条件:变频器若正在运行中,严禁切换输出侧的接触器;要切换接触器必须等到变频器停止输出后才可以。因为,如果在变频器正常输出时切换输出侧的接触器,将会在接触器触点断开的瞬间产生很高的过电压而极易损坏变频器中的电力电子器件。因此,要切换变频器输出侧的接触器,一定要等到所控制的电动机完全停止以后。

23) 遇有内装制动单元而需外加制动电阻的变频器,一定要注意制动电阻的正确接线。制动电阻要接在 P 与 DB 之间,不能接在 P、N 之间,否则会造成变频器的逆变器在未运行时三相整流桥就满载工作,造成变频器无法正常工作,制动电阻也有烧毁的可能。

24) 机械制动器在变频调速系统中的正确使用。在脉宽调制(PWM)的变频器中,其输出频率与输出电压之比为一常数,即 $f/V = C$ 。在输出频率较低时,其输出电压也较低,如果机械制动器的电磁抱闸线圈接在 U、V、W 端,则在变频器低速时机械抱闸始终处于抱紧状态,变频器会因过载而跳闸,所以机械制动器的电磁线圈只能接在变频器的输入端 R、S、T 端。

25) 常规设计的自通风异步电动机在额定工况下及规定的环境温度范围内是不会超过额定温升的,但处于变频调速系统中,情况就有所不同。自通风异步电动机在 20Hz 以下运行时,转子风叶的冷却能力下降,若在恒转矩负载条件下长期运行,势必造成电动机温升增加,使调速系统的特性变坏。所以,当自通风异步电动机在低频运行并且拖动恒转矩负载时,必须采取强制冷却措施,改善电动机的散热能力,保证变频调速系统的稳定性。

2.1.2 变频器功率的选取

1. 变频器的容量

变频器的容量可从 3 个方面表示:额定电流、可用电动机功率和额定容量。其中,后两项是变频器生产厂家由本国或本公司生产的标准电动机给出,其随变频器输出电压而降低,都很难确切表达变频器的能力。不管是哪一种表示方法,归根到底还是对变频器额定电流的选择,应结合实际情况根据电动机有可能向变频器吸取的电流来决定。

选择变频器时,只有变频器的额定电流是一个反映半导体变频装置负载能力的关键量。负载电流不超过变频器额定电流是选择变频器容量的基本原则。在确定变频器容量前应仔细了解生产工艺设备的情况及电动机参数,例如潜水电泵、绕线转子电动机的额定电流要大于普通笼型异步电动机的额定电流,冶金工业常用的辊道电动机不仅额定电流大,同时它允许短时处于堵转工作状态,且辊道传动大多是多电动机传动。应保证在无故障状态下负载总电

流均不允许超过变频器的额定电流。通常变频器的过载能力有两种：

- 1) 1.2 倍的额定电流，可持续 1min。
- 2) 1.5 倍的额定电流，可持续 1min。

变频器的允许过电流与过载时间呈反时限的关系。如 1.2 (1.5) 倍的额定电流可持续 1min；而 1.8 (2.0) 倍的额定电流可持续 0.5min。这就意味着不论任何时候变频器向电动机提供的电流在 1min (或 0.5min) 的时限允许范围内。过载能力这个指标，对电动机来说，只有在起动 (加速) 过程中才有意义，在运行过程中，实际上等同于不允许过载。

变频器的额定功率指的是它适用的 4 极交流异步电动机的功率，由于同容量电动机，其极数不同，电动机的额定电流不同。随着电动机极数的增多，电动机的额定电流增大。变频器的容量选择不能以电动机的额定功率为依据。同时，对于原来未采用变频器的改造项目，变频器的容量选择也不能以电动机的额定电流为依据。因为，电动机的容量选择要考虑最大负载、富余系数、电动机规格等因素，往往电动机的容量富余量较大，工业用电动机常在 50% ~ 60% 额定负荷下运行。若以电动机额定电流为依据来选择变频器的容量，留有富余量太大，造成经济上的浪费，而可靠性并没有因此得到提高。

变频器与电动机的匹配主要还是电动机的额定电压及额定电流，如果电动机的额定电流小于同功率的变频器的额定电流，一般来说用同等功率的就足够了；如果电动机的额定电流大于同功率的变频器的额定电流，只好用大一级的变频器。另外，如果负载较重且起动频繁要考虑变频器容量放大一级，如用于高海拔或电动机接线太长要考虑变频器的输出能力，可能也要放大一级，并要采取相应的措施。

对于异步电动机，变频器的容量选择应以变频器的额定电流大于或等于电动机的最大正常工作电流的 1.1 倍为原则，这样可以最大限度地节约资金。对于重载起动、高温环境、绕线转子异步电动机、同步电动机等条件下，变频器的容量应适当加大。

2. 变频器容量的合理选择方法

变频器容量的选择是一个重要且复杂的问题，要考虑变频器容量与电动机容量的匹配，容量偏小会影响电动机有效力矩的输出，影响系统的正常运行，甚至损坏装置，而容量偏大则电流的谐波分量会增大，也增加了设备投资。变频器容量的选择可分以下三步：

- 1) 了解负载性质和变化规律，计算出负载电流的大小或做出负载电路图。
- 2) 预选变频器容量。
- 3) 校验预选变频器。必要时进行过载能力和起动能力的校验。若都通过，则预选的变频器容量便选定了；否则从 2) 步开始重新进行，直到通过为止。

在满足生产机械要求的前提下，变频器容量越小越经济。在选型前，首先要根据机械对转速 (最高、最低) 和转矩 (起动、连续及过载) 的要求，确定机械要求的最大输入功率 (即电动机的额定功率最小值)。

$$P = n \times T / 9550 (\text{kW}) \quad (2-6)$$

式中， P 为机械要求的输入功率 (kW)； n 为机械转速 (r/min)； T 为机械的最大转矩 ($\text{N} \cdot \text{m}$)。

然后，选择电动机的极数和额定功率。电动机的极数决定了同步转速，要求电动机的同步转速尽可能地覆盖整个调速范围，使连续负载容量高一些。为了充分利用设备潜能，避免浪费，可允许电动机短时超出同步速度，但必须小于电动机允许的最高速度。转矩应取设备

在起动、连续运行、过载或最高速等状态下的最大转矩。最后,根据变频器的输出功率和额定电流稍大于电动机的功率和额定电流确定变频器的参数与型号。需注意的是,变频器的额定容量及参数是针对一定海拔和环境温度而标出的,一般指海拔 1000m 以下,温度在 40℃ 或 25℃ 以下。若使用环境超出该规定,在变频器参数、型号确定前要考虑由此造成的降容因素。合理地选择变频器容量本身就是一种节能降耗措施。根据现有资料和经验,比较简便的方法有三种:

- 1) 电动机实际功率确定法。首先测定电动机的实际功率,以此来选用变频器的容量。
- 2) 公式法。设安全系数,通常取 1.05,则变频器的容量 P_b 为

$$P_b = 1.05 [P_m / (P_w \times \cos\varphi)] \quad (2-7)$$

式中, P_m 为电动机负载; P_w 为电动机功率; $\cos\varphi$ 为电动机功率因数。

计算出 P_b 后,按变频器产品目录选具体规格。当一台变频器用于多台电动机时,应考虑一台最大容量电动机起动电流的影响,以避免变频器过电流保护动作。

- 3) 电动机额定电流法。对于轻负载类,变频器的额定电流一般应按 $1.1I_N$ (I_N 为电动机的额定电流) 来选择,或按厂家在产品中标明的与变频器的输出功率额定值相配套的最大电动机功率来选择。

(1) 电动机连续运转时所需的变频器容量的计算

由于变频器输出给电动机的是脉冲电流,其脉动值比工频供电时电流要大,因此须将变频器的容量留有适当的余量。此时,变频器应同时满足以下 3 个条件:

$$\begin{aligned} P_{CN} &\geq \frac{KP_M}{\eta \cos\varphi} \\ I_{CN} &\geq KI_M \end{aligned} \quad (2-8)$$

$$P_{CN} > K\sqrt{3}U_M I_M$$

式中, P_M 为电动机输出功率; η 为效率 (取 0.85); $\cos\varphi$ 为功率因数 (取 0.75); U_M 为电压 (V)、 I_M 为电流 (A); K 为电流波形的修正系数 (PWM 方式取 1.05 ~ 1.1); P_{CN} 为变频器的额定容量 (kVA); I_{CN} 为变频器的额定电流 (A)。

电动机若由低频低压起动或由软起动器起动,变频器只用来完成变频调速时,要求变频器的额定电流稍大于电动机的额定电流即可:

$$I_{FN} \geq 1.1I_{MN} \quad (2-9)$$

式中, I_{FN} 为变频器的额定电流; I_{MN} 为电动机的额定电流。

电动机在额定电压、额定频率直接起动时,对三相电动机而言,由电动机的额定数据可知,起动电流是额定电流的 5 ~ 7 倍。因而得用下式来计算变频器的额定电流:

$$I_{FN} \geq I_{mst} / K_{Fg} \quad (2-10)$$

式中, I_{mst} 为电动机在额定电压、额定频率时的起动电流; K_{Fg} 为变频器的过载倍数。

(2) 加、减速时变频器容量的选择

变频器的最大输出转矩是由变频器的最大输出电流决定的,一般情况下,对于短时的加、减速而言,变频器允许达到额定输出电流的 130% ~ 150% (视变频器容量),因此,在短时加、减速时的输出转矩也可以增大;反之,如只需要较小的加、减速转矩时,可降低选择变频器的容量。由于电流的脉动原因,此时应将变频器的最大输出电流降低 10% 后再进行选择。

(3) 频繁加、减速运转时变频器容量的选择

很多情况下电动机的负载具有周期性变化的特点,在此情况下,按最小负载选择变频器的容量,将出现过载,而按最大负载选择,将是不经济的。由此推知,变频器的容量可在最大负载与最小负载之间适当选择,以便变频器得到充分利用而又不过载。

首先做出电动机负载电流图,然后求出平均负载电流 I_{av} 再预选变频器的容量, I_{av} 的计算公式如下:

$$I_{av} = (I_1 t_1 + I_2 t_2 + \cdots + I_j t_j + \cdots) \div (t_1 + t_2 + \cdots + t_j + \cdots) \quad (2-11)$$

式中, I_j 为第 j 段运行状态下的平均电流; t_j 为第 j 段运行状态下对应的时间。

考虑到过渡过程电动机从变频器吸收的电流要比稳定运行时大,而上述 I_{av} 没有反映过渡过程中的情况,因此,变频器的容量按 $I_{FN} \geq (1.1 \sim 1.2) I_{av}$ 修正后预选。若过渡过程在整个工作过程中占较大比重,则系数 $(1.1 \sim 1.2)$ 选偏大的值。

非周期性变化负载连续运行时,一般难以做出负载电流图,可按电动机在输出最大转矩时的电流计算变频器的额定电流:

$$I_{FN} \geq I_{M(max)} / K_{Fg} \quad (2-12)$$

式中, $I_{M(max)}$ 为电动机在输出最大转矩时的电流。

也可根据加速、恒速、减速等各种运行状态下的电流值 I_{1CN} 选择变频器的额定电流, I_{1CN} 的计算公式如下:

$$I_{1CN} = [(I_1 t_1 + I_2 t_2 + \cdots + I_n t_n) / (t_1 + t_2 + \cdots t_n)] K_0 \quad (2-13)$$

式中, I_{1CN} 为变频器的额定输出电流 (A); I_1 、 I_2 、 $\cdots$ 、 I_n 为各运行状态平均电流 (A); t_1 、 t_2 、 $\cdots$ 、 t_n 为各运行状态下的时间; K_0 为安全系数 (运行频繁时取 1.2, 其他条件下为 1.1)。

在计算出负载电流后,还应考虑以下三方面的因素:

- 1) 用变频器供电时,电动机电流的脉动相对工频供电时要大些。
- 2) 电动机的起动要求。即是由低频低压起动,还是额定电压、额定频率直接起动。
- 3) 变频器使用说明书中的相关数据是用标准电动机测试出来的,要注意按常规设计生产的电动机在性能上可能有一定差异,故计算变频器的容量时要留适当余量。

在电动机起动(加速)的过程中,电动机不仅要负担稳速运行的负载转矩,还要负担加速转矩,如果生产机械对起动(加速)时间无特殊要求,可适当延长起动(加速)时间来避让峰值电流。若生产机械对起动(加速)时间有一定要求,就要慎重考虑。

如前所述,变频器的允许电流与过程时间呈反时限关系。如果电动机起动(加速)时,其电流小于变频器的过载能力,则预选容量通过;如果电动机起动(加速)时,其电流已达到变频器的过载能力,而要求的加速时间又与变频器过载能力规定的时限发生冲突,这时变频器的容量应在预选容量的基础上增容。

(4) 一台变频器驱动多台电动机,且多台电动机并联运行时变频器容量的选择

用一台变频器驱动多台电动机并联运转时,对于已有几台电动机起动运行后,再起动的其他电动机的场合,此时变频器的电压、频率已经上升,电动机起动将产生大的起动电流,因此,变频器容量与同时起动时相比要大些。以变频器短时过载能力为 $150\% / \min$ 为例计算变频器的容量,此时若电动机加速时间在 $1\min$ 内,则应满足以下两式:

$$P_{CN} \geq \frac{2}{3} P_{CN1} \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right]$$

$$P_{CN} \geq \frac{2}{3} n_T I_M \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \quad (2-14)$$

若电动机加速时间在 1min 以上时, 则应满足以下两式:

$$P_{CN} \geq P_{CN1} \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right]$$

$$P_{CN} \geq n_T I_M \left[1 + \frac{n_S}{n_T} (K_S - 1) \right] \quad (2-15)$$

式中, n_T 为并联电动机的台数; n_S 为同时起动的台数; P_{CN1} 为连续容量 (kVA); $P_{CN1} = K P_M n_T / \eta \cos \varphi$ (P_M 为电动机输出功率; η 为电动机的效率 (约取 0.85); $\cos \varphi$ 为电动机的功率因数 (常取 0.75)) I_M 为电动机额定电流; K_S 为电流波形的修正系数 (PWM 方式取 1.05 ~ 1.10); P_{CN} 为变频器容量 (kVA)。

变频器驱动多台电动机, 但其中可能有一台电动机随时投入运行或随时退出运行, 此时变频器的额定输出电流可按式计算:

$$I_{ICN} \geq K \sum_{i=1}^J I_{MN} + 0.9 I_{MQ} \quad (2-16)$$

式中, I_{ICN} 为变频器额定输出电流 (A); I_{MN} 为电动机额定输入电流 (A); I_{MQ} 为最大一台电动机的起动电流 (A); K 为安全系数, 一般取 1.05 ~ 1.10; J 为余下的电动机台数。

一台变频器同时供多台电动机使用, 除了要考一拖一的几种情形外, 还可以根据以下两种情况区别对待:

1) 各台电动机均由低频低压起动, 在正常运行后不要求其中某台因故障停机的电动机重新直接起动, 这时变频器容量可按式计算:

$$I_{FN} \geq I_{M(\max)} + \sum I_{MN} \quad (2-17)$$

式中, $\sum I_{MN}$ 为其余各台电动机的额定电流之和; $I_{M(\max)}$ 为最大电动机的起动电流。

2) 一部分电动机直接起动, 另一部分电动机由低频低压起动。除了使电动机运行的总电流不超过变频器的额定输出电流之外, 还要考虑所有直接起动电动机的起动电流, 即:

$$I_{FN} \geq (\sum I_{Mst'} + \sum I_{MN'}) / K_{Fg} \quad (2-18)$$

式中, $\sum I_{Mst'}$ 为所有直接起动电动机在额定电压、额定频率下的起动电流总和; $\sum I_{MN'}$ 为全部电动机额定电流的总和。

(5) 电动机直接起动时所需变频器容量的计算

通常, 三相异步电动机直接用工频起动时起动电流为其额定电流的 5 ~ 7 倍, 对于电动机功率小于 10kW 的电动机直接起动时, 可按式选取变频器:

$$I_{ICN} \geq I_K / K_g \quad (2-19)$$

式中, I_K 为在额定电压、额定频率下电动机起动时的堵转电流 (A); K_g 为变频器的允许过载倍数, $K_g = 1.3 \sim 1.5$ 。

(6) 大惯性负载起动时变频器容量的计算

变频器过载容量通常为 125%、60s 或 150%、60s, 需要超过此过载容量时, 必须增大变频器的容量。在这种情况下, 一般按下式计算变频器的容量:

$$P_{CN} \geq \frac{K n_m}{9550 \eta \cos \varphi} \left(T_L + \frac{GD^2}{375} \times \frac{n_m}{t_A} \right) \quad (2-20)$$

式中, GD^2 为换算到电动机轴上的转动惯量值 ($N \cdot m^2$); T_L 为负载转矩 ($N \cdot m$); η 为电动机的效率 (取 0.85); $\cos\varphi$ 为功率因数 (取 0.75); n_m 为额定转速 (r/min); t_A 为电动机加速时间 (s), 由负载要求确定; K 为电流波形的修正系数 (PWM 方式取 1.05 ~ 1.10); P_{CN} 为变频器的额定容量 (kVA)。

(7) 轻载电动机变频器的选择

电动机的实际负载比电动机的额定输出功率小时, 多认为可选择与实际负载相称的变频器容量, 但是对于通用变频器, 即使实际负载小, 选用比电动机额定功率小的变频器并不理想, 这主要是由于以下原因;

1) 电动机在空载时也流过额定电流的 30% ~ 50% 的励磁电流。

2) 起动时流过的起动电流与电动机施加的电压、频率相对应, 而与负载转矩无关, 如果变频器容量小, 此电流超过过电流容量, 则往往不能起动。

3) 电动机容量大, 则以变频器容量为基准的电动机漏抗百分比变小, 变频器输出电流的脉动增大, 因而过电流保护容易动作, 往往不能正常运转。

4) 电动机用通用变频器起动时, 其起动转矩同用工频电源起动相比多数变小, 根据负载的起动转矩特性, 有时不能起动。另外, 在低速运行区的转矩有比额定转矩减小的倾向, 若选定的变频器不能满足负载所要求的起动转矩和低速区转矩时, 变频器的容量还需要再加大。

3. 变频器选型示例

1) 恒压供水系统, 电动机额定功率 30kW, 额定电压 380V, 额定电流 57A。恒压供水系统的负载类型为变转矩负载, 可选用 MM430 型变频器, 额定功率 30kW, 额定电压 380 ~ 480V, 额定输出电流为 62A。MM430 型变频器具有 PID 控制器、多泵切换、节能模式等功能可方便地实现恒压供水等系统的应用; 无内置滤波器: 6SE6430 - 2UD33 - 0DA0, 带 A 级内置滤波器: 6SE6430 - 2AD33 - 0DA0。

2) 皮带传送系统, 电动机额定功率 7.5kW, 额定电压 380V, 额定电流 14.3A。皮带传送系统为恒转矩负载, 根据功率大小可选用 MM420 (或 MM411) 及 MM440 型变频器。MM420/MM440 型变频器的额定功率, 7.5kW, 额定电压 380 ~ 480V, 额定输出电流为 18.4A/19A。MM420 无内置滤波器: 6SE6420 - 2UD27 - 5CA1, MM440 无内置滤波器: 6SE6440 - 2UD27 - 5CA1。

3) 提升机, 电动机额定功率 37kW, 额定电压 380V, 额定电流 68A, 2.5 倍过载。提升机在下降时, 由于电动机运行在发电状态下, 将有能量回馈至变频器, 需加装制动电阻, 故应选用 MM440 型变频器 (若所选变频器功率大于 90kW, 还需另外增加制动单元)。首先计算变频器电流, 因 MM440 型变频器的最大过载能力为 2 倍, 故变频器额定电流应大于: $68 \times 2.5 / 2 = 85A$, 37kW 的 MM440 型变频器的额定输出电流为 75A, 故应放大一档, 即选用 45kW 的 MM440 型变频器, 额定电压 380 ~ 480V, 额定电流 90A, 这样就可以满足电动机过载要求。制动电阻需根据制动功率及制动周期选择。MM440 型变频器无内置滤波器: 6SE6440 - 2UD34 - 5FA1, MM440 带内置滤波器: 6SE6440 - 2AD34 - 5FA1。

4) 一拖多的选型, 一台变频器拖动 4 台 1.5kW 电动机, 单台电动机电流为 3.4A, 电压为 380V, 负载为恒转矩负载。一拖多的选型在总电缆长度未超标的情况下, 可按变频器额定电流的 80% 选型: $3.4 \times 4 / 0.8 = 17A$, 所以可选用 7.5kW 的 MM420 或 MM440 型变频器。MM420 无内置滤波器: 6SE6420 - 2UD27 - 5CA1, MM440 无内置滤波器: 6SE6440 -

2UD27-5CA1。

4. 变频器箱体结构的选用

变频器的箱体结构要与环境条件相适应,即必须考虑温度、湿度、粉尘、酸碱度、腐蚀性气体等因素,这些因素与能否长期、安全、可靠运行有很大关系。常见的变频器箱体有下列几种结构类型可供设计时选用:

1) 敞开型 IP00。本身无机箱,它从正面保护人体不能触摸到变频器内部的带电部分,适用于装在电控箱内或室内的屏、盘、架上,尤其是多台变频器集中使用时,选用这种形式较好,但环境条件要求较高。

2) 封闭型 IP20、IP21。这种防护结构的变频器四周都有外罩,可在建筑物内的墙上壁挂式安装,它适用于大多数的室内安装环境,可用于有少量粉尘或少许温度、湿度变化的场合。

3) 密封 IP40、IP42、IP45、IP55 型的变频器具有防尘、防水的防护结构,适用于工业现场环境条件差,有水淋、粉尘及一定腐蚀性气体的场合。

4) 密闭 IP65 型的变频器适用于环境条件差,有水、尘及一定腐蚀性气体的场合。

2.2 变频器选用件的特点和应用

2.2.1 变频调速系统的制动选件

1. 变频调速系统的运行状态

不少生产机械在运行过程中需要快速地减速或停车,而有些设备在生产中要求保持若干台设备前后一定的转速差或者拉伸率,这时就会产生发电制动问题,使电动机运行在第二或第四象限。而对于变频器,如果输出频率降低,电动机转速将跟随频率同样降低,这时会产生制动过程,由制动产生的再生能量将返回到变频器直流单元,这些功率可以用电阻发热消耗或反馈回电网。为了改善变频系统的制动能力,不能依靠增加变频器的容量来解决再生能量问题,需要选用制动电阻、制动单元或功率再生变换器等选件来改善变频器的制动能力。在变频调速系统减速期间,产生的再生能量如果不通过热消耗的方法消耗掉,而是把能量返回送到变频器电源侧的方法叫做“再生能量回馈法”。在实际应用中实现“再生能量回馈”需要“能量回馈单元”选件。

然而在实际应用中,由于大多数通用变频器都采用电压型控制方式,其中间直流环节有大电容器钳制着直流电压,使之不能迅速反向。另外,变频器整流回路通常采用不可控整流桥,不能使电流反向,因此要实现回馈制动和四象限运行就比较困难。

图 2-4 所示为变频器调速系统的两种运行状态,即电动和发电状态。在变频调速系统中,电动机的降速和停机是通过逐渐减小频率来实现的。在频率减小的瞬间,电动机的同步转速随之下降,而由于机械惯性的原因,电动机的转子转速未变。当同步转速 ω_1 小于转子转速 ω 时,转子电流的相位几乎改变了 180° ,电动机从电动状态转变为发电状态;与此同时,电动机轴上的转矩变成了制动转矩 T_e ,使电动机的转速迅速下降,电动机处于再生制动状态。电动机再生的电能经逆变单元的续流二极管全波整流后反馈到直流电路。由于直流电路的电能无法通过整流桥回馈到电网,仅靠变频器本身的电容器吸收,虽然其他部分能消耗电能,但电容器仍有短时间的电荷堆积,形成“泵升电压”,使直流电压 U_d 升高。过高的

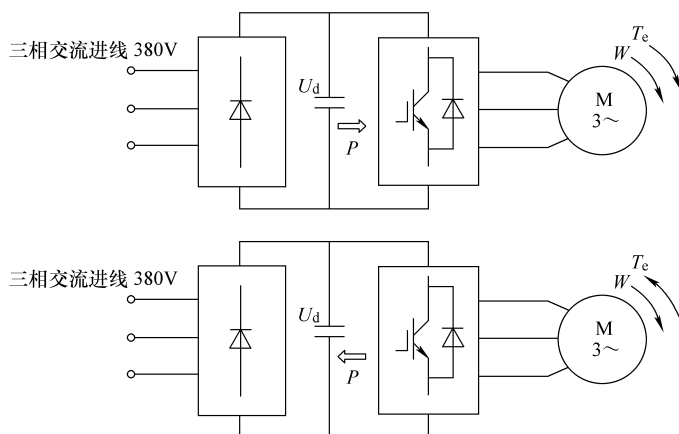


图 2-4 变频器调速系统的两种运行状态

直流电压将使各部分器件受到损害。因此，在负载处于发电制动状态时，必须采取措施处理这部分再生能量。通用电压型变频器只能运行于一、三象限，即电动状态，因此在以下应用场合，必须考虑配套使用制动方式：

- 1) 电动机拖动大惯量负载（如离心机、龙门刨、巷道车、行车的大小车等）并要求急剧减速或停车。
- 2) 电动机拖动位能负载（如电梯、起重机、矿井提升机等）。
- 3) 电动机经常处于被拖动状态（如离心机副机、造纸机导纸辊电动机、化纤机械牵伸机等）。

以上几类负载的共同特点是要求电动机不仅运行于电动状态（一、三象限），而且要运行于发电制动状态（二、四象限）。为使系统在发电制动状态能正常工作，必须采取适当的制动方式。

2. 共用直流母线系统方案

在同一个电力拖动系统中的一个或多个传动单元，有时电动机会运行在发电状态，并将再生能量反馈到变频器中来，这种现象叫“再生能量”。这种情况一般发生在电动机被机械设备惯性拖动的时候（也就是被一个远远高于设定值的速度拖动的时候），或是当驱动电动机发生制动以提供足够的张力的时候（如放卷系统中的传动电动机）。

通用变频器在设计上不具有再生能量反馈到三相电源的功能，因此所有变频器从电动机吸收的能量都会保存在电容器中，最终导致变频器中的直流母线电压升高。如果变频器配备制动单元和制动电阻，变频器就可以通过短间接通电阻，使电能以热方式消耗掉。当然只要充分考虑到制动时最大的电流容量、负载周期和消耗到制动电阻上的额定功率就可以设计或选择合适的制动单元，并以连续的方式消耗电能，最终能够保持直流母线电压的平衡。这种制动单元的工作方式就是消耗能量的一种能耗制动。

如果有多台变频器通过直流母线互连，一个或多个电动机产生的再生能量就可以被其他电动机以电动的方式消耗吸收。这是一种非常有效的工作方式，即使有多个部位的电动机一直处于连续发电状态，也不用考虑采取处理再生能量的工作方式。在这种方式下，如果生产

机械设备仍需要一个更快刹车或紧急停止的状态,那就需要再加上一个一定容量的制动单元和制动电阻以便在需要时工作,若与能量回馈装置组合就可以充分地将在直流母线上的多余能量直接反馈到电网中来,以提高系统的节能效果。

(1) 变频器共用直流母线方案

对于通用变频器而言,采用共用直流母线很重要的一点就是在共用直流母线上电时必须充分考虑到变频器的控制、传动系统故障、负载特性和输入主回路保护等。图 2-5 所示为一种应用比较广泛的共用直流母线方案。该方案包括三相进线(保持同一相位)、直流母线、通用变频器组、公共制动单元(或采用能量回馈装置)和一些附属元件。该方案具有以下特点:

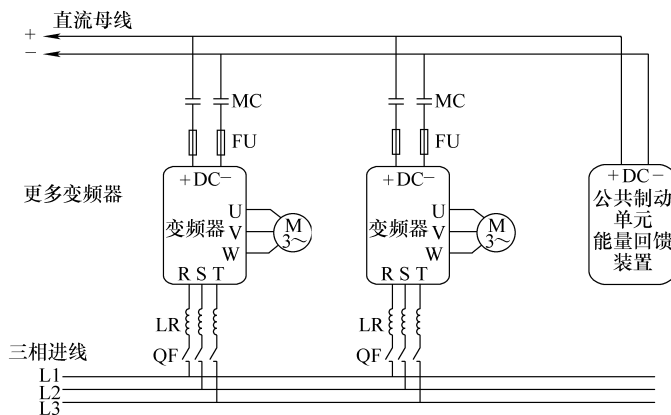


图 2-5 通用变频器共用直流母线方案

- 1) 使用一个完整的变频器,而不是单纯使用传统意义上的整流桥加多个逆变器方案。
- 2) 不需要有分离变频器的整流桥、充电单元、电容组和逆变器。
- 3) 每一个变频器都可以单独从直流母线中分离出来而不影响其他系统。
- 4) 通过联锁接触器来控制变频器的直流环节接入到共用直流母线上。
- 5) 采用快速熔断器来保护接在公共直流母线上的变频器的电容单元。
- 6) 所有接在公共直流母线上的变频器必须使用同一个三相交流电源。

在图 2-5 中, QF 是每个变频器的进线保护装置,它应该采用带辅助触点的空气开关,因为直流接触器 MC 的接通必须同时满足 QF 的辅助触点闭合和变频器运行状态正常这两个条件,否则 MC 就断开。

LR 为进线电抗器,由于实际工作现场的复杂环境往往会导致电网参数的波动并产生谐波,使用进线电抗器就能有效地避免这些因素对变频器的影响,也可用于增加电源阻抗并吸收附近设备投入工作时产生的浪涌电压和主电源的电压尖峰,从而最终保护变频器的整流单元。

为确保变频器上电后顺利地接到公共直流母线上,或是在变频器故障后快速地与公共直流母线断开以进一步缩小变频器故障范围,使用在该系统的变频器必须具有 DC24V 信号或无源触点信号输出,其输出信号至少包括:

- 1) READY 信号:该信号输出有效则表示变频器无故障,母线电压正常,可以接受启动命令。
- 2) FAULT 信号:该信号输出表示变频器故障。

FU 为快速熔断器, 额定电压通常可选 DC700V, 如 Bussman 的 FWP 系列; Gouldshawmut 的 A70P 系列, 额定电流必须考虑到驱动电动机在电动或制动时的最大能量, 一般情况下以额定负载的 125% 电流即可。

MC 为 2P 直流接触器, 如 ABB 的 EHDB 系列, 额定电压为 DC650V, 其额定电流同样需根据驱动电动机制动时的最大电流来选取, 一般情况下可以选额定负载的 120% 电流。

(2) 共用直流母线的应用

通用变频器的共用直流母线方案目前已经在工业领域的很多机械设备上得到广泛应用, 不仅整机 (设备加电气) 故障率低, 而且能最大程度地节能, 更具有环保的意义。

1) 双电动机驱动。双电动机驱动电路如图 2-6 所示, 与主动设备相连的电动机处于电动工作状态为主电动机, 与从动设备相连的电动机由于转鼓差速的作用始终处于发电状态的为副电动机。主、副电动机各用一台普通变频器驱动, 采用公共直流母线方案, 较好地解决了副电动机持续发电的再生能量问题, 并达到了节能的效果。

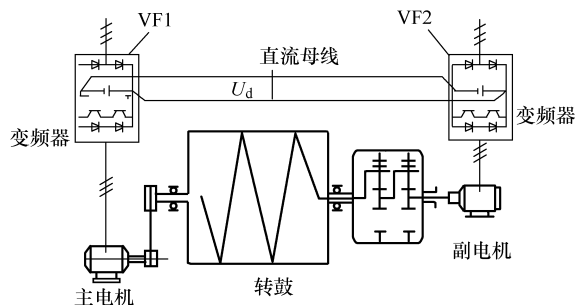


图 2-6 双电动机驱动电路

2) 多电动机驱动。多电动机驱动设备通常包括几个主要的传动电动机, 例如纺织机械通常有一道、二道、三道牵伸和卷曲, 它们需要同步运行。在同步时, 一道牵伸 M1 和二道牵伸 M2 为保持一定牵伸比必须处于发电状态, 而三道牵伸 M3 和卷曲 M4 则处于电动状态。M1 和 M2 发电是由于三道牵伸的电动状态所引起的, 该两台电动机所产生的回馈能量足以消耗到处于电动状态下的 M3 和 M4 中, 而不会引起直流回路母线电压的升高, 这样通过图 2-7 接线就可以解决再生能量的制动问题, 从而使系统始终处于比较稳定的状态。

在图 2-7 中, 能量传递的公式为: $P_0 = P_3 + P_4 - P_1 - P_2$ 。很显然, 公共直流母线方案将大大降低能量损耗。多电动机驱动设备采用共用直流母线的控制方式, 具有以下显著的特点:

1) 共用直流母线可以大大减少制动单元的重复配置, 结构简单合理, 经济可靠。

2) 共用直流母线的中间直流电压恒定, 由于各变频器的直流环节并联电容器的储能容量较大。

3) 各电动机工作在不同的状态

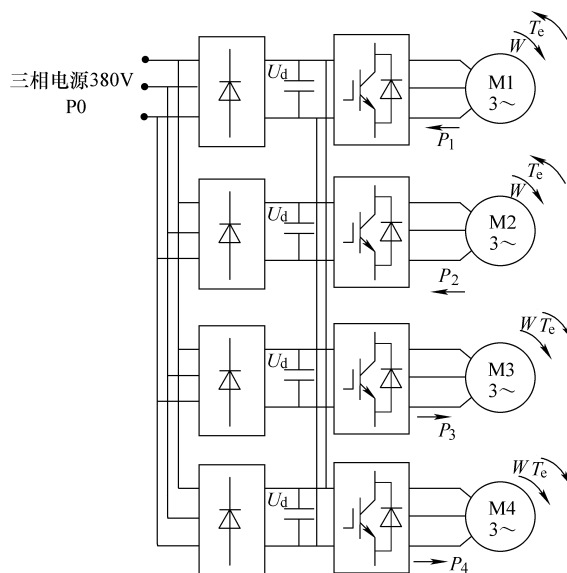


图 2-7 共用直流母线方案在化纤设备上的应用

下, 能量回馈互补, 优化了系统的动态特性, 并使系统具有较高的节能效果。

3. 能耗制动

能耗制动采用的方法是在变频器直流侧设置制动单元组件, 将再生电能消耗在制动电阻上来实现制动。能耗制动的制动单元、制动电阻的连接方式如图 2-8 所示。这是一种处理再生能量的最直接、简单的方法, 它将再生能量通过专门的能耗制动电路消耗在电阻上, 转化为热能, 因此又被称为电阻制动。它包括制动单元和制动电阻两部分。

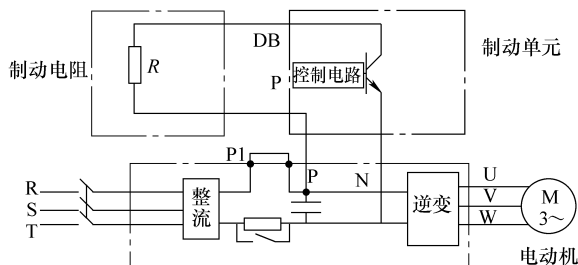


图 2-8 能耗制动的制动单元、制动电阻的连接方式

(1) 制动单元

制动单元的功能是当直流回路的电压 U_d 超过规定的限值时, 接通耗能电路, 使直流回路的能量通过制动电阻后以热能的方式释放能量。制动单元可分内置式和外置式两种, 内置式适用于小功率的通用变频器, 外置式则适用于大功率变频器或是对制动有特殊要求的工况。从原理上讲, 两者并无区别, 制动单元都是作为接通制动电阻的“开关”, 它包括功率管、电压采样比较电路和驱动电路。

(2) 制动电阻

制动电阻是用于将电动机的再生能量以热能的方式消耗的载体, 它包括电阻阻值和功率容量两个重要的参数。通常在工程上选用较多的是波纹电阻和铝合金电阻: 波纹电阻采用表面立式波纹, 有利于散热减低寄生电感量, 并选用高阻燃无机涂层, 有效保护电阻丝不被老化, 延长了使用寿命; 铝合金电阻的耐气候性、耐震动性, 优于传统瓷骨架电阻, 广泛应用于要求高的恶劣环境, 易紧密安装、易附加散热器, 外形美观。

(3) 制动过程

能耗制动的过程如下: 当电动机在外力作用下减速、反转时 (包括被拖动), 电动机即以发电状态运行, 能量反馈回直流回路, 使母线电压升高; 制动单元采样母线电压, 当直流电压到达制动单元设置的导通值时, 制动单元的功率开关管导通, 电流流过制动电阻; 制动电阻将电能转换为热能, 电动机的转速降低, 直流母线电压也降低; 当母线电压降至制动单元设定的关断值时, 制动单元的功率管截止, 制动电阻无电流流过。

(4) 安装要求

1) 制动单元与变频器之间, 以及制动单元与制动电阻之间的配线距离要尽可能短 (线长在 2m 以下), 导线截面要满足制动电阻泄放电流的要求。

2) 制动单元在工作时, 制动电阻将大量发热, 应使制动电阻有良好的散热条件, 连接制动电阻的导线要使用耐热导线, 导线勿触及制动电阻。

3) 制动电阻应使用绝缘挡片固定牢固, 安装位置要确保良好散热, 制动电阻柜内安装

时应将制动电阻安装在变频柜的顶部。

(5) 制动单元与制动电阻的选配

1) 制动转矩可按式计算：

$$M_Z = \frac{(GD + GD')(V_Q - V_H)}{375t_j} - M_{FZ} \quad (2-21)$$

式中, M_Z 为制动转矩; GD 为电动机转动惯量; GD' 为电动机负载折算到电动机侧的转动惯量; V_Q 为制动前速度; V_H 为制动后的速度; M_{FZ} 为负载阻转矩; t_j 为减速时间。

在一般情况下, 在进行电动机制动时, 电动机内部存在一定的损耗, 约为额定转矩的 18% ~ 22%, 为此计算出所需的制动转矩小于电动机额定转矩的 18% ~ 22% 就无需接制动装置。

2) 制动电阻的阻值可按式计算：

$$R_Z = \frac{U_Z^2}{0.147(M_Z - 20\% M_e)V_Q} \quad (2-22)$$

式中, R_Z 为制动电阻值; U_Z 为制动单元动作电压值; M_e 为电动机额定转矩。

在制动单元的工作过程中, 直流母线的电压的升降取决于常数 RC , R 为制动电阻的阻值, C 为变频器内部电容的容量。

制动电阻的阻值太大, 制动不迅速, 太小了制动用开关元件很容易损坏。一般当负载惯量不太大时, 认为电动机制动时最大有 70% 的能量消耗于制动电阻, 30% 的能量消耗于电动机本身及负载的各种损耗上, 此时制动电阻为

$$0.7P = \frac{U_C^2}{R \times 10^3} \text{ 或 } R = \frac{U_C^2}{0.7P \times 10^3} \quad (2-23)$$

式中, P 为电动机功率 (kW); U_C 为制动时母线上的电压 (V); R 为制动电阻 (Ω)。

当三相电压为 380V 时, $U_C \approx 700V$, 单相电压为 220V 时, $U_C \approx 390V$, 三相 380V 时制动电阻阻值为

$$R = \frac{U_C^2}{0.7P \times 10^3} = \frac{700^2}{0.7P \times 10^3} = \frac{700}{P} \quad (2-24)$$

单相 220V 时制动电阻阻值为

$$R = \frac{U_C^2}{0.7P \times 10^3} = \frac{390^2}{0.7P \times 10^3} = \frac{217}{P} \quad (2-25)$$

低频率制动的制动电阻的耗散功率一般为电动机功率的 1/5 ~ 1/4, 在频繁制动时, 耗散功率要加大。部分小容量变频器的内部装有制动电阻, 但在高频度或重力负载制动时, 内置制动电阻的散热量不足, 容易损坏, 此时要改用大功率的外接制动电阻。各种制动电阻都应选用低电感结构的电阻; 连接线要短, 并使用双绞线或平行线, 采取低电感措施是为了防止和减少电感能量加到制动开关管上, 造成制动开关管损坏。如果回路的电感大、电阻小, 将会造成制动开关管损坏。

制动电阻与使用电动机的飞轮转矩有密切关系, 而电动机的飞轮转矩在运行时是变化的, 因此准确计算制动电阻比较困难, 通常情况是采用经验公式取一个近似的值。

$$R_Z \geq (2 \times U_D) / I_e \quad (2-26)$$

式中, I_e 为变频器额定电流; U_D 为变频器直流母线电压。

3) 制动单元的选择。在进行制动单元的选择时, 制动单元工作的最大电流是选择的唯一依据, 其计算公式如下:

$$I_{PM} = \frac{U_M}{R_Z} \quad (2-27)$$

式中, I_{PM} 为制动电流瞬时值; U_M 为制动单元直流母线电压。

4) 计算制动电阻的标称功率。由于制动电阻为短时工作制, 因此根据电阻的特性和技术指标, 一般可用下式求得

$$P_B = K P_{av} \eta \% \quad (2-28)$$

式中, P_B 为制动电阻标称功率; K 为制动电阻降额系数; P_{av} 为制动期间的平均消耗功率; η 为制动使用率。

各变频器生产厂家为了减少制动电阻的阻值档次, 常对若干种不同容量的电动机提供相同阻值的制动电阻。因此, 在制动过程中所得到的制动转矩的差异是较大的。Y 系列的 4 极电动机的 I_B/I_{MN} 、 T_B/T_{MN} 参数见表 2-2。

表 2-2 Y 系列的 4 极电动机的 I_B/I_{MN} 、 T_B/T_{MN} 参数

P_{MN}/kW	I_{MN}/A	I_B/I_{MN}	T_B/T_{MN}
22	42.5	0.82	1.64
30	56.8	0.62	1.24
37	69.8	0.50	1.00

2.2.2 电抗器和滤波器选件

由于变频器是通过 6 组脉宽可调的 SPWM 波控制三相 6 组功率元件导通、关断, 从而形成电压、频率可调的三相输出电压, 其输出电压和输出电流是由 SPWM 波和三角载波的交点产生的, 不是标准的正弦波, 包含较强的谐波成分, 将对同一电网上的其他用电设备产生很强的干扰, 甚至造成不能使用; 同时由于其他设备起动或工作时对电网造成冲击, 或电网自身出现的电压波动、浪涌对变频器也产生干扰, 影响其正常工作, 甚至造成变频器损坏。

大量工程实践证明, 为了减小变频器对其他设备和电网的干扰, 同时防止电网和其他干扰源对变频器的干扰, 在变频器的输入、输出端配置滤波器、交流电抗器、平波电抗器等抗干扰设备是有效地抑制干扰的措施。变频调速系统采用的电抗器分为铁心电抗器与铁氧体电抗器, 两者的最佳应用条件是:

1) 铁心电抗器适用于频率在 50 ~ 200Hz 的变频调速系统, 作为进线电抗器及输出电抗器。

2) 铁氧体电抗器适用于异步电动机额定频率 (弱磁频率) 为 200Hz, 最大频率为 300Hz, 磁阻电动机或永磁同步电动机、最大频率为 600Hz 的变频调速系统, 作为进线电抗器及输出电抗器。

1. 输入电抗器

变频器将电网的交流电压转变为直流电压经整流后都经电容器滤波, 电容器的使用使输

入电流呈尖峰脉冲状,当电网阻抗小时,这种尖峰脉冲电流极大,造成很大的谐波干扰,并使变频器整流桥和电容器容易损坏。输入电抗器串联在电源进线与变频器输入侧(R、S、T),用于抑制输入电流的谐波,减少电源浪涌对变频器的冲击,改善三相电源的不平衡性,提高输入电源的功率因数(提高到0.75~0.85)。交流变频调速系统输入侧设置的交流电抗器或EMC滤波器,应根据变频器安装场所的其他用电设备对电网品质的要求(若变频器工作时已影响这些设备正常运行,可在变频器输入侧设置交流电抗器或EMC滤波器),来抑制由功率元件通断引起的谐波和传导辐射。若与变频器连接的电网的变压器中性点不接地,则不能选用EMC滤波器。

电源侧的交流输入电抗器用于改善输入电流波形,提高整流器和滤波电容器的寿命,减少不良输入电流波形对电网的干扰,协调同一电源网上晶闸管变换器造成的波形影响,减少功率切换和三相不平衡的影响,因此也称为电源协调电抗器,输入电抗器 L_{AI} 能够限制电网电压突变和操作过电压引起的电流冲击,有效地保护变频器和改善其功率因数。变频调速系统接入与未接入输入电抗器时,输入电网的谐波电流的情况如图2-9所示。从图2-9可以看出,接入电抗器后能有效地抑制谐波电流。电抗器的作用是防止变频器产生的谐波通过电源的输入回路返回到电网从而影响其他用电设备。

根据运行经验,在下列场合应考虑安装输入电抗器,才能保证变频器安全可靠的运行。

1) 变频器所接电源的容量与变频器容量之比为10:1以上,电源容量为600kVA及以上,且变频器安装位置离大容量电源在10m以内。需要安装进线电抗器的电源如图2-10所示。

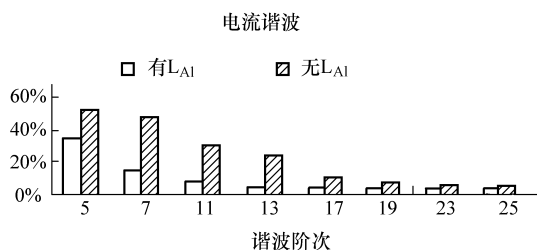


图 2-9 输入电网的谐波电流的情况

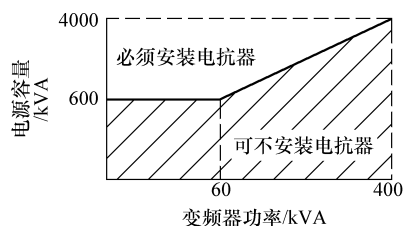


图 2-10 需要安装进线电抗器的电源

2) 三相电源电压不平衡率大于3%，电源电压不平衡率 K 可按式计算：

$$K = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_p} \times 100\% \quad (2-29)$$

式中, $U_{\max}$ 为最大一相电压; $U_{\min}$ 为最小一相电压; U_p 为三相平均电压。

3) 其他晶闸管整流装置与变频器共用同一进线电源,或进线电源端接有通过开关切换调整功率因数的电容器装置。

(1) 输入电抗器容量的选择

输入电抗器的容量可按预期在电抗器每相绕组上的压降来决定。一般选择压降为网侧相电压的2%~4%,也可按表2-3的数据选取。

输入电抗器的电感量 L 可按式计算:

$$L = \Delta U_L / (2\pi f I_n) = 0.04 U_V / (2\pi f I_n) \quad (2-30)$$

表 2-3 网侧输入电抗器的压降

交流输入线电压 $\sqrt{3}U_V$	电抗器额定电压降 $\Delta U_L = 2\pi f L I_n$
230	5
380	8.8
460	10

式中, U_V 为交流输入相电压有效值 (V); ΔU_L 为电抗器额定电压降 (V); I_n 为电抗器额定电流 (A); f 为电网频率 (Hz)。

输入电抗器的电感量 L 也可由下面的公式计算:

$$L = (2\% \sim 5\%) U / 6.18fI \quad (2-31)$$

式中, U 为额定电压 (V); I 为额定电流 (A); f 为最大频率 (Hz)。

输入电抗器的压降不宜取得过大, 压降过大会影响电动机转矩。一般情况下选取进线电压的 4%, 在较大容量的变频器中, 如 75kW 以上可选用 4.5% 的压降。

(2) 输入电抗器的额定电流 I_L 的选用

单相变频器配置的输入电抗器的额定电流 I_L , 按等于变频器的额定电流 I_N 选取; 三相变频器配置的输入电抗器的额定电流 I_L , 按变频器的额定电流 $I_N \times 0.82$ 选取。电压型变频器电源侧交流电抗器的电感量, 采用 3% 阻抗即可使总谐波电流畸变下降到原先的 44% 左右。选用 2% ~ 4% 的压降阻抗是对相电压而言, 即:

$$U_D = \frac{\Delta U}{U_P} = \frac{\Delta U}{U_N / \sqrt{3}} \times 100\% \quad (2-32)$$

式中, ΔU 为电压压降; U_P 为相电压; U_N 为线电压。

三相时, 输入侧交流电抗器的电感值为

$$L_{1A1} \approx \frac{2 \sim 4}{100} \times \frac{U_N \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi f \times I_{L\max}} \quad (2-33)$$

式中, $I_{L\max}$ 为电感流过的最大电流。

例如: 对 380V、90kW、50Hz、170A 的变频器, 需要配置输入侧交流电抗器的电感量为

$$L_{1A1} \approx \frac{2 \sim 4}{100} \times \frac{380 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi 50 \times I_{L\max}} = (0.082 \sim 0.164) \text{mH}$$

可以选择工作电流为 170A, 电感值在 0.123mH 左右的电抗器。在工程设计中需考虑电感值和电流值两方面, 电流值一定要大于等于额定值, 电感值略偏大有利于减少谐波, 但电压降会超过 3%。设计中还要考虑电源内部阻抗, 电源变压器功率大于 10 倍变频器功率, 而且线路很短的场合, 电源内阻小, 不仅需要使用输入侧交流电抗器, 而且要选择较大的电感值, 例如选用 4% ~ 5% 阻抗的电感量。

2. 输出电抗器

变频器的输出是经 PWM 调制的电压波, 调制波形如图 2-11 所示。由于电动机绕组的电感性质能使电流连续, 因此电流基本上是正弦形的, 脉冲宽度调制 (PWM) 有着陡峭的电压上升和下降的前后沿, 即 du/dt 很大, 使得输出引线向外发射含量极大的电磁干扰, 并

且在引出线对地、电动机绕组匝间、绕组对地间都产生很大的脉冲电流。

为了减轻变频器输出 du/dt 对外界的干扰,降低输出波形畸变,达到环保标准,减少对电动机绕组的电压冲击造成绝缘损坏,降低电动机的温升和噪声,避免在变频器输出功率晶体管上因 du/dt 和流过过大的脉冲冲击电流使功率管损坏,以及降低负载短路对变频器造成的损伤,有必要在变频器输出端增设交流电抗器。

值得指出的是脉冲电压通过长的输电线时,由于长线上波的反射叠加使得在长线(即变频器输出导线)超过临界长度后,电压有可能达到直流母线(变频器内直流母线)电压的 2 倍。因此变频器输出线长度受到了限制,为解除这种限制,必须接入输出侧交流电抗器。接入后,送到电动机等负载上的波形接近正弦电压波形。

当变频器和电动机之间的接线超长时,随着变频器输出电缆的长度增加,其分布电容明显增大,从而造成变频器逆变输出的容性尖峰电流过大,引起变频器保护动作,因此必须使用输出电抗器或 du/dt 滤波器或正弦波滤波器等装置对这种容性尖峰电流进行限制。

输出滤波电抗器用于补偿在电动机电缆长距离敷设时引起的线路电容充电电流,也可抑制谐波。在多电动机传动时,可接入一台输出滤波电抗器,总电缆长度是每台电动机电缆长度的总和。

输出电抗器串联在变频器输出侧(U、V、W)和电动机之间,限制电动机连接电缆的容性充电电流和电动机绕组的电压上升率,减小变频器功率元件动作时产生的干扰和冲击。在变频器与负载电动机之间连接电缆超过 50m 时应配置输出电抗器。在变频器的输出侧使用交流电抗器可平滑滤波,减少瞬变电压 du/dt 的影响,并可得到以下的改善:

- 1) 降低了电动机的噪声。
- 2) 降低了输出谐波造成的漏电流。
- 3) 减少了电磁干扰。
- 4) 保护了变频器内部的功率开关器件。
- 5) 延长了电动机的绝缘寿命。

输出电抗器有助于改善变频器的过电流和过电压,变频器和电动机之间采用长电缆或向多电动机供电时,由于变频器工作频率高,连接电缆的等效电路成为一个大电容,而引起下列问题:

- 1) 电缆对地电容给变频器额外增加了峰值电流。
- 2) 由于高频瞬变电压,给电动机绝缘额外增加了瞬态电压峰值。

输入电抗器 L_{A1} 、输出电抗器 L_{A2} 和直流电抗器 L_{DC} 在变频调速系统中的连接如图 2-12 所示。输出电抗器的主要作用是补偿长线分布电容的影响,并能抑制变频器输出的谐波,起到减小变频器噪声的作用。有些变频器产品使用说明书中提供了有输出电抗器与无输出电抗器时,连接电动机的导线允许的最大长度。输出滤波电抗器与允许导线长度的数据见表 2-4。

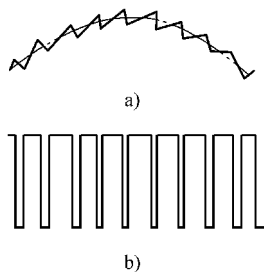


图 2-11 调制波形

- a) 经电动机绕组电感作用形成的电流波形
b) 由变频器输出的 SPWM 电压波形

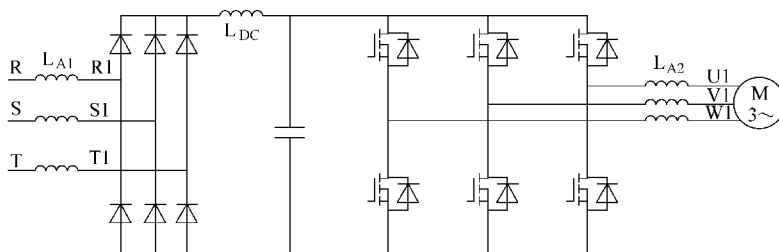


图 2-12 三种电抗器在变频调速系统中的连接

表 2-4 输出滤波电抗器与允许导线长度的数据

变频器功率/kW	额定电压/V	非屏蔽导线允许的最大长度/m	
		无输出电抗器	有输出电抗器
4	200 ~ 600	50	150
5.5	200 ~ 600	70	200
7.5	200 ~ 600	100	225
11	200 ~ 600	110	240
15	200 ~ 600	125	260
18.5	200 ~ 600	135	280
22	200 ~ 600	150	300
30 ~ 200	280 ~ 690	150	300

在实际使用中，只要负载是电感性的，电抗器可采用 1% 阻抗或更低一些都是可行的，因为 PWM 调制频率远高于基波频率，因此，输出侧交流电抗器的电感量可按下式计算：

$$L_{1A2} \approx \frac{0.5 \sim 1.5}{100} \times \frac{U_N \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi f \times I_{Lmax}} \quad (2-34)$$

例如：380V、90kW、50Hz、170A 变频器的输出侧交流电抗器的计算如下：

$$L_{1A2} \approx \frac{0.5 \sim 1.5}{100} \times \frac{380 \times 10^{-3}}{\sqrt{3} \times 2\pi \times 50 \times 170} = (0.0205 \sim 0.061) \text{ mH}$$

选择电感值在 0.041mH 左右，工作电流为 170A 的电抗器即可。输出侧交流电抗器绕制在磁心上的导线头尾的位置，关系到电感向外发射干扰能量的程度，变频器输出侧交流电抗器的断面结构如图 2-13 所示，绕组头 1 在里层，尾 2 在外层，因此 1 接变频器的输出，2 接负载电动机较好，这样，变频器输出端的强干扰被外层屏蔽，减少干扰向外发射。

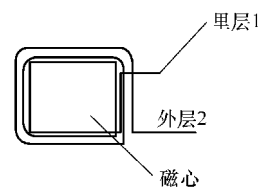


图 2-13 变频器输出侧交流电抗器的断面结构

输出侧交流电抗器的抑制频率若在较高频率范围，应使用铁氧体磁心，以减少损耗，但体积较大。在变频器与负载之间若设有变压器，变压器输入绕组的漏抗和变压器损耗大大削弱调制波，起到了输出侧电抗器的作用，因此可以省略输出侧交流电抗器。

3. 直流电抗器

直流电抗器也叫平波电抗器，串联在直流母线中（端子 P1、P+），主要是减小输入电流的谐波成分，提高输入电源的功率因数（提高到 0.95）。此电抗器可与交流电抗器同时使

用,变频器功率大于 30kW 时才考虑配置直流电抗器。

直流电抗器接在滤波电容前,它抑制进入电容的整流后冲击电流的幅值,并改善功率因数、降低母线交流脉动。变频器功率越大,越应该使用直流电抗器,因为没有直流电抗器时,变频器的电容滤波会造成电流波形严重畸变而使电网电压波形严重畸变,而且非常有害变频器的整流桥和滤波电容的寿命。

直流电抗器用于改善电容滤波(当前电压型变频调速器的主要滤波方式是电容滤波)造成的输入电流波形畸变和改善功率因数、减少和防止因冲击电流造成整流桥损坏和电容过热,当电源变压器和输电线路电阻较小时、电网瞬变频繁时都需要使用直流电抗器。直流电抗器可使逆变环节运行更稳定,并能限制短路电流。

直流电抗器电感值的选择一般为变频器输入侧交流电抗器 3% 阻抗电感量的 2~3 倍,最少为 1.7 倍,即

$$L_{CD} = (2 \sim 3) L_{AC} \quad (2-35)$$

例:对三相 380V、90kW 变频器所配直流电抗器的计算值为

$$L_{CD} = (2 \sim 3) L_{LA1} = (2 \sim 3) \times 0.123 = (0.246 \sim 0.369) \text{ mH}$$

选择工作电流为 170A,电感量为 0.2mH 的电抗器。

4. 滤波器

在变频器输入、输出电路中,有许多高频谐波电流,滤波器用于抑制变频器产生的电磁干扰噪声的传导,也可抑制外界无线电干扰以及瞬时冲击、浪涌对变频器的干扰。根据使用位置的不同可以分为线路滤波器、辐射滤波器和输出滤波器。

1) 线路滤波器。线路滤波器串联在变频器控制回路侧,由电感线圈组成,具有良好的共模和差模干扰抑制能力,通过增大电路的阻抗减小频率较高的谐波电流。在需要使用外控端子控制变频器时,如果控制回路电缆较长,外部环境的干扰有可能从控制回路电缆侵入,造成变频器误动作,此时将线路滤波器串联在控制回路电缆上,可以消除干扰。

2) 辐射滤波器。辐射滤波器并联在变频器输入侧(R、S、T),由高频电容器组成,可以吸收频率较高、具有辐射能量的谐波成分,用于降低沿电源线传输的无线电干扰噪声。线路滤波器和辐射滤波器同时使用效果更好。

3) 输出滤波器。各种高速开关器件的使用提高了变频器的性能,降低了开关损耗,但由此也产生了一些负面问题。因变频器的输出含有高频谐波,从而使电缆、电动机和变压器的损耗增加。另外,由于高速开关器件的使用使变频器输出 PWM 波的 du/dt 很高,一方面会引起高达数兆赫兹的电磁干扰问题,另一方面在使用长线电缆传输时,由于行波反射而引起电动机端过电压,使电动机绝缘损坏,电缆爆裂。

对于谐波电流问题,可以通过改变调制波形等方法使谐波分量降低,但并不能消除。对于由于高速开关引起的过电压问题,可以采用 du/dt 抑制滤波器,但只能对一定长度的电缆适用,并不适用于任意长度的电缆。能同时解决以上问题的有效方法是在变频器的输出侧加装 RLC 正弦波滤波器。将 PWM 波形滤成近似正弦电压波形,输出电压的 THD (Total Harmonic Distortion) 值可以低于 5%。由于 RLC 滤波器具有结构简单、可靠性高及容量大等特点,在变频器输出滤波器设计中是首选方案。输出滤波器串联在变频器输出侧(U、V、W),由电感线圈组成,可以减小输出电流中的谐波成分,抑制变频器输出侧的浪涌电压,同时可以减小电动机由高频谐波电流引起的附加转矩。输出滤波器到变频器和电动机的接线

尽量缩短,滤波器亦应尽量靠近变频器。

5. 变频器的漏电流

由于变频器输出的波形不是标准的正弦波,携带有谐波成分,因此漏电流比正常情况要大。变频器漏电流与两个因素有关:载波频率、变频器输出到电动机电缆的长度。载波频率越高,漏电流越大;电缆长度越长,漏电流也越大。因此,在不影响使用的情况下尽量将变频器的载波频率调低一些;尽量使用屏蔽电缆、缩短变频器到电动机的距离,或者设置输出电抗器。

在变频器输入、输出引线和电动机内部均存在分布电容,且低噪声型变频器使用的载波频率较高。因此,变频器对地漏电流较大(大容量机种更为明显),其值正比于分布电容量,漏电流有时会导致保护电路误动作。遇到上述问题时,除适当降低载波频率,缩短引线外,为了保护设备和人身安全,可在变频器的进线侧安装漏电断路器。漏电断路器的动作电流应大于该线路在工频电源下不使用变频器时的漏电流(线路、无线电噪声滤波器、电动机等漏电流的总和)的10倍。

当选用变频器专用的漏电断路器时,其额定灵敏电流为

$$I\Delta n \geq 10 \times (I_{g1} + I_{g2} + I_{gn} + I_{gm}) \quad (2-36)$$

当选用一般的漏电断路器时,其额定灵敏电流为

$$I\Delta n \geq 10 \times [I_{g1} + I_{gn} + 3 \times (I_{g2} + I_{gm})] \quad (2-37)$$

式中, I_{g1} 为工频电源运行时变频器输入回路的漏电流; I_{g2} 为工频电源运行时变频器输出回路的漏电流; I_{gn} 为变频器输入侧噪声滤波器的漏电流; I_{gm} 为工频电源运行时电动机的漏电流。

如果上式中的漏电流基本数据不好确定,对于变频器专用漏电断路器的额定灵敏电流按每台变频器 20mA 估算,一般漏电断路器的额定灵敏电流按每台变频器 50mA 估算。

6. 电抗器的设计计算和测定

(1) 三相交流输入电抗器的设计计算

当选定了电抗器的额定电压降 ΔU_L , 再计算出电抗器的额定工作电流 I_n 以后, 就可以计算电抗器的感抗 X_L 。电抗器的感抗 X_L 由式 (2-38) 计算:

$$X_L = \Delta U_L / I_n \quad (2-38)$$

有了以上数据便可以对电抗器进行结构设计, 电抗器铁心截面积 S 与电抗器压降 ΔU_L 的关系如式 (2-39) 所示:

$$S = \frac{\Delta U_L}{4.44fBNK_S \times 10^{-4}} \quad (2-39)$$

式中, f 为电源频率 (Hz); B 为磁通密度 (T); N 为电抗器的线圈圈数; K_S 为铁心迭片系数, 取 $K_S = 0.93$ 。

电抗器铁心窗口面积 A 与电流 I_n 及线圈匝数 N 的关系如式 (2-40) 所示:

$$A = I_n N / (jK_A) \quad (2-40)$$

式中, j 为电流密度, 根据容量大小可按 $2 \sim 2.5 \text{ A/mm}^2$ 选取; K_A 为窗口填充系数, 约为 $0.4 \sim 0.5$ 。

铁心截面积与窗口面积的乘积关系如式 (2-41) 所示:

$$SA = P_K / (4.44fBjK_SK_A \times 10^{-4}) \quad (2-41)$$

由式 (2-41) 可知, 根据电抗器的容量 $P_K (= \Delta U_L I_n)$ 值, 选用的铁心截面积与窗口

面积的乘积符合式 (2-41) 的关系。假设选用 $B = 0.6\text{T}$, $j = 200\text{A/cm}^2$, $K_S = 0.93$, $K_A = 0.45$, 设 $A = 1.5\text{S}$, 则电抗器铁心截面积与容量的关系为

$$1.5\text{S}^2 = \frac{\Delta U_L I_n}{4.44 \times 50 \times 0.6 \times 200 \times 0.93 \times 0.45 \times 10^{-10}} = \frac{\Delta U_L I_n}{1.115} \quad (2-42)$$

电抗器铁心的截面积:

$$S = 0.773 \sqrt{\Delta U_L I_n} \quad (2-43)$$

铁心截面积求出后, 即可按下式求出线圈匝数:

$$N = \frac{\Delta U_L}{222BSK_S \times 10^{-4}} \quad (2-44)$$

为了使输入电抗器有较好的线性度, 在铁心中应有适当的气隙。气隙大小可先选定在 $2 \sim 5\text{mm}$ 内, 通过实测电感值调整气隙以改变电感量。

(2) 电抗器电感量的测定

1) 直流电抗器 L_{DC} 电感量的测定。铁心电抗器的电感量和它的工作状况有很大关系, 而且是呈非线性的, 所以应尽可能使电抗器处于实际工作条件下进行测量。图 2-14 所示是直流电抗器的电感测量电路, 在电抗器上分别加上直流电流 I_d 与交流电流 I_j , 用电容 $C = 200\mu\text{F}$ 隔开交直流电路, 测出 L_{DC} 两端的交流电压 U_j 与交流电流 I_j , 可由式 (2-45)、式 (2-46) 近似计算电感值 L 。

$$X_L = U_j / I_j = \omega L \quad (2-45)$$

$$L = X_L / \omega \quad (2-46)$$

2) 交流电抗器电感量的测定。带铁心的交流电抗器的电感量不宜用电桥测量, 因为测量电感电桥的电源频率一般是采用 1000Hz , 因此测量电感电桥只可用于测量空心电抗器。

对于用硅钢片叠制而成的交流电抗器, 电感量的测量可采用工频电源的交流电压、电流表法, 交流电抗器电感测量电路如图 2-15 所示。通过电抗器的电流可以略小于额定值, 为求准确可以用电桥测量电抗器线圈内阻 r_L , 每相电感值可按式 (2-47) 计算:

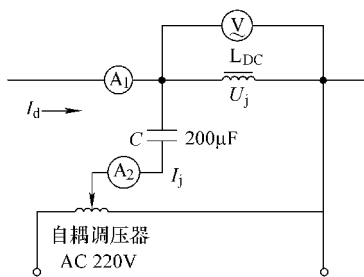


图 2-14 直流电抗器的电感测量电路

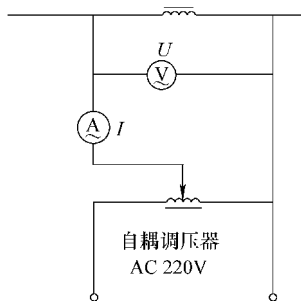


图 2-15 交流电抗器电感测量电路

$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - r_L^2} \quad (2-47)$$

式中, U 为交流电压表的读数 (V); I 为交流电流表的读数 (A); r_L 为电抗器每相线圈内阻 (Ω)。

由于电抗器线圈内阻 r_L 很小, 在工程计算中常可忽略。

第3章 变频调速系统电磁兼容性工程设计

3.1 变频器的电磁兼容性

国际电工委员会（IEC）对电磁兼容性的定义是：电磁兼容性是电子设备的一种功能，电子设备在电磁环境中能完成其功能，而不产生不能容忍的干扰。我国最近颁布的“电磁兼容性”国家标准中，对电磁兼容性做出如下定义：设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁干扰的能力。这里所讲的电磁环境是指存在于给定场所的所有电磁现象。这表明电磁兼容性有双重含义：设备或系统不仅应具有抑制外部电磁干扰的能力，而且所产生的电磁干扰应不得影响同一电磁环境中其他电子设备的正常工作。显然，电磁兼容性要比单纯讲的抗干扰能力的意义更为深远。

3.1.1 变频器电磁兼容性的分析

1. 变频器的噪声

变频器是电力电子数字装置，其运行在高载波频率方式下，所以变频器运行中将产生大量的电磁噪声，从而对外围电子设备产生干扰，甚至产生误动作或停机。变频器运行中产生的噪声有变频器自身和变频器主回路的输出、输入连线辐射两种。变频器产生的噪声按其传播方式，可分为静电感应噪声、静磁感应噪声、公共阻抗噪声、空中传播噪声。其空中传播噪声是由变频器自身的直接辐射噪声和其电源线及输出线的辐射噪声组成，因传播路径在空中传播，若其他电子设备与变频器装在同一柜内，由于其相对距离在噪声的辐射范围内，又因其布线相对较近，变频器的辐射噪声将干扰这些电子设备的稳定运行。变频器也受外部侵入噪声的干扰，从而引起误动。因此变频器的电磁兼容性是变频器及其构成的调速系统设计中的重要环节，也是保证系统可靠运行的必要条件。变频器的电磁兼容性在很大程度上决定了交流变频调速传动系统的可靠性，因此电磁兼容性已成为交流变频调速领域需要迫切解决的重要技术问题。

在各种工业控制系统中，随着变频器等电力电子装置的广泛使用，系统的电磁干扰日益严重，相应的抗干扰设计技术已经变得越来越重要。变频器系统的干扰有时能直接造成系统的硬件损坏，有时虽不能损坏系统的硬件，但常使微处理器的系统程序运行失控，导致控制失灵，从而造成设备和生产事故。因此，如何提高系统的抗干扰能力和可靠性是变频器研制和应用中不可忽视的重要内容。

变频器的外部干扰源首先是来自外部电网的干扰，电网中的谐波干扰主要是通过变频器的供电电源干扰变频器。电网中存在大量的谐波源，如各种整流设备、交直流变换设备、电子电压调整设备、非线性负载等。这些非线性负载使电网的电压、电流产生波形畸变，从而对电网中的其他设备产生干扰。若对变频器的供电电源中的干扰不加处理，电网噪声就会通过电网电源电路干扰变频器。供电电源的干扰类型主要有：过电压、欠电压、瞬时掉电、浪

涌、电压跌落、尖峰电压脉冲和射频干扰。

当供电网络内有容量较大的晶闸管换流设备时，由于晶闸管总是在每相半周期内的部分时间内导通，容易使电网电压出现凹口，波形严重失真，使变频器输入侧的整流电路有可能因出现较大的反向回复电压而受到损害，从而导致输入回路击穿而烧毁。变频器作为噪声源如图 3-1 所示，把一个在装置中由于电容 C_p 耦合作用而产生的噪声电流 I_s 看作噪声源，噪声电流 I_s 在阻抗 Z_i 上产生压降。如噪声电流流经敏感电子元件板（如微处理器），都能导致噪声。

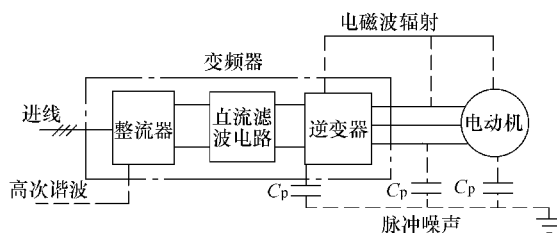


图 3-1 变频器作为噪声源

变频器的整流桥对电网来说是非线性负载，它所产生的谐波会对同一电网的其他电子、电气设备产生谐波干扰。另外，变频器的逆变器大多采用 PWM 技术，当其工作于开关模式并做高速切换时，产生大量的耦合性噪声。因此，变频器对系统内其他的电子、电气设备来说是一个电磁干扰源。变频器的输入和输出电流中，都含有较多的谐波成分，除了能构成电源无功损耗的较低次谐波外，还有许多频率很高的谐波成分，将以各种方式将能量传播出去，形成对变频器本身和其他设备的干扰信号。变频器作为噪声源如图 3-2 所示，变频器整流电路产生的谐波对电网将产生传导干扰，引起电网电压畸变（电压畸变率用 THD_v 表示，变频器产生谐波引起的 THD_v 在 10% ~ 40%），影响电网的供电质量。变频器内由于 IGBT 等开关器件高速开关工作，故在电路中出现分布电感和分布电容，在它们之间产生磁能和静电能的转换，出现震荡现象，因而形成了电磁波发射。在输出能量的同时将在输出线上产生较强的电磁辐射干扰，影响周边电气设备的正常工作。

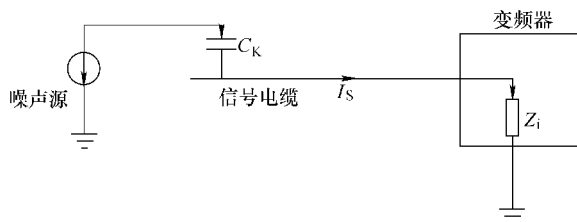


图 3-2 变频器作为噪声源

变频器的输入侧是二极管整流桥和电容滤波电路，显然只有电源的线电压 U_l 大于电容器两端的直流电压 U_d 时，整流桥中才有充电电流。因此，充电电流总是出现在电源电压的振幅值附近，呈不连续的冲击波形式。它具有很强的谐波成分。有关资料表明，输入电流中的 5 次谐波和 7 次谐波的谐波分量最大，分别是 50Hz 基波的 80% 和 70%。变频器噪声的类

型主要有：

- 1) 发射性噪声。变频器开关元件形成的 du/dt 和电路中的分布电感，产生高频振荡，把配电线路作为天线，发射出电磁波。
- 2) 静电感应噪声。若其他用电设备的信号线靠近变频器的输出线，由于静电感应就会有感应电压产生，而使其他用电设备误动作。
- 3) 电磁感应噪声。若其他用电设备的信号线靠近变频器的输出线，由于电磁感应就会有感应电压产生，使其他用电设备误动作。
- 4) 传输噪声。变频器主回路的开关产生的高频电流进入电源系统，将对同一电源的用电设备产生影响。
- 5) 漏电流噪声。PWM 控制高达 12kHz 的载波频率，将在电动机的绕组间、绕组和机座间、机座和大地间通过分布电容产生漏电流，通过接地系统将噪声传到其他用电设备上，从而引起误动作。

对变频器进行电磁兼容性设计之前，必须分析预期的电磁环境，并从电磁干扰源、耦合途径和敏感设备入手，找出其所处系统中存在的电磁干扰，然后有针对性地采取措施，就可以消除或抑制电磁干扰。变频器所处电磁环境中存在的电磁干扰源主要有：

- 1) 高频开关器件快速通断形成大脉冲电流而引起的电磁干扰。
- 2) 供电电源的负载突变。
- 3) 系统内部及其周围的强电元件造成的强电干扰。
- 4) 电动机电枢传输线与其他传输线间的电容性耦合和电感性耦合引起的干扰。
- 5) 由连续波干扰源等造成的空间辐射干扰。

变频器中各个电子部件、元器件都可能成为被干扰的敏感受扰设备，当干扰信号电平低于系统门槛电平时，不会对系统造成危害；若高于低限门槛电平时，就可能导致电子器件的误触发，对系统产生干扰。干扰信号可以通过多种途径从干扰源耦合到敏感受扰设备上。

2. 低压变频器的兼容等级

低压变频器的兼容等级典型值见表 3-1。

表 3-1 低压变频器的兼容等级典型值

现象	兼容等级	现象	兼容等级
额定电压	230/400、500、400/690V（50Hz） 240、277/480、347/660V（60Hz）	换相缺口	在幅值最大为 $90\% \times U$ 时，瞬变值增加，振荡频率高于 5Hz
电压波动	$\pm 10\%$ 低压期间功率会减少	电压不平衡	2%
电压变化 < 60s	10% ~ 15% 低压期间功率会减少	谐波电压	10%（8%）
电压跌落和短时中断	取决于电力整流器的类型和负载	频率	50Hz 或 60Hz
		公差频率	$\pm 1\%$

3. 抗扰度要求

(1) 抗电磁干扰的验收准则及等级

验收准则是用来检验低压变频器抗扰度的性能。验收准则按其其对低压变频器系统的影响程度（严酷等级），分为 A、B、C 三类。检验低压变频器抗扰度的验收准则及等级见表 3-2。

表 3-2 检验低压变频器抗扰度的验收准则及等级

项目	验收（性能）准则		
	A	B	C
特定性能：一般的	工作特性没有明显变化，在规定允差之内正常工作	工作特性有明显变化（可见的或听到的），变化能自行恢复	关机，工作特性变化，保护器件触发，不能自行恢复
特定性能：特殊的转矩特性	转矩偏差在规定的允差之内	动态转矩偏差超出规定的允差，能自行恢复	转矩失控，不能自行恢复
子部件性能：电力电子电路和驱动电路的运行	电力半导体器件不击穿	暂时行击穿，不会引起驱动系统关机	关机，保护器件触发
子部件性能：信息处理和检测功能	与外部器件的通信和数据交换不受干扰	暂时通信干扰，不会发出可能引起内部或外部器件关机的错误报告	通信错误，数据和信息丢失，不能自行恢复
子部件性能：显示和控制面板的运行	LED 显示信息无变化，只是光亮度有衰减或字符稍有变动	信息有可见的暂时性变化，LED 亮度不理想	关机，信息永久性丢失或出现不允许的工作方式，显示的信息明显错误

表 3-2 中 A 类是影响最轻（要求抗扰度最高），最难做到的。C 类抗扰度最差，对低压变频器的影响最恶劣。按严酷、抗扰度难易，依次是 $A > B > C$ 。

（2）低频干扰

所谓低频干扰指的是频率在 $0 \leq f < 9\text{kHz}$ 范围内的干扰，每个制造厂可以用试验、计算或模拟的方式验证其是否符合要求。具体要求是：

1) 谐波。稳态条件下，与总谐波畸变和各个谐波次数相关的、设计所用的抗扰度为永久兼容性等级，验收准则为 A 类。设计所用抗扰度等级应至少为永久兼容性等级的 1.5 倍，这时要求的验收准则为 B 类。

2) 换相缺口。抗扰度等级为 A 类，试验周期为小于 1h。

3) 电压波动和短时中断。规定持续时间小于 1h，抗扰度等级为 A 类。

4) 电压不平衡。电压不平衡可能是由于三相系统中某个单相负载引起的。设计所用的抗扰度等级应等于所考虑的连接点的兼容性等级。

5) 频率变化。在兼容性等级限值之内频率变化可通过电子控制补偿。

6) 对电源的影响。用于发电厂，要进行脉冲磁场试验，用于中压或高压变电站要进行阻尼脉冲磁场试验。

（3）高频干扰

所谓高频干扰指的是频率在 $f \geq 9\text{kHz}$ 范围内的干扰，例如：辐射干扰。判断高频干扰抗扰度将分别对两类环境分开列出，见表 3-3、表 3-4。

表 3-3 第一类环境的最低的抗扰度要求

端口	现象	参考文件	抗扰度等级	验收等级
机壳端口	ESD 电磁场	GB/T 17626. 2	6kVCD	B
			8kVCD	A

(续)

端口	现象	参考文件	抗扰度等级	验收等级
电源端口	快速突变 浪涌 1.2/50μs、80μs	GB/T 17626. 4 GB/T 17626. 5	1kV/5kHz	B
			1kV	B
			2kV	
电源接口	快速突变	GB/T 17626. 4	1kV/5kHz 电容钳位	B
生产过程测量和控制线端口及信号接口	快速突变	GB/T 17626. 4	0.5kV/5kHz 电容钳位	B

CD = 接触放电；AD = 空气放电

表 3-4 第二类环境的最低的抗扰度要求

端口	现象	参考文件	抗扰度等级	验收等级
机壳端口	ESD 电磁场	GB/T 17626. 2	6kVCD	B
			8kVCD	A
电源端口	快速突变 浪涌 1.2/50μs、80μs	GB/T 17626. 4 GB/T 17626. 5	1kV/5kHz	B
			1kV	B
			2kV	
电源接口	快速突变	GB/T 17626. 4	1kV/5kHz 电容钳位	B
生产过程测量和控制线端口及信号接口	快速突变	GB/T 17626. 4	2kV/5kHz 电容钳位	B

CD = 接触放电；AD = 空气放电

对比表 3-3 和表 3-4，可以看出第二类环境的电气传动系统为最低的抗扰度要求，与公共环境相比，增加了对信号接口的要求，因为工业环境更恶劣。

4. 发射要求

低频领域中基本的发射限值包括换相缺口、谐波和谐间波（含在低压公共电网和工业电网以及 2 ~ 9kHz 频率范围的谐波和谐间波）、电压波动、共模谐波（变流器三相输出瞬时值不对称引起）发射等。

基本高频发射限值包括第一类环境和第二类环境，许多低压变频器在第二类环境下无滤波器都能正常工作，没有对其他的装置和设备产生干扰，所以它们是兼容的。对于传导性和辐射性的发射，原则是干扰的可能性越高，其发射限值越要严格。

5. 安全性的最低要求

在抗扰度试验时，要将安全放在首位。在非兼容性环境中运行，当抗扰度不足、发射过量，危及到安全，应用中应采取必要的措施，以使其满足安全性要求。对于低压变频器的安全要求还有其他项，如防电击、绝缘配合和相关绝缘试验、不安全操作等。

3.1.2 变频调速系统电磁兼容性设计规则

规则 1：接地原则，也称抗干扰接地。所有柜体金属部分必须通过最大可能表面积进行连接。柜门必须通过尽可能短的接地线同柜子相连。安装接地是电气设备的一项根本保护措施，但是在传动系统中，它将影响噪声发射和抗扰度。一般系统采用星形方法接地，或采用每个单元电路单独接地，应用中应优先采用单独接地系统。

规则 2：信号电缆和动力电缆必须分开敷设（为了消除耦合噪声），最小间隔为 20cm。在动力电缆和信号电缆之间设计隔板，隔板沿其长度上必须有几个接地点。

规则 3：柜中接触器、继电器、电磁操作机构的电磁线圈，必须使用抑制元件，如 RC、二极管、压敏电阻。这些抑制元件必须直接接在线圈上。

规则 4：在同一电路中（出口和入口导体）的非屏蔽电缆必须绞接，或在出口和入口导体间的表面尽可能小，以防止不必要的耦合作用。

规则 5：减少不必要的电缆长度，以降低耦合电容和耦合电感。

规则 6：将备用电缆两端接地获得附加的屏蔽效果。

规则 7：在一般情况下，线路电缆要靠近接地的柜子，用安装板可减少耦合噪声。因此，导线敷设应尽量靠近柜子外壳和安装板，而不能随意通过柜子。

规则 8：计算机装置必须通过屏蔽电缆进行连接，屏蔽层必须在微电子器件和变频装置（器）一端接地，屏蔽层不能中断。

规则 9：数字信号电缆屏蔽层应使其两端接地（发送器和接收器），为了减少屏蔽电流，在屏蔽连接之间缺乏等电位连接时，屏蔽层应并联在一个截面积为 10mm^2 的附加等电位连接导体上，屏蔽层接地点可有数处，甚至是柜子外壳。

规则 10：模拟信号电缆的屏蔽层在具有很好的等电位连接的情况下，应两端接地。遵守规则 1，可获得很好的等电位接地。

规则 11：信号电缆应从柜的一侧进入柜中。

规则 12：变频器的电源应与系统的控制电源分开，若共用一个电源，会引起电源耦合效应。

规则 13：防止通过电源耦合可能产生的噪声。与规则 12 一样，如遇变频器和其他自动化装置装于一个柜体中，如仅有一个公共电源，应采用隔离变压器。

规则 14：噪声抑制滤波器通常应靠近干扰源，滤波器的外壳要通过一个大截面铜导线连接到柜体安装板，这样电气接触是通过安装板形成的，以确保良好的电接触。

规则 15：为了限制噪声发射，所有引向电动机的电缆要用屏蔽电缆。要采用铜屏蔽，不要用钢管屏蔽。

规则 16：进线电抗器应装在辐射干扰抑制滤波器和变频装置之间。

规则 17：进线电缆同电动机电缆在空间上应隔离。

规则 18：电动机与变频器的屏蔽层不应由于安装输出电抗器、滤波器、熔断器、接触器等元件而中断。元件都应装于一个公共底板上，它的作用相当于电动机进出电缆屏蔽层的连接。

规则 19：为了限制辐射干扰（特别是对于限制第一环境要求），不仅是电源进线，所有从外部连接到柜中的电缆都需屏蔽。

3.2 变频器谐波的产生及抑制对策

3.2.1 变频器谐波的产生和危害

1. 变频器谐波产生机理

变频器的主电路一般为交-直-交拓扑结构,外部输入380V/50Hz的工频电源经三相桥路不可控整流成直流电压,经滤波电容滤波及大功率晶体管开关器件逆变为频率可变的交流电压。在整流回路中,输入电流的波形为不规则的矩形波,矩形波按傅里叶级数分解为基波和各次谐波,输入电流的5次谐波可达20%,7次谐波可达12%,由于输入谐波较高将对供电系统产生干扰。在逆变器输出回路中,输出电流信号是受PWM载波信号调制的脉冲波形,对于GTR大功率逆变器件,其PWM的载波频率为2~3kHz,而对于IGBT大功率逆变器件,PWM的最高载频可达15kHz。同样,输出回路电流信号也可分解为只含正弦波的基波和其他各次谐波,而谐波电流对负载直接干扰。另外,谐波电流还通过电缆向空间辐射,干扰附近的电气设备。谐波的传播途径是传导和辐射,解决传导干扰主要是在电路中把传导的高频电流滤掉或者隔离;解决辐射干扰就是对辐射源或被干扰的线路进行屏蔽。

(1) 输入侧产生谐波机理

对于变频器而言,只要是电源侧有整流回路的,都将产生因非线性而引起的谐波。以三相桥式整流电路为例,交流电网电压为正弦波,交流输入电流波形为方波,对于这个波形,按傅氏级数可分解为基波和各次谐波,通常含有 $6m \pm 1$ ($m=1, 2, \dots$)次谐波。单个基波与几个谐波组合在一起被称为谐波,基波与高次谐波如图3-3所示。

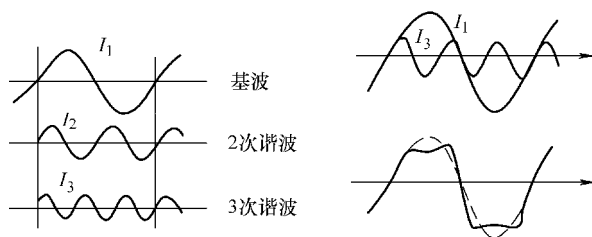


图3-3 基波与高次谐波

(2) 输出侧产生谐波机理

在逆变输出回路中,输出电压和输出电流均有谐波。由于变频器是通过CPU产生6组脉宽可调的SPWM波控制三相的6组功率元件导通/关断,从而形成电压、频率可调的三相输出电压。其输出电压和输出电流是由SPWM波和三角载波的交点产生的,不是标准的正弦波。如电压型变频器,其输出电压波形为方形波,用傅氏级数分解电压方波和电流正弦锯齿波可分析出包含较强的谐波成分。

对于PWM控制的变频器,只要是电压型变频器,不管是何种PWM控制,其输出电压波形为矩形波。其中,谐波频率的高低是与变频器的调制频率有关,若调制频率低(如1~2kHz),由谐波频率产生的电磁噪声(尖叫声)人耳是能听到的;若调制频率高(如IGBT变频器可达20kHz),由谐波频率产生的电磁噪声(尖叫声)人耳是听不到的,但高频信号

是客观存在的。变频器输出回路电流信号也可分解为只含正弦波的基波和其他各次谐波，谐波电流对负载直接产生干扰的同时还通过电缆向空间辐射，干扰邻近的电气设备。

2. 谐波电流与线路阻抗的关系

网侧总线路阻抗越大，输入电流就越平滑，谐波电流越小。因此常用直流或交流电抗器来增加线路阻抗，从而改善输入电流的波形。在加入电抗器之后，输入电流的尖峰变小，同时二极管的导通时间变长，因此可以降低变频器的网侧电流谐波含量。直流电抗器和交流电抗器都可以用于抑制谐波，但两者各有特点。

3. 网侧电流波形与直流侧电压的关系

变频器负载变化时，会影响直流侧电压。只有在整流电压大于主电容两端的电压（ E_d ）时，整流器才会有输入电流。因此，直流电压的大小会决定二极管整流器的导电角度。变频器输入电流波形和直流电压之间的关系见表 3-5。

表 3-5 变频器输入电流波形和直流电压之间的关系

E_d	谐波系数	峰值系数	功率因数
$> 1.35U_n$	≥ 1.99	≥ 2.16	≤ 58.7
$= 1.35U_n$	1.99	2.16	58.7%
$> 1.35U_n > E_d$	1.27 ~ 1.99	1.71 ~ 2.16	58.7% ~ 83.5%
$= 1.225U_n$	1.27	1.71	83.5%
$< 1.225U_n$	1.27 ~ 1.23	1.28 ~ 1.71	83.5% ~ 95.3%

在表 3-5 中，波形系数和峰值系数表征输入电流的畸变程度，由于输入电压和电流的基波相位基本相同，忽略三相不平衡的影响，可以得到

$$\cos\phi \approx I_{L1}/I_L \quad (3-1)$$

即功率因数 $\cos\phi$ 约等于基波电流和总电流之比，因此表 3-5 也可以反映直流侧电压和功率因数之间的关系。

4. 有关谐波的国际及国家标准

(1) 国际标准

IEC61000-2-2 标准适用于公用电网，规定了电网公共接入点处的各次谐波电压含有的 THD_v 约为 8%。IEC61000-2-4 标准适用于厂级电网，该标准分三类：第一类对谐波敏感场合（如计算机、实验室等）THD_v 为 5%；第二类针对电网公共接入点和一部分厂内接入点 THD_v 为 8%；第三类主要针对厂内接入点 THD_v 为 10%。这两个标准规定了不给电网造成损害所允许的谐波程度，它们规定了最大允许的电压畸变率 THD_v。

以上两个标准还规定了电气设备所允许产生的谐波电流的幅值，IEC61000-2-2 标准主要针对 16A 以下，IEC61000-2-4 标准主要针对 16~64A。IEEE519-1992 标准是个建议标准，目标是将单次 THD_v 限制在 3% 以下，总 THD_v 限制在 5% 以下。

(2) 国内标准

GB/T 14549-1993 中规定，公用电网谐波电压（相电压）限值为 380V（220V），电网电压总 THD_v 为 5%，各次谐波电压含有率奇次为 4%，偶次为 2%。

由以上标准看来，一般单次电压畸变率在 3%~6% 的范围，总电压畸变率在 5%~8% 的范围内是可以接受的。普通的抗干扰标准 EN50081 和 EN50082 以及针对变频器的

EN61800 标准，定义了设备在不同的环境中运行时的辐射及抗干扰水平。上述标准定义了在不同环境条件下的可接受辐射等级：

L 级，无辐射限制，适用于在不受干扰的环境下使用变频器的用户和自己处理辐射限制的用户。

H 级，根据 EN61800-3 确定的限制，第一环境：有限制分布和第二环境。作为变频器选件的 RFI 滤波器，若配置可以使变频器达到商业级，通常用于非工业的环境。

根据国家标准 GB/T 14549—1993《电能质量公用电网谐波》和 GB 12668.3—2003《调速电气传动系统产品的电磁兼容性标准及其特定的试验方法》，公共连接点（PCC）的谐波电流限值与电源短路电流和最大基波负载电流之比相关。基准短路容量下各次谐波电流允许值见表 3-6。

表 3-6 基准短路容量下各次谐波电流允许值

电压/kV	次数					
	5	7	11	13	17	19
	谐波电流允许值/A					
0.38	62	44	28	24	18	16
6	34	24	16	13	10	9.0
10	20	15	9.3	7.9	6.0	5.4

谐波电流限值为 GB/T 14549—1993 中规定的基准短路容量下各次谐波电流允许值，而 GB 12668.3—2003 附录 B 中给出的指标为不同 R_{sc} 下各次谐波电流的限值（%），两者可以互相折算，应用时可以根据自己的实际情况自行选择。

5. 谐波电流的计算方法

变频器的谐波电流很难直接通过解析公式计算，在工程上可采用以下方法计算：

1) 根据国家标准和实际变压器的短路容量计算所允许的各次谐波电流，具体公式为

$$I_h = I_{GB} (S_r/S_j) \tag{3-2}$$

式中， I_h 为各次谐波电流允许限值； I_{GB} 为基准短路容量下各次谐波电流限值； S_r 为实际短路容量（MVA）； S_j 为基准短路容量，380V 时取 10MVA。

同一公共连接点的每个用户向电网注入的谐波电流允许值，按此用户在该点的协议容量或最大负荷容量与其供电设备容量之比进行分配。如果简单地用谐波电流计算的方法，得到的结果往往过于保守，会造成资源的浪费。推荐使用伪平方求和的方法，即：

$$I_{hi} = I_h (S_i/S_t)^{1/\alpha} \tag{3-3}$$

式中， S_i 为用户的用电协议容量或最大负荷容量（MVA）； S_t 为供电设备容量（MVA）； I_{hi} 为折算后的各次谐波电流允许值； α 为相位叠加系数。

各次谐波的相位叠加系数见表 3-7。

表 3-7 各次谐波的相位叠加系数

谐波系数	3	5	7	11	13	>13
α	1.1	1.2	1.4	1.8	1.9	2

2) 额定电流折算：

$$I'_e = I_e \times (0.38 \text{ 标准电压}) \quad (3-4)$$

式中, I'_e 为折算后的额定电流; I_e 为变频器的额定电流。

3) 根据表 3-7 以及变频器的电路形式来确定各次谐波电流的大小, 并和 1) 的结果相比较, 判断是否符合国标。计算公式如下:

$$I_h = I'_e \times \text{谐波含量}(\%) \times \text{负载率} \quad (3-5)$$

如果不符合国标, 则应采用其他的对策, 如使用电抗器、添加谐波补偿设备等。

6. 谐波的危害

变频器谐波对容量大的电力系统的危害不是十分明显, 但是对容量小的电力系统, 谐波产生的干扰就不可忽视。它对公用电网是一种污染, 可使用电设备所处的环境恶化, 给周围的通信系统和公用电网以外的设备带来危害。谐波污染对电力系统的危害的严重性主要表现在以下几个方面:

1) 谐波使电网中的电气元件产生了附加的谐波损耗, 降低了输变电及用电设备的效率。谐波和间谐波的趋肤效应使输电线的等效截面积变小, 由于趋肤效应和邻近效应, 使线路电阻随频率的增加而提高, 线路损耗增加, 造成电能的浪费。由于中性线正常时流过的电流很小, 故其导线较细, 当大量的三次谐波电流流过中性线时, 会使导线过热, 绝缘老化, 寿命缩短, 损坏甚至发生火灾。谐波和间谐波电流导致电网电压波形畸变和辐射干扰, 引起同一电网下其他负载出力减小, 损耗增加, 甚至误动作, 降低了供配电设施运行的可靠性。

2) 谐波可以通过电网传导到其他的用电器, 经传导来的谐波会干扰电气设备内部软件或硬件的正常运行。

3) 谐波会引起电网中局部的串联或并联谐振, 从而使谐波放大, 甚至引发严重事故。

4) 谐波电流将增加变压器的铜损, 谐波电压将增加变压器的铁损, 综合效果使变压器的温度上升, 影响其绝缘能力, 并造成容量裕度减小。谐波也可引起变压器绕组及线间电容之间的共振, 引起铁心磁饱和而产生噪声。

5) 谐波引起电动机附加发热, 导致电动机的额外温升, 使电动机需要降额使用, 由于输出波形失真, 增加了电动机的重复峰值电压, 影响了电动机的绝缘。谐波还会引起电动机转矩脉动, 以及使噪声增加。谐波对发电机的影响是产生附加功率损耗、发热、机械振动、噪声和过电压。

6) 一般电容器的标准规范规定其最大电流只允许 35% 过载, 但实际运行时, 由于谐波的影响, 以致常发生严重过载。由于电容器的阻抗随频率的增加而减少, 故谐波产生时, 电容器即成为一陷流点, 流入大量电流, 因而导致过热, 增加介电质的应力, 甚至损坏电容器。当电容器与线路阻抗达到共振条件时, 会发生振动短路、过电流及产生噪声。谐波将使电容器的感抗值成倍增加而容抗值成倍减少, 这就有可能出现谐振, 谐振将放大谐波电流, 导致电容器等设备损坏。

7) 由于谐波电流的存在, 开关设备在开断瞬间产生很高的 di/dt 电流变化率, 致使增加了暂态恢复电压的峰值, 以致破坏绝缘。这将使开关设备开断困难, 并且延长了故障电流的切除时间。

8) 变频器输入、输出引线和电动机内部均存在分布电容, 且变频器使用的载波频率较高, 因此变频器的对地漏电流较大, 有时会导致保护电器误动作, 造成不必要的供电中断和生产损失。

9) 谐波将使继电保护和自动装置出现误动作, 并使仪表和电能计量出现较大误差。变频器产生的谐波也对其附近的通信系统产生干扰, 轻者出现噪声, 降低通信质量, 重者丢失信息, 使通信系统无法正常工作。

10) 谐波辐射干扰使经过变频器输出导线附近的控制信号、检测信号等弱电信号受到干扰, 严重时使系统无法得到正确的检测信号, 或使控制系统紊乱。

3.2.2 谐波干扰的抑制对策

1. 增加变频器供电电源的内阻抗

通常情况下, 电源设备的内阻抗可以起到缓冲变频器直流滤波电容的无功功率的作用, 电源的内阻抗就是变压器的短路阻抗。当电源容量相对变频器容量较小时, 则内阻抗值相对较大, 谐波含量较小; 电源容量相对变频器容量较大时, 则内阻抗值相对较大, 谐波含量越大。对于西门子系列变频器, 当电源内阻抗为4%时, 可以起到很好的谐波抑制作用。所以选择变频器供电电源变压器时, 最好选择短路阻抗大的变压器。

由于非线性负载引起的畸变电流在电缆的阻抗上产生一个畸变电压降, 而合成的畸变电压波形加到同一线路上所接的其他负载, 引起谐波电流在其上流过。因此, 减少谐波危害的措施也可通过加大电缆截面积、减少回路的阻抗等方式来实现。目前, 国内较多采用提高变压器的容量, 增大电缆截面积, 特别是加大中性线电缆截面积, 以及选用开断容量较大的断路器、熔断器等保护元件, 但此种方式不能从根本上消除谐波, 反而降低了保护特性与功能, 又加大了投资, 增大了供电系统的隐患。在变频调速系统的电源设计中可将变频器的供电电源与非线性负载从同一电源接口点(PCC)就开始分路供电, 这样可以使由非线性负载产生的畸变电压不会传导到线性负载上去, 这是目前治理谐波问题较为理想的解决方案。

2. 安装电抗器

安装电抗器实际上是从外部增加变频器供电电源的内阻抗, 在变频器的交流侧安装交流电抗器或在变频器的直流侧安装直流电抗器及在变频器的输出侧安装电抗器, 可以有效地抑制谐波电流。

(1) 输入电抗器

在电源与变频器的输入侧之间串联交流电抗器如图3-4所示, 可使电源阻抗增大, 从而有效地抑制谐波电流, 减少电源浪涌对变频器的冲击, 改善三相电源的不平衡性, 提高输入电源的功率因数(提高到0.75~0.85), 进线电流的波形畸变大约降低30%~50%, 是不加电抗器谐波电流的一半左右。

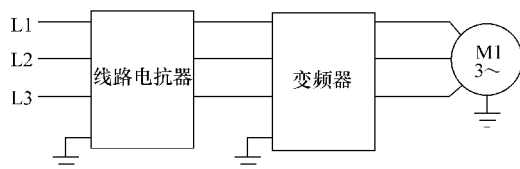


图 3-4 串联交流电抗器

(2) 在直流环节串联直流电抗器

直流电抗器串联在直流中间环节母线中(端子+, -之间), 主要是减小输入电流的谐波成分, 提高输入电源的功率因数(提高到0.95)。此电抗器可与交流电抗器同时使用, 变

变频器功率大于 30kW 时才考虑配置。

(3) 输出电抗器（电动机电抗器）

由于电动机与变频器之间的电缆存在分布电容，尤其是在电缆距离较长，且电缆较粗时，变频器的逆变器输出的调制方波会在电路上产生一定的过电压，使电动机无法正常工作，可以通过在变频器和电动机间连接输出电抗器来进行限制。串联输出电抗器如图 3-5 所示。

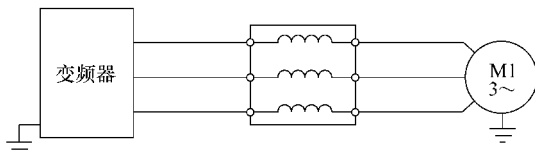


图 3-5 串联输出电抗器

在变频器和电动机之间增加交流电抗器的主要目的是减少变频器的输出在能量传输过程中，在线路产生的电磁辐射。该电抗器必须安装在距离变频器最近的地方，尽量缩短与变频器的引线距离。如果使用铠装电缆作为变频器与电动机的连线时，可不使用输出电抗器，但要做到电缆的铠装层在变频器和电动机端可靠接地，而且接地的铠装侧要原样不动接地，不能扭成绳，不能用其他导线延长，变频器侧要接在变频器的接地端子上，并将变频器可靠接地。

3. 滤波器

当系统对抗干扰能力要求较高时，为减少对电源的干扰，在电源输入端可加装电源滤波器。传统的方式是选用无源滤波器。无源滤波器出现最早，因其结构简单、投资少、运行可靠性较高以及运行费用较低，至今仍是谐波抑制的主要手段。 LC 滤波器由滤波电容器、电抗器和电阻器组合而成，与谐波源并联，除具有滤波作用外，还有无功补偿的作用。无源滤波器不能受控，因此随着时间的推移、配件老化或电网负载的变动，会使谐振频率发生改变，滤波效果下降。更重要的是无源滤波器只能过滤一种谐波成分（如有的滤波器只能滤除三次谐波），如果过滤不同的谐波频率，则要分别用不同的滤波器，增加了设备投资。

使用无源滤波器主要是改变在特殊频率下电源的阻抗，适用于稳定、不改变的负载。而使用有源滤波器主要是用于补偿非线性负载。使用专用无源滤波器如图 3-6 所示，满载时进线中的 THD_v 可降至 5% ~ 10%，满足 EN61000-3-12 和 IEEE519-1992 的要求，技术成熟，价格适中，适用于所有负载下的 THD_v 小于 30% 的情况，缺点是轻载时功率因数会降低。

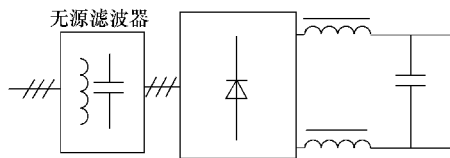


图 3-6 使用专用无源滤波器

除传统的无源滤波器（ LC 滤波器）目前还在应用外，谐波抑制的一个重要趋势是采用有源电力滤波器。它串联或是并联于主电路中，实时补偿对象中检测出的谐波电流，由补偿装置产生一个与该谐波电流大小相等、方向相反的补偿电流，从而使电网电流只含基波分量。这种滤波器能对频率和幅值都变化的谐波进行跟踪补偿，且补偿不受电网阻抗的影响。

国内外有多种有源滤波器，有源电力滤波器（APF）理论在 20 世纪 60 年代形成，后来随着大、中功率全控型半导体器件的成熟，脉冲宽度调制（PWM）控制技术的进步以及基

于瞬时无功功率理论的谐波电流瞬时检测方法的提出,有源电力滤波器得以迅速发展。其核心部分是谐波电流发生器与控制系统,即其工作靠数字信号处理(DSP)器控制双极晶体管(IGBT)来完成。

在变频器输入、输出电路中,采用滤波器可以抑制变频器产生的电磁干扰噪声的传导,也可抑制外界辐射干扰以及瞬时冲击、浪涌对变频器的干扰。根据使用位置的不同可以分为输入滤波器和输出滤波器。而输入滤波器有两种:线路滤波器和辐射滤波器。

1) 线路滤波器串联在变频器输入侧,由电感线圈组成,通过增大电路的阻抗减小频率较高的谐波电流。在使用外控端子控制变频器时,如果控制回路电缆较长,外部环境的干扰有可能从控制回路电缆侵入,造成变频器误动作,此时将线路滤波器串联在控制回路电缆上,可以消除干扰。

2) 辐射滤波器并联在电源与变频器输入侧,由高频电容器组成,可以吸收频率较高、具有辐射能量的谐波成分,用于降低辐射噪声。

输出滤波器串联在变频器输出侧,由电感线圈组成,可以减小输出电流中的谐波成分,抑制变频器输出侧的浪涌电压,同时可以减小电动机由高频谐波电流引起的附加转矩。输出滤波器从结构上分为LR滤波器单元和LC滤波器单元两种,如图3-7所示。

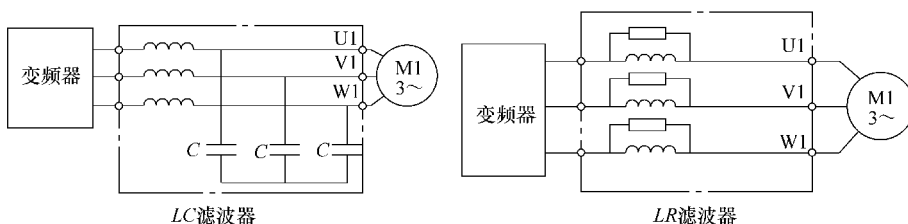


图 3-7 LR 滤波器单元和 LC 滤波器单元

4. 多脉冲晶闸管整流电路

通用变频器为六脉波整流器,因此产生的谐波较大。如果采用变压器多相运行,使相位角互差 30° ,如 Y- Δ 、 Δ - Δ 组合的变压器构成 12 脉波整流,12 脉冲晶闸管整流电路由两组晶闸管整流桥串联而成,分别由输入变压器的两组二次侧(星形和三角形,互差 30° 电角度)供电。这种整流电路的优点是把整流电路的脉冲数由 6 脉冲提高到 12 脉冲,大大降低了 5 次和 7 次谐波电流。因为对晶闸管整流电路而言,谐波电流近似为基波电流的 $1/h$ 倍(h 为谐波次数, $h = n \times p \pm 1$, 其中 n 是自然数, p 为脉冲数),可减小低次谐波电流 28%,起到了很好的谐波抑制作用。12 相脉波整流 THD_v 大约为 10%~15%,虽然 12 脉冲整流电路的谐波电流比 6 脉冲结构大大下降,但也不能达到 IEEE519-1992 标准规定的在电网短路电流小于 20 倍负载电流时谐波电流失真小于 5% 的要求。

18 脉冲晶闸管整流电路由三组晶闸管整流桥串联而成,变压器三组二次侧均为三角形,互差 20° 电角度。这个整流电路具有 12 脉冲结构的优点,其总谐波电流失真小于 5.6%,总谐波电压失真小于 2%,基本符合 IEEE519-1992 标准规定,无需安装谐波滤波装置。其缺点是需要专用变压器和整流器,不利于设备改造,价格较高。

普通电流源型变频器的输出电流不是正弦波,而是 120° 的方波,因而三相合成磁动势不是恒速旋转的,而是步进磁动势,它和基本恒速旋转的转子磁动势产生的电磁转矩除了平

均转矩以外,还有脉动分量。转矩脉动的平均值为0,会使转子的转速不均匀,产生脉动,在电动机低速时,还会发生步进现象,在适当的条件下,可能引起电动机与负载组成的机械系统共振。脉动转矩主要是由基波旋转磁通和转子谐波电流相互作用产生的。在三相电动机中,产生脉动转矩的主要是 $6n \pm 1$ 次谐波。电流型变频器(6脉冲)的输出电流中含有丰富的5次和7次谐波,5次谐波产生的旋转磁动势与基波旋转磁动势反向,7次谐波产生的旋转磁动势与基波旋转磁动势同向,而电动机转子的电气旋转速度基本接近基波磁动势的旋转速度(两者的判别对应于电动机的转差率),所以5次谐波磁动势和7次谐波磁动势都会在电动机转子中感应产生6倍于基波频率的转子谐波电流。在基波旋转磁动势和6倍频的转子谐波电流共同作用,产生6倍频的脉动转矩,所以电流型变频器(6脉冲)含有较大的6倍频脉动转矩。同样,11次和13次谐波电流也会产生一个12倍频的脉动转矩。

电流源型变频器采用12脉冲多重化后,输出电流波形更接近正弦波,由于5次和7次谐波大大降低,6倍频率脉动转矩大大减小,剩下的主要为12倍频的脉动转矩,总的转矩脉动明显降低。

普通的二电平和三电平PWM电压型变频器由于输出电压跳变台阶较大,相电压的跳变分别达到直流母线电压或直流母线电压的一半,同时由于逆变器功率器件开关速度较快,会产生较大的电压变化率,即 du/dt 。较大的 du/dt 会影响电动机的绝缘,尤其是当变频器输出与电动机之间的电缆距离较长时,由于线路分布电感和分布电容的存在,会产生行波反射作用, du/dt 会放大,在电动机端子处可增加一倍以上,使电动机绝缘损坏。所以这种变频器一般需要特殊设计的电动机,电动机绝缘必须加强。如果要使用普通电动机,必须附加输出滤波器。

在PWM电压型变频器中,当输出电压较高时,通常采取三电平PWM方式,也称NPC(Neutral Point Clamped 中点(钳位)方式,整流电路一般采用二极管,逆变部分的功率器件采用GTO、IGBT或IGCT。与普通的二电平PWM变频器相比,由于输出相电压电平数增加到3个,每个电平幅值相对下降,且提高了输出电压谐波消除算法的自由度,可使输出波形质量比二电平PWM变频器有较大的提高。为了减少输出谐波,希望有较高的开关频率,但会导致变频器损耗增加,效率下降,开关频率一般不超过2kHz。如果不加输出滤波器,三电平变频器输出电流总谐波失真可以达到17%左右,不能使用普通的异步电动机。

由于变频器输出谐波会引起电动机附加温升,电动机容量必须适当放大,热参数降低使用。谐波使电动机振动,噪声增加,电动机应采取低噪声设计并避免可能产生的振动,临界转速必须避开整个工作转速范围。转矩脉动产生的应力集中可能使电动机部件损坏,电动机关键部位必须加强。定、转子槽形应不同于标准电动机,以减少谐波引起的铜耗。采取绝缘轴承,必要时在轴上安装接地碳刷以避免轴电流使轴承损坏。由于普通变频器的输出波形中含有谐波成分,因趋肤效应而使线路等效电阻增加,同时,在逆变器低频输出时,输出电压跟着降低,线路压降占输出电压的比例增加,因此输出电缆的截面积应当比普通接线时放大一级。

5. 变频器拓扑和控制方式的优化

单一的控制方式有着各自的缺点,如果将这些单一的控制方式结合起来,可以取长补短,从而达到降低谐波、提高效率的功效。大容量的变流器减少谐波的主要方法是采用多重化技术。几千瓦到几百千瓦的高功率因数整流器主要采用PWM逆变器构成四象限交流调速

用变频器。这种变频器不但输出电压、电流为正弦波,输入电流也为正弦波,且功率因数为1,还可以实现能量的双向传递,代表了这一技术的发展方向。变频器中应用的低谐波技术可归纳如下:

- 1) 逆变单元的并联多重化,采用2个或多个逆变单元并联,通过波形叠加抵消谐波分量。
- 2) 整流电路的多重化,在PWM变频器中采用12脉冲、18脉冲或者24脉冲的整流,以减少谐波。
- 3) 逆变单元的串联多重化,采用30脉冲的串联逆变单元多重化线路,其谐波可减到很小。
- 4) 采用新的变频调制方法,如电压矢量的菱形调制等。目前,许多变频器制造厂商已非常重视谐波问题,在设计时已从技术手段上保证了变频器的绿色化,从而在根本上解决谐波问题。

6. 变频器的谐波治理与无功功率补偿的意义

在电流型变频器的整流电路中,中间直流环节的电压正比于电动机线电压额定值乘以运行点电动机实际的功率因数,再乘以转速百分比。所以,对于二次方转矩负载,直流环节电压会随着转速的下降而很快降低,所以输入整流电路必须将触发角后移,这样导致输入功率因数很快下降。另一个解释是,由于整流器电流和逆变器电流一般相等,负载所需的无功电流会直接“反射”到电网,导致输入功率因数较低。根据变频器输入、输出功率关系,有:

$$U_{in} I_{in} \cos \phi_1 \eta = U_{out} I_{out} \cos \phi_2 \quad (3-6)$$

对电流型变频器有 $I_{in} = I_{out}$, 所以

$$\cos \phi_1 = (U_{out} / U_{in} \eta) \cos \phi_2 = (f / f_{nom} \eta) \cos \phi_2 \quad (3-7)$$

式中, U_{in} 为变频器输入电压; U_{out} 为变频器输出电压; I_{in} 为变频器输入电流; I_{out} 为变频器输出电流; $\cos \phi_1$ 为变频器输入功率因数; $\cos \phi_2$ 为变频器输出功率因数; f 为变频器输出频率; f_{nom} 为变频器输入频率,即电源频率; η 为变频器效率。

从基波无功电流、谐波和间谐波电流的危害可以看出:采用就地谐波治理与无功功率补偿可以获得最大的效益。根据变频器分类,变频器供电系统的就地谐波治理与无功功率补偿装置分为:

- 1) 含各次滤波器的 TSC 动态无功功率补偿装置。
- 2) 6% 电抗的 TSC 动态无功功率补偿装置。
- 3) 固定投入各次滤波器的装置。

(1) 交-直-交电流型变频器

电网通过晶闸管三相全控桥给变频器供电,功率因数角约等于控制角 α 。供电电流包含 $6k \pm 1$ 次谐波 ($k=1, 2, 3, \dots$), 并且在直流电流无脉动的理想情况下, n 次谐波电流含量是基波电流的 $1/n$ 。实际上,直流电流脉动导致5次谐波和7次谐波含量增加,大于7次谐波的谐波含量减少。就地实现谐波治理和无功功率补偿是安装含各次滤波器的 TSC 动态无功功率补偿装置。装置中计算机根据基波无功功率投入一定数量的5次、7次、11次和13次滤波器。滤波器对基波呈容性,补偿基波无功功率;滤波器对谐波呈现很小的感性,滤除各次谐波的无功功率。

(2) 交-交变频器

电网通过晶闸管三相可逆整流桥给变频器供电，功率因数很低。电流中不仅包含 $6k \pm 1$ 次谐波 ($k = 1, 2, 3 \dots$)，还在谐波附近出现间隔为变频器输出频率的间谐波。用 5 次、7 次、11 次和 13 次滤波器可以滤除谐波，但是滤波器对一些间谐波呈容性，必然产生间谐波放大现象。就地实现谐波、间谐波治理和无功功率补偿是安装 6% 电抗的 TSC 动态无功功率补偿装置，特点是对 5 次和 5 次以上的谐波和间谐波都呈感性，没有谐波放大现象；对 5 次、7 次谐波和 5 次、7 次谐波附近的间谐波也有一定的滤波效果。

(3) 交-直-交电压型变频器

电网通过三相二极管整流桥给变频器供电，功率因数大于 0.97。由于二极管整流桥仅在网压峰顶开通，对电容器充电，电流波形是导通角较窄的尖峰。供电电流包含 $6k \pm 1$ 次谐波 ($k = 1, 2, 3 \dots$)，谐波含量随进线电抗和直流滤波电抗的电感量的增加而减少。一般来说，增加电抗器后 5 次谐波、7 次谐波、11 次谐波和 13 次谐波仍然占 40%、35%、25% 和 20%。可以安装含各次滤波器的 TSC 动态无功功率补偿装置。

3.3 变频系统的电磁干扰及抑制措施

3.3.1 变频系统的电磁干扰源及传播途径

1. 电磁干扰源

电磁干扰是指外部噪声和无用信号在接收中所造成的干扰，通常是通过电路传导和以场的形式传播的。变频器的整流桥对电网来说是非线性负载，它所产生的谐波会对同一电网的其他电子、电气设备产生谐波干扰。另外，变频器的逆变器大多采用 PWM 技术，当其工作于开关模式并做高速切换时，产生大量的耦合性噪声。因此，变频器对系统内其他的电子、电气设备来说是一个电磁干扰源。另一方面，电网中的谐波干扰主要是通过变频器的供电电源干扰变频器。

2. 电磁干扰的传播途径

变频器能产生功率较大的谐波，对系统的其他设备干扰性较强。其干扰途径与一般的电磁干扰途径是一致的，主要分为空间辐射干扰（即电磁辐射干扰）、耦合干扰、电源干扰。这些干扰源产生的辐射波频率范围广且无规律。空间辐射干扰以电磁感应的方式通过系统的壳体、导线等形成接收电路，造成对系统的干扰。变频器对相邻的其他线路产生感应耦合，感应出干扰电压或电流。同样，系统内的干扰信号通过相同的途径干扰变频器的正常工作。

(1) 电磁辐射

变频器如果不是处在一个全封闭的金属外壳内，它就可以通过空间向外辐射电磁波。其辐射场强取决于干扰源的电流强度、装置的等效辐射阻抗以及干扰源的发射频率。当变频器的金属外壳带有缝隙或孔洞，则辐射强度与干扰信号的波长有关，当孔洞的大小与电磁波的波长接近时，会形成干扰辐射源向四周辐射。而辐射场中的金属物体还可能形成二次辐射。同样，变频器外部的辐射也会干扰变频器的正常工作。

(2) 传导

电磁干扰除了通过与其相连的导线向外部辐射，也可以通过阻抗耦合或接地回路耦合将干扰带入其他电路。与辐射干扰相比，其传播的路程可以很远。比较典型的传播途径是：变

变频器所产生的干扰信号将沿着配电变压器进入中压网络,并沿着其他的配电变压器最终又进入低压配电网络,使接自低压配电网络的电气设备成为远程的受害者。

(3) 感应耦合

感应耦合是介于辐射与传导之间的第三条传播途径,当干扰源的频率较低时,干扰的电磁波辐射能力相当有限,而该干扰源又不直接与其他导体连接,但此时的电磁干扰能量可以通过变频器的输入、输出导线与其相邻的其他导线或导体产生感应耦合,在邻近导线或导体内感应出干扰电流或电压。感应耦合可以由导体间的电容耦合的形式出现,也可以由电感耦合的形式或电容、电感混合的形式出现,这与干扰源的频率以及与相邻导体的距离等因素有关。

3.3.2 变频调速系统中的抗电磁干扰措施

根据电磁学的基本原理,形成电磁干扰需具备三要素:电磁干扰源、电磁干扰途径、对电磁干扰敏感的系统。为防止干扰,可采用硬件抗干扰和软件抗干扰措施。其中,硬件抗干扰是最基本和最重要的抗干扰措施,一般从抗和防两方面入手来抑制干扰,总的原则是抑制和消除干扰源、切断干扰对系统的耦合通道、降低系统对干扰信号的敏感性。

在一般功率晶体管应用的时期,只要在设备本身采取一定的抗干扰措施即可解决干扰问题。但现代变频器由于所用的 IGBT 的载波频率高达 $3 \sim 12\text{kHz}$,使过去仅考虑谐波的影响是不行的,还必须从配电工程和接地等方面消除高频的干扰。在工业现场中,必须采取适当的措施降低干扰,把干扰抑制在允许的范围内。具体的抗干扰措施在工程上可采用隔离、滤波、屏蔽、接地等方法。

1. 隔离

所谓干扰隔离,是指从电路上把干扰源和易受干扰的部分隔离开来,使它们不发生电的联系。在变频调速传动系统中应采用的隔离措施主要有:

- 1) 使所有的信号线很好地绝缘,使其不漏电,这样可防止由于接触而引入的干扰。
- 2) 将不同种类的信号线隔离铺设(不在同一电缆槽中或不在同一电缆槽中用隔板隔开),可以根据信号的不同类型将其按抗噪声干扰的能力分类敷设。
- 3) 模拟量信号(模入、模出,特别是低电平的模式信号如热电偶信号、热电阻信号等)对高频脉冲信号的抗干扰能力是很差的,应采用屏蔽双绞线连接,且这些信号线必须单独采用电线管或电缆槽敷设,不可与其他信号在同一电缆管(或槽)中走线。
- 4) 低电平的开关信号(一些状态干结点信号)、数据通信线路(RS-232、EIA485等)对低频的脉冲信号的抗干扰能力比模拟量信号要强,但也要采用屏蔽双绞线(至少用双绞线)传输。此类信号也要单独走线,不可和动力线或大负载信号线在一起平行走线。
- 5) 高电平(或大电流)的开关量输入/输出及其他继电器输入/输出信号的抗干扰能力又强于以上两种,但这些信号会干扰别的信号,因此采用双绞线传输,也要用单独电线管或电缆槽敷设。
- 6) 系统的控制电源应采用隔离变压器供电,以免传导干扰,电源隔离变压器的屏蔽层要可靠接地。

还有一种隔离是将信号源同变频器在电气上进行隔离,这样会大大地减小共模干扰对变频调速系统造成的危害。采用隔离放大器将外部信号输入端与变频器信号输入端完全隔离

(有的系统中采用隔离变压器或继电器等方式隔离,对开关量则可以采用光电器件或继电器进行隔离)。

2. 屏蔽

屏蔽就是用金属导体,把被屏蔽的元件、组合件、信号线包围起来。这种方法对电容性耦合噪声的抑制效果很好。最常见的就是用屏蔽双绞线传输模拟信号,但在很多场合下,信号除了受到电噪声的干扰以外,主要还受到强交变磁场的影响,除了要考虑电气屏蔽以外,还要考虑磁屏蔽,即考虑用铁、镍等导磁性能好的导体进行屏蔽。

用双绞线代替两根平行导线是抑制磁场干扰的有效办法,双绞线的每个小绞纽环中都会通过交变的磁通,而这些变化的磁通会在周围的导体中产生电动势,由电磁感应定律决定了相邻绞纽环中在同一导体上产生的电动势方向相反,相互抵消,这对电磁干扰起到了较好的抑制作用。

屏蔽电场耦合干扰时,导线的屏蔽层最好不要两端连接当地线使用。因为在有地环电流时,将在屏蔽层形成磁场,干扰被屏蔽的导线,正确的做法是把屏蔽层单点接地。

造成电场耦合干扰的原因是两根导线之间的分布电容产生的耦合,当两导线形成电场耦合干扰时,导线1在导线2上产生的对地干扰电压 U_N 为

$$U_N = \frac{j\omega C_{12}}{1/R + j\omega C_{2G}} U_1 \quad (3-8)$$

式中, U_1 和 ω 是干扰源导线1的电压和角频率; R 和 C_{2G} 是被干扰导线2的对地负载电阻和总电容; C_{12} 是导线1和导线2之间的分布电容,通常 $C_{12} \ll C_{2G}$ 。

可以看出,在干扰源的角频率 ω 不变时,要想降低导线2上的被干扰电压 U_N ,应当减小导线1的电压 U_1 ,减小两导线之间的分布电容 C_{12} ,减小导线2对地负载电阻 R 以及增大导线2对地的总电容 C_{2G} 。在这些措施中,可操作性最好的是减小两导线之间的分布电容 C_{12} ,即采用远离技术:弱信号线要远离强信号线敷设,尤其是远离动力线路。工程上的“远离”概念,通常取干扰导线直径的40倍,即认为足够了。同时,避免平行走线也可以减小 C_{12} 。

抑制磁场耦合干扰的好办法应该是屏蔽干扰源,在工程上通常是采用一些被动的抑制技术。当回路1给回路2造成磁场耦合干扰时,其在回路2上形成的串联干扰电压 U_N 为

$$U_N = j\omega \bar{B} \bar{A} \cos\theta \quad (3-9)$$

式中, ω 为干扰信号的角频率; $\bar{B}$ 为干扰源回路1形成的磁场链接至回路2处的磁通密度; $\bar{A}$ 为回路2感受磁场感应的闭合面积; θ 是 $\bar{B}$ 和 $\bar{A}$ 两个矢量的夹角。

可以看出,在干扰源的角频率 ω 不变时,要想降低干扰电压 U_N ,首先应当减小 $\bar{B}$ 。对于直线电流磁场来说, $\bar{B}$ 与回路1流过的电流成正比,而与两导线的距离成反比。因此,要有效抑制磁场耦合干扰,仍然是远离技术。同时,也要避免平行走线。

(1) 屏蔽线的使用

图3-8示出了屏蔽线的三种用法。图3-8a是单端接地方式。假设信号电流 i_1 从芯线流入屏蔽线,流过负载电阻 R_L 之后,再通过屏蔽层返回信号源。因为 i_1 与 i_2 大小相等方向相反,所以它们产生的磁场干扰相互抵消。这是一个很好的抑制磁场干扰的措施,同时它也是一个很好的抵制磁场耦合干扰的措施。图3-8b是两端接地方式。由于屏蔽层上流过的电流是 i_2 与地环电流 i_G 的叠加,所以它不能完全抵消信号电流所产生的磁场干扰。因此,它抑制

磁场耦合干扰的能力比图 3-8a 差。图 3-8c 是屏蔽层不接地, 因此, 它只有屏蔽电场耦合干扰的能力, 而无抑制磁场耦合干扰的能力。

如果把图 3-8c 的抑制磁场干扰衰减能力定为 0dB, 当图 3-8a、图 3-8b、图 3-18c 的信号源内阻 R_S 都为 100Ω , 负载电阻 R_L 都为 $1M\Omega$, 信号源频率在 $50kHz$ 时, 根据实验测定, 图 3-8a 具有 80dB 的衰减, 即抑制磁场干扰能力很强, 而图 3-8b 具有 27dB 的磁场干扰抑制能力。图 3-8a 的单端接地方式抗干扰能力最好。其接地点的选择可以是图 3-8a 中的情况, 也可以选择负载电阻 R_L 侧接地, 而让信号源浮置。

(2) 双绞线的使用

双绞线的绞扭节距把式 (3-8) 中的 $\bar{A}$ 回路分隔成许多的小回路, 如果双绞线的绞扭一致, 那么这些小回路的面积相等而法线方向相反, 因此, 其磁场干扰

可以相互抵消。双绞线的结构对电场耦合干扰的抑制毫无能力。图 3-9 示出了双绞线的用法及其抗磁场耦合干扰的能力。如果每 $2.54cm$ 扭 6 个均匀绞扭, 当图 3-9 的信号源内阻 R_S 都为 100Ω , 负载电阻 R_L 都为 $1M\Omega$, 信号源频率在 $50kHz$ 时, 根据实验测定, 图 3-9a 采用单端接地方式, 因此对磁场干扰具有高达 55dB 的衰减能力。可见, 双绞线确实有很好的效果。而图 3-9b 由于两端接地, 地线阻抗与信号线阻抗不对称, 地环电流造成了双绞线电流不平衡, 因此降低了双绞线抗磁场干扰的能力, 只有 13dB 的磁场干扰衰减能力。图 3-9c 使用屏蔽双绞线, 由于其屏蔽层一端接地, 另一端悬空, 因此屏蔽层上没有返回信号电流, 所以它的屏蔽层只有抗电场干扰的能力, 而无抑制磁场耦合干扰的能力。所以图 3-9c 的 dB 数与图 3-9a 一样具有 55dB 的衰减能力。图 3-9d 的屏蔽层单端接地, 而另一端又与负载冷端相连, 因此它具有图 3-9a 的效果, 但它的屏蔽层上的电流由于被双绞线中的一根分流, 又比图 3-9a 稍差, 具有 77dB 的衰减能力。图 3-9e 的屏蔽层两端接地, 具有一定的抑制磁场耦合干扰的能力, 加上双绞线本身的作用, 因此具有 63dB 的衰减能力。图 3-9f 的屏蔽层和双绞线都两端接地, 因此其效果只是比图 3-9b 稍好, 具有 28dB 的衰减能力。

双绞线最好的应用是作平衡式传输线路。因为两条线的阻抗一样, 自身产生的磁场干扰或外部磁场干扰都可以较好的抵消。同时, 平衡式传输又具有很强的抗共模干扰能力, 因此成为大多数通信网络的传输线。例如, 物理层采用 RS-422A 或 RS-485 通信接口, 就是很好的平衡传输模式。

(3) 通信线屏蔽接地

在采用上位机 PC/PLC 通过 RS-232/485 与变频器通信时, 由于变频器通信控制信号一般低于 $100kHz$, 所以一般不用带状电缆, 而采用屏蔽电缆或者双绞线。但是, 在实际应用过程中, 由于接地不当, 经常出现接地比不接地通信误码率高的现象。据有关资料和实践证明, 在通信速率低于 $100kHz$ 时, 选用一点接地效果较好, 对于采用 Profibus、Modbus 总线控制的高速率通信控制电缆的屏蔽层应该选用多点接地, 最少也应该两端接地, 在通信线路较长时在网络的终端加终端匹配电阻等抗干扰措施。对于电缆的多点接地, 可以减少屏蔽层

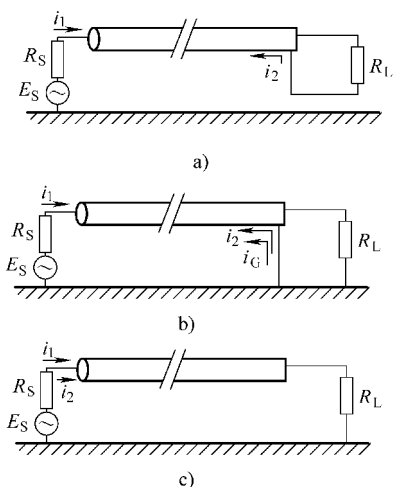


图 3-8 屏蔽线的用法

a) 单端接地 b) 两端接地 c) 屏蔽层不接地

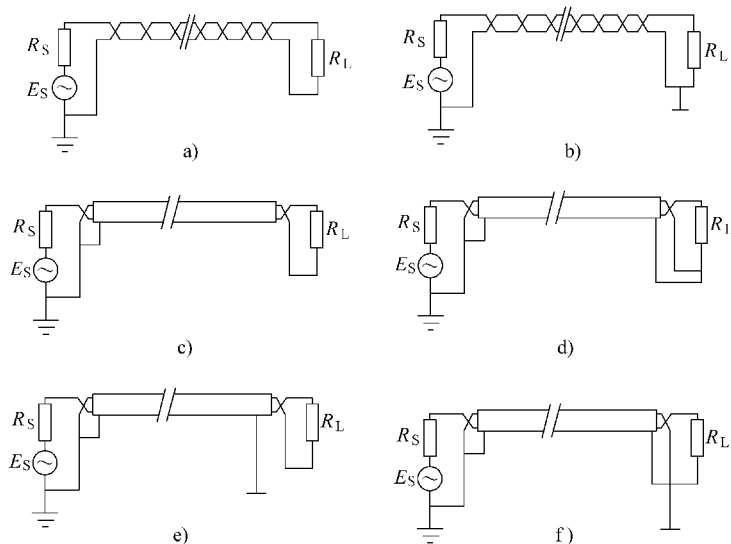


图 3-9 双绞线的用法及其抗磁场耦合干扰能力

的静电耦合。另外，还有一个根据传输信号的波长来判别接地方式的参考标准。以传输信号的波长 λ 的 $1/4$ 为界，通信传输线长度小于 $\lambda/4$ 时采用一点接地；长度大于 $\lambda/4$ 时，由于屏蔽层也能起到天线作用，应采用多点接地，在多点接地时，最理想的情况是每隔 $0.05\lambda \sim 0.1\lambda$ 有一个接地点。

另外，在传输上升、下降沿非常陡峭的信号时，也应实施多点接地。如果从干扰角度讲，低频干扰严重时应采用屏蔽单点接地；在高频干扰情况下要多点接地，同时在通信电缆中提供一根等电位线将各节点的通信地串起来，以提高抗干扰能力。

(4) 传感器信号屏蔽接地问题

在高精度快速响应的变频调速系统中，一般要安装速度传感器（如脉冲编码器、旋转变压器）来进行速度或位置闭环，或者在生产线和设备上安装压力、温度、张力、线速度等检测传感器。这些传感器的一个共同特点是：为了提高抗干扰能力，信号线均采用屏蔽线，而且屏蔽线在传感器内部与传感器壳体接在一起。当传感器安装在电动机、管道或者生产线上时，屏蔽层就与这些设备相连接，而在传感器与变频器或其他控制设备连接时，屏蔽层又连接至 PE 端子。如果此时变频器或外部设备接地不良，就会出现通过屏蔽层接地的情况，形成对地电流 I_E ，对系统工作的可靠性产生很大的影响，严重时，系统将无法工作。因此，在采用外部传感器的闭环控制系统中，距离较远时，一定要保证外部设备和变频器的可靠独立接地，或者选用传感器外壳不与控制屏蔽层连接的传感器，在变频器侧实施一点接地；距离较近时，可采用公共接地母排接地，保证传感器与变频器接地点之间的电位差近似为零，从而消除地环流形成的干扰。

(5) 模拟信号屏蔽层接地

实践证明，双绞线或双绞屏蔽线对磁场的屏蔽效果明显优于单芯屏蔽线，对于采用标准 $4 \sim 20\text{mA}/0 \sim 10\text{V}/1 \sim 5\text{V}$ 模拟信号控制的变频调速系统，必须采用双绞线或屏蔽电缆。由于模拟信号频带较窄，应将控制装置和变频器之间的信号电缆在线路对地分布电容大的一端接

地,这样能够减少信号电缆对地分布电容的影响。在实际的系统中,一般在信号电缆数量多的控制装置一侧接地。另外,对于抗干扰要求非常高的场合,可采用双重静电屏蔽电缆,此时,外屏蔽层接至屏蔽地线,内屏蔽层接至系统地线。系统地线可以是变频器外部控制隔离地、模拟控制地,或者是系统独立的接地线。对于共模干扰严重的场合,可通过添加共模电感来消除共模干扰,也可采用DC/DC隔离模块来实现电气隔离,杜绝干扰。

3. 接地

接地的作用总的概括起来有两个:保护人和设备不受损害的保护接地和为抑制电磁干扰的接地,在有的书中又叫工作接地。变频调速系统的接地通常有以下几类。

(1) 保护接地

保护接地是将变频调速系统中平时不带电的金属部分(机柜外壳、操作台外壳等)与地之间形成良好的电气连接,以保护设备和人身安全。通常情况下变频器外壳等是不带电的,当故障发生(如主机电源故障或其他故障)造成电源的供电相线与外壳等导电金属部件短路时,这些金属部件或外壳就形成了带电体,如果没有很好的接地,那么这个带电体和地之间就有很高的电位差,如果人不小心触到这些带电体,就会通过人身形成通路,造成危险。因此,必须将金属外壳和地之间做很好的电气连接,使机壳和地等电位。此外,保护接地还可以防止静电的积聚。

变频调速系统的所有设备均有一个保护地,该保护地一般在机柜和其他设备设计加工时就已在内部接好,有的系统中已将该保护地在内部同电源进线的保护地连在一起,有的不允许将保护地同该线相连,应用中一定要仔细阅读厂家提供的接地安装说明书。不管哪种方式,保护地必须将一系统上所有的外部设备或单元设备的保护地采用较粗的绝缘铜导线连接在一点,最后从这一点上与大地接地系统相连。变频调速系统的所有外部设备必须从一条供电线上供电,而不允许从其他回路供电,否则可能会损坏接口设备。对于不得不用长线连接的场合,应用较粗的导线供电,或采取通信隔离措施。

(2) 工作接地

工作接地是为了使变频调速系统以及与之相连的外部设备均能可靠运行,并保证测量和控制精度而设的接地。它分为逻辑地、信号回路接地、屏蔽层接地。

1) 逻辑地也称为主机电源地,是变频器内部的逻辑电平负端公共地,也是+5V等电源的输出地。

2) 信号回路接地,如各变送器的负端、开关量信号的负端地等,信号回路接地的处理原则是不允许各变送器和其他的传感器在现场端接地,而都应将其负端在变频器接地端子处一点接地。但在有些场合,现场端必须接地,这时,必须注意信号的输入端子绝对不许和变频调速系统的接地线有任何电气连接,而变频调速系统在处理这类信号时,必须在前端采用有效的隔离措施。

3) 模拟信号的屏蔽层接地。模拟信号的屏蔽层接地是所有的接地中要求最高的一种,几乎所有的系统都提出模拟地要一点接地,而且接地电阻小于 1Ω 。在变频器设计和制造中,在机柜内部都安置了模拟地汇流排或其他设施。在接线时将屏蔽线分别接到模拟地汇流排上,然后将各机柜的汇流点再用绝缘多股铜导线或铜条以辐射状连接到地点。

(3) 供电系统地

在很多企业,特别是电厂、冶炼厂等,其厂区内有一个很大的地线网,而通常供电系统

的地是与地线网连在一起的。有的厂家强调变频调速系统的所有接地必须和供电系统地以及其他地（如避雷地）严格分开，而且之间至少应保持 15m 以上的距离。为了彻底防止供电系统地的影响，在变频器供电线路用隔离变压器隔开。这对那些电力负荷很重，而且负荷起停较频繁的用电系统是应注意的。

所有变频调速系统接线涉及的接地采用一点接地方式，在这一点上，也有很多争议。有的系统提出几个地（逻辑地、屏蔽地（又叫模拟地）、信号地、保护地）分别各自接地，而大部分系统则指出各种地在机柜内部自己分别接地，汇于一点，然后用较粗的导体（铜）将各汇地点连起来，接到一个公共的接地体上。从抑制干扰的角度来看，将电力系统和变频调速系统的所有地分开是很有好处的，因为一般电力系统地线的干扰都很大。但从工程的角度来看，在有些场合下单设变频调速系统地并保证其与供电系统地隔开一定距离是很困难的，这时可以考虑能否将变频调速系统的地和供电地共用一个，这要考虑以下几个因素：

1) 供电系统地上是否干扰很大，如大电流设备起停是否频繁，对地产生的干扰是否大。

2) 供电系统地的接地电阻是否足够小，而且整个地网各个部分的电位差是否很小，即地网的各部分之间是否阻值很小。

3) 变频调速系统的抗干扰能力以及所用到的传输信号的抗干扰能力，例如有无小信号（热电偶、热电阻）直接传输等。

(4) 测试中的接地问题

在变频器产品的维修过程中，由于采用三相逆变桥控制，在输出功率模块损坏时，需采用示波器观察三相驱动的输出电压、电流波形。一般对于小功率变频器，开关管 T_1 、 T_3 、 T_5 采用三组独立的驱动电源，开关管 T_4 、 T_6 、 T_2 采用一组驱动电源，四组电源间及与大地之间的绝缘电压要求达到 DC2000V 以上，而对于大功率变频器，为了减少彼此之间的干扰，开关管 $T_1 \sim T_6$ 采用六组独立电源。因此，在采用示波器测量 PWM 驱动波形时，最好不要直接测量，应采用高压探头进行测量。如无隔离措施，应将示波器电源接地端子拔掉，以确保示波器机壳带电部分与其他电源或线路绝缘，特别是将示波器放置于导电的防静电实验台上时，要注意其外露金属壳体部分不与导电桌布接触，然后采用带衰减的示波器探头直接测量。

以上讨论了几种接地的方法在不同的系统中，对这几种接地的接地电阻要求是不同的，但大多数系统对模拟地的接地电阻一般要求在 1Ω 以下，保护地和工作地的接地电阻应小于 4Ω 。实践证明，接地往往是抑制噪声和防止干扰的重要手段。良好的接地方式可在很大程度上抑制内部噪声的耦合，防止外部干扰侵入，提高系统的抗干扰能力。变频器本身有专用接地端子 PE 端，从安全和降低噪声的需要出发，必须接地。既不能将地线接在电气设备的外壳上，也不能接在零线上。可用较粗的短线一端接到变频器的 PE 端，另一端与接地极相连，接地电阻应小于 1Ω ，接地线长度在 20m 以内，并注意合理选择接地极的位置。

4. PE 线中的漏电流

在变频器的输入回路一般均安装电源浪涌抑制器或电磁干扰滤波器等，在直流侧加装直流电抗器，在输出侧安装输出电抗器等附件，附件的屏蔽层对地线之间产生很大的漏电流。经过测试，目前许多变频器 PE 端接入系统地线时漏电流达到了 300mA 以上，而我国消防有关规定，要求 PE 地线中漏电流应小于 210mA，这样许多变频器是不符合防火要求的。因此

对于火警危险的工作场所，在使用变频器时一定要确认地线对地漏电流是否符合标准，以防止由于绝缘故障引起的火灾。如果变频器与电动机的连线比较短，而且电动机与变频器同时采用一点接地，分布参数比较小，则漏电流可以忽略不计；如果变频器与电动机的连线较长，分布参数比较大，漏电流分量将增大，致使 PE 线中的漏电流超标。

3.3.3 变频调速系统中的共模噪声及抑制

共模噪声是一种相对于参考地的电噪声信号，作为变频调速系统负面效应的一种，其带来的电磁干扰问题将严重影响变频调速系统的正常工作。共模噪声所涉及的控制信号干扰包括：光码速度反馈信号，0 ~ 10V 或 4 ~ 20mA 的 I/O 信号，PLC 及变频器的通信（RS - 232、RS - 485、RemoteI/O、DH +、Scanport 及 DeviceNet）等。

1. 变频调速系统噪声源分析

目前，大多数变频器采用的功率开关器件为 IGBT，其典型的上升时间为 50 ~ 100ns。高速开关器件所带来的好处在于变频器总体效率的提高、减少电动机电流的谐波以及减小散热器的体积等。但是，变频器输出电压的高 du/dt 会通过电缆或电动机对地的杂散电容产生噪声电流，变频调速系统产生的共模噪声如图 3-10 所示，这种噪声电流被称为共模电流（或零序电流、对地电流）。对于 50ns 上升时间的 IGBT，其产生的共模电流频谱可高达 6MHz。因此，IGBT 的开关频率越高，变频器输出电压的 du/dt 越大，所产生的共模电流也越多。系统的共模噪声也会随变频调速系统中所采用的变频器数量的增加而增大。变频调速系统所涉及的共模噪声问题与系统中的接地状况有着密切的关系，首先对两个概念加以描述：

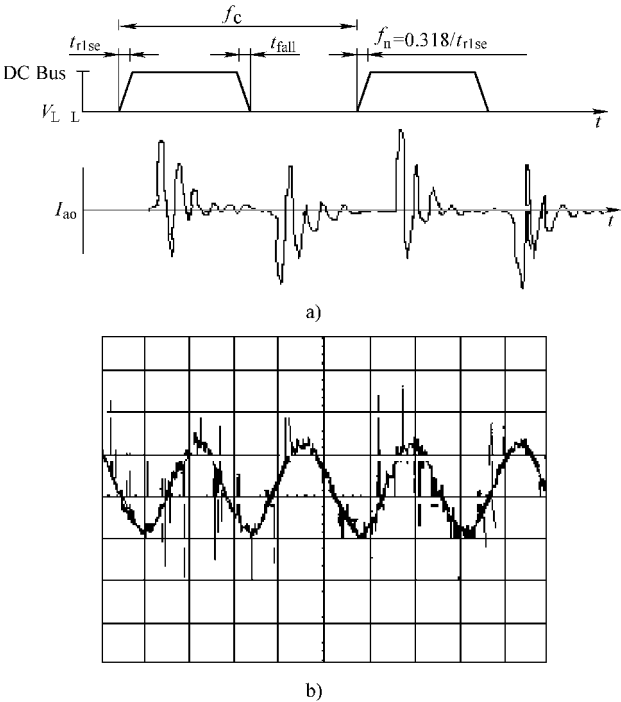


图 3-10 变频调速系统产生的共模噪声

a) 共模电流示意波形 b) 1.5kW 变频器输出电流波形（同时包括共模和差模电流）

TEGround (TrueEarth): 连接至大地 (零参考电位) 的建筑物中的金属构架通常在工业应用中作为 TE, 其接地电阻与土壤的电阻系数有关, 通常为 $1 \sim 2\Omega$ 。

PEGround (PowerEquipment): PE 通常作为设备的安全地, 当变频器中的金属部件没有接地时, 其表面可产生由于漏电流充电而带来的高于安全接触的电位。因此, 在变频器柜中必须设置 PE 母排, 并将多台变频器或其他控制设备 (如 PLC) 的金属背板的 PE 端子连接至 PE 母排。与变频器输入/输出连接电缆相关的屏蔽层, 金属电缆管或线槽也必须连接至 PE 母排, PE 母排单端与 TE 相连。

图 3-11 所示为一不良接地变频调速系统的共模噪声问题。变频器与电动机间采用非屏蔽三相三线电缆, 随意排放在电缆线槽中, 电动机外壳通过导线接 PE。变频器输出电压的 du/dt 产生的共模电流, 部分通过电缆对线槽的杂散电容流经 B 点进入 PE, 其余共模电流通过电动机内部的杂散电容流经 A 点进入 PE。所有共模电流流经 PE, 最后在供电变压器二次侧接地中点 (X_0) 返回到变频器内部。

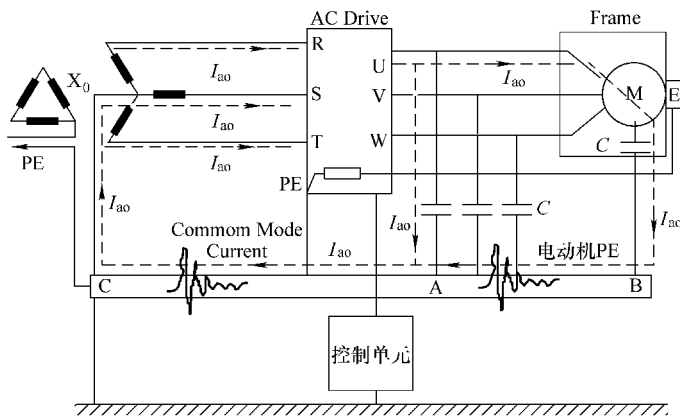


图 3-11 不良接地变频调速系统的共模噪声问题

变频调速控制系统中的 PE 网络对于高频共模电流具有高阻抗特性, 因此会在系统中不同 PE 点之间产生电位差, 或称之为共模噪声电压。在图 3-11 中, C 点与 A 点、C 点与 B 点、A 点与 B 点之间有一定的共模噪声电压, 从而影响到外围控制设备 (如 PLC) 与变频器之间的正常控制操作。

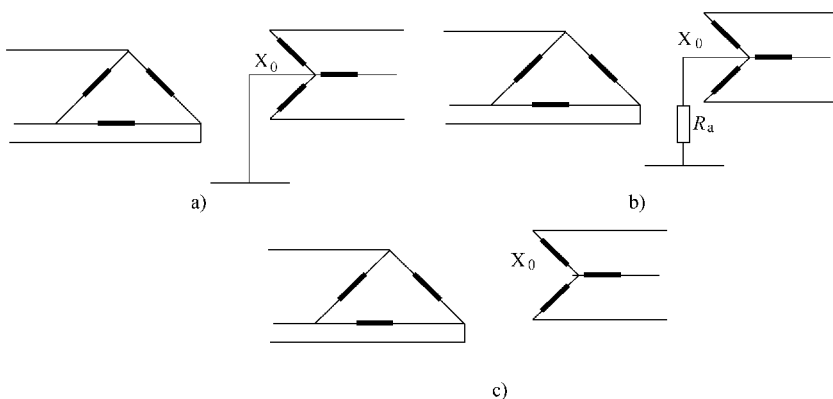
2. 共模噪声抑制对策

根据工程实际经验, 通常有三种基本对策用于共模噪声的抑制: 系统接地方式的改进、减弱噪声源以及噪声屏蔽。

(1) 系统接地方式

变频调速系统供电变压器二次侧中点 X_0 的接地方式如图 3-12 所示。通常由用户根据自己的需要来决定, 不同接地方式对系统中的共模噪声会产生不同的影响。

当变频调速系统供电变压器二次侧中点 X_0 采用可靠接地方式时, 其对共模电流为低阻抗特性, 本系统 PE 网络中的所有共模电流将通过此中点返回到变频器内部。相对于其他接地方式, 供电变压器二次侧中点 X_0 的可靠接地将在变频调速系统内部产生最大幅值的共模电流。从另一角度考虑, 当供电变压器二次侧出现对地电压瞬变 (如浪涌) 时, 二次侧中点 X_0 的可靠接地可大大减弱其对二次侧负载的影响, 减少变频器内部过电压保护的负担。

图 3-12 变频调速系统供电变压器二次侧中点 X_0 的接地方式

a) 直接接地 b) 高阻接地 c) 不接地

当采用高阻抗接地方式时, 通常在供电变压器二次侧中点 X_0 与地之间串联一个 $150 \sim 200\Omega$ 的电阻, 从而大大减弱了系统中共模电流的幅值, 共模噪声得到有效抑制, 设计中需要权衡由此而增加的一次侧对地电压瞬变对二次侧变频器的影响。

当变频调速系统供电变压器二次侧中点 X_0 不接地时, 共模电流的返回通路被切断, 系统中共模噪声达到最小。但是, 系统的安全性大大降低, 供电变压器一次侧的对地电压瞬变会直接影响到变频器的安全运行。

(2) 减弱噪声源

最好的噪声抑制方法是减弱噪声源, 在变频器输出侧加装共模扼流圈是一种经济、有效的方法。共模扼流圈在不影响变频器输出电压的前提下, 对高频对地电流噪声呈现高阻特性, 大大减小了共模电流的上升时间和幅值, 共模扼流圈的应用效果如图 3-13 所示, 从而减小了系统 PE 网络中的共模噪声电压。同时, 共模扼流圈具有相对于输出电抗器更小的体积。

(3) 噪声屏蔽

噪声屏蔽作为共模噪声抑制的第三种对策, 其主要原理在于构造共模噪声的新通路, 尽量减小变频调速系统 PE 网络中流过的共模电流, 从而避免对接于本系统 PE 网络敏感电气设备的干扰。

1) 三相四线电缆

图 3-14 所示为三相四线电缆对共模噪声的屏蔽作用, 变频器与电动机间采用三相四线电缆, 并排放在电缆金属保护管中。电缆金属保护管的两端分别接到变频器外壳和电动机接线盒, 电缆中的中线分别接到变频器的 PE 端子和电动机的地接线端子。部分共模电流将通过电缆金属保护管的接地点以及电动机机壳接入 PE, 大部分共模电流将在电缆金属保护管及中线中流过, 因此, C 点与 B 点之间的共模噪声电压将有效地减小。同时, 电缆金属保护管也将有效地抑制电动机电缆

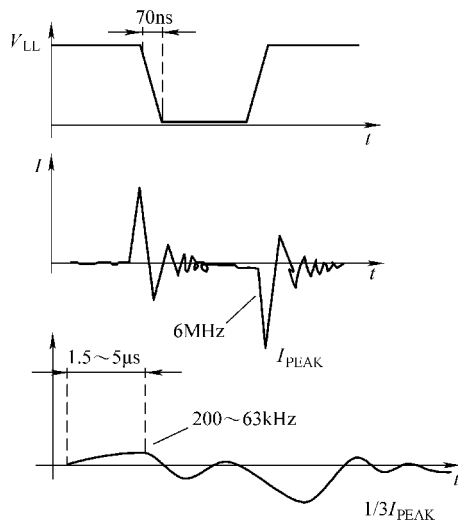


图 3-13 共模扼流圈的应用效果

的对外辐射电磁干扰。

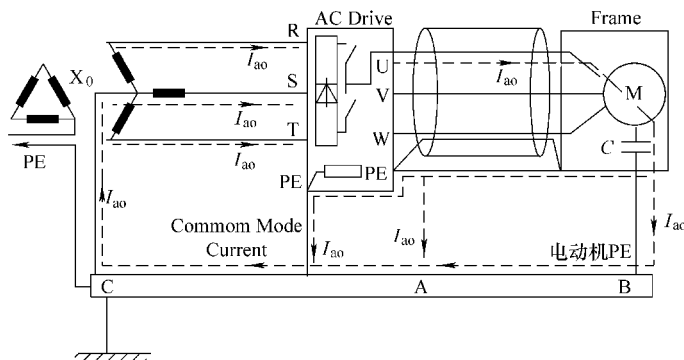


图 3-14 三相四线电缆对共模噪声的屏蔽作用

在图 3-14 所示的系统中，共模电流流经变频器的 PE 端和供电变压器二次侧中点 X_0 ，最后返回到变频器的输入侧，当某些敏感电气设备接于 C 点与 TE 之间时，仍将受到共模噪声电压的干扰。因此，应在供电变压器与变频器之间也采用三相四线电缆，并尽量减小供电变压器与变频器之间的距离。

2) 屏蔽电力电缆。采用屏蔽电力电缆是一种非常有效的共模噪声抑制方案，屏蔽电力电缆对共模噪声的屏蔽作用如图 3-15 所示。由于屏蔽电力电缆中的屏蔽层对高频信号的阻抗非常小，并且其 PVC 外壳对地有绝缘特性，因此，几乎所有的共模电流被有效地控制在屏蔽电力电缆中流过。同时，屏蔽层也将有效地抑制电动机电缆对外辐射电磁干扰。

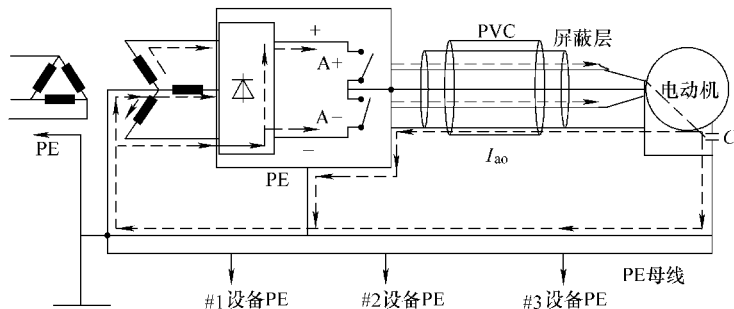


图 3-15 屏蔽电力电缆对共模噪声的屏蔽作用

变频调速系统中的共模电流流经变频器的 PE 端和供电变压器二次侧中点 X_0 ，最后返回到变频器的输入侧。当供电变压器与变频器之间距离较远时，敏感电气设备仍将受到共模噪声电压的干扰。因此，也应在供电变压器与变频器之间采用屏蔽电力电缆。

3. 变频器柜布线

变频器机壳通常作为变频器内部控制系统的参考电位，因此，必须尽量减小流过用于安装变频器的机柜背板中的噪声电流，防止出现变频器的 PE 端与本系统中远端其他相关电子设备参考电位之间的噪声电压，以提高系统的可靠性。

图 3-16 所示为一个包含多台变频器及 PLC 的变频器柜布线实例。在不正确的布线实例中，变频器输出电缆被安装在靠近 PLC 背板的正上方，电缆屏蔽层接在机柜上方，变频器输入采用非屏蔽且未采用金属保护管的三相三线电缆，变频器柜 PE 母排在靠近 PLC 背板的

下方与 TE 相连。对于这样一个布线系统，由于变频器产生的共模电流将通过电缆屏蔽层及电缆中线流回到机柜，并通过系统中的 PE 通路经 TE 及供电变压器二次侧中点 X_0 最后返回到变频器的输入侧，因此有大量噪声电流流过用于安装 PLC 的机柜背板，如图 3-16a 所示，将严重干扰 PLC 控制系统的正常工作。

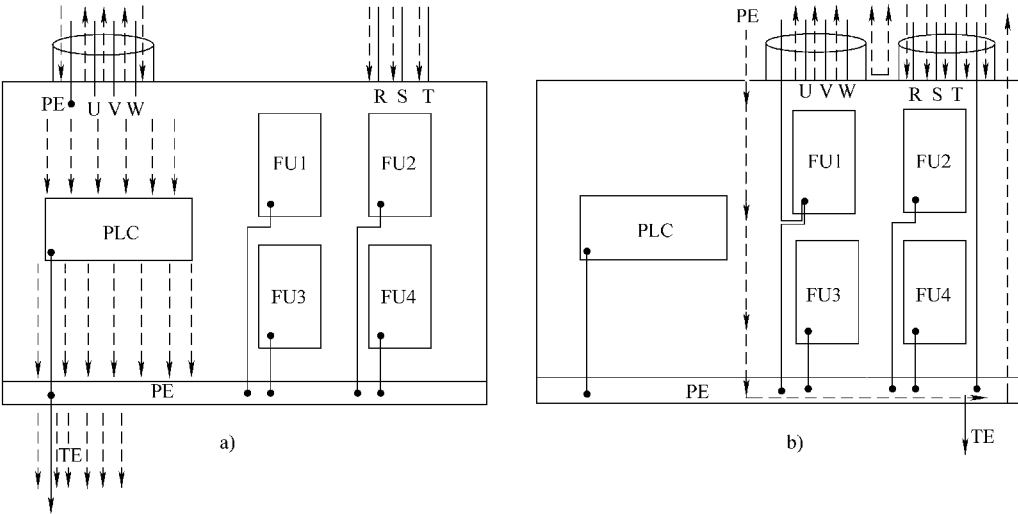


图 3-16 变频器柜布线实例
a) 不正确布线 b) 正确布线

系统的改进如图 3-16b 所示，变频器输出电缆被安装在靠近变频器背板的正上方，输出电缆中线接到变频器的 PE 端。同时，变频器输入也采用三相四线屏蔽电缆，并且，变频器柜 PE 母排与 TE 相连接点被放在靠近变频器背板的下方。由图 3-16b 可见，布线改进后，有效地减少了流过用于安装 PLC 的机柜背板的噪声电流。

3.3.4 变频器周边控制回路的抗干扰措施

由于变频器主回路的非线性（进行开关动作），变频器本身就是谐波干扰源，而其周边控制回路却是小能量、弱信号回路，极易遭受其他装置产生的干扰，造成变频器自身和周边设备无法正常工作。因此，变频器在安装使用时，必须对控制回路采取抗干扰措施。

1. 变频器与电动机的距离对系统的影响及防止措施

在工业使用现场，变频器与电动机安装的距离可以大致分为三种情况：远距离、中距离和近距离。20m 以内为近距离，20 ~ 100m 为中距离，100m 以上为远距离。在变频器与电动机间的接线距离较长的场合，来自电缆的谐波漏电流会对变频器和周边设备产生不利影响。因此，为减少变频器的干扰，需要对变频器的载波频率进行调整。变频器的载波频率与接线距离关系见表 3-8。

表 3-8 变频器的载波频率与接线距离关系

变频器与电动机间的接线距离	50m 以下	1000m 以下	50m 以上
载波频率	15kHz 以下	10kHz 以下	5kHz 以下

在设计中总是希望把变频器安放在被控电动机的附近，但是，由于生产现场空间的限

制, 变频器和电动机之间往往要有一定距离。如果变频器和电动机之间为 20m 以内的近距离, 电动机可与变频器直接连接; 对于变频器和电动机之间为 20 ~ 100m 的中距离连接, 需要调整变频器的载波频率来减少谐波及干扰; 而对于变频器和电动机之间为 100m 以上的远距离连接, 不但要适度降低载波频率, 还要加装输出交流电抗器。

在高度自动化的工厂里, 可以在中心控制室监控所有的控制设备, 变频器系统的信号也要送到中心控制室, 变频器的安装位置若在中心控制室, 总控台与变频器之间可以直接连接, 通过 0 ~ 5/10V 的电压信号和一些开关量信号进行控制。但是, 变频器的高频开关信号的电磁辐射对弱电控制信号会产生一些干扰。如果变频器与中心控制室距离远一点, 可以采用 4 ~ 20mA 的电流信号和一些开关量作控制信号; 如果距离更远, 可以采用 RS-485 串行通信方式来连接; 若还要加长距离, 可以利用通信中继达到 1km 的距离; 如果采用光纤连接器, 可以达到 23km。采用通信电缆连接可以很方便地构成多级控制系统, 从而实现主、从和同步控制等要求。与目前流行的现场总线系统相连接将使数据变换速率大大提高。中心控制室与变频器机柜之间的距离的延长, 有利于缩短变频器到电动机之间的距离, 以便使用更加合理的布线改善系统性能。总之, 安装变频器时, 需要综合考虑中心控制室、变频器、电动机三者之间的距离, 尽量减少电磁干扰的影响, 以提高变频调速系统的稳定性。

2. 变频器的基本控制回路

变频器同外部进行信号交流的基本回路有模拟与数字两种:

- 1) 4 ~ 20mA 电流信号回路 (模拟); 1 ~ 5V/0 ~ 5V 电压信号回路 (模拟)。
- 2) 开关信号回路, 变频器的开停指令、正反转指令等 (数字)。

外部控制指令信号通过上述基本回路输入变频器, 同时干扰源也在其回路上产生干扰电动势, 以控制电缆为媒体入侵变频器。

(1) 干扰的基本类型及抗干扰措施

1) 静电耦合干扰, 指信号电缆与周围电气回路因静电耦合而在电缆中产生的电动势。抗静电耦合干扰的措施是: 加大与干扰源电缆的距离, 达到导体直径 40 倍以上, 这样干扰程度就不大明显。在两电缆间设置屏蔽导体, 再将屏蔽导体接地。

2) 静电感应干扰, 指周围电气回路产生的磁通变化在电缆中感应出的电动势, 干扰的大小取决于干扰源电缆产生的磁通大小, 信号电缆形成的闭环面积和干扰源电缆与信号电缆间的相对角度。抗静电感应干扰的措施是: 一般将信号电缆与主回路电缆或其他动力电缆分离敷设, 分离距离通常在 30cm 以上 (最低为 10cm), 分离困难时, 将控制电缆穿钢管敷设。信号电缆采用双绞屏蔽电缆, 信号电缆敷设的路径越短, 抗干扰效果越好。

3) 电波干扰, 指信号电缆成为天线, 由外来电波在电缆中产生电动势。抗电波干扰的措施是: 同 1) 和 2) 所述。必要时将变频器进行电磁波屏蔽, 屏蔽体要可靠接地。

4) 接触不良干扰, 指变频器信号电缆的连接点及继电器触点接触不良, 电阻发生变化而在电缆中产生的干扰。抗接触不良干扰的措施是: 对继电器触点接触不良, 采用并联触点或镀金触点继电器或选用密封式继电器。对电缆连接点应定期检查并做好电气连接。

5) 电源线传导干扰, 指各种电气设备从同一电源系统获得供电时, 由其他设备在电源系统直接产生干扰电动势。抗电源线传导干扰的措施是: 变频调速系统的控制电源的输入侧装设线路滤波器或装设隔离变压器, 且屏蔽接地。

6) 接地干扰, 指对于信号回路及任何不合理的接地均可诱发的各种意想不到的干扰,

比如设置两个以上的接地点，接地处会产生电位差，产生干扰。抗接地干扰的措施是：速度给定信号电缆采取一点接地，接地线不作为信号的通路使用。电缆的接地在变频器侧进行，使用专设的接地端子，不与其他接地端子共用，并尽量减少接地端子引接点的接触电阻。

(2) 其他注意事项

1) 装有变频器的变频器柜应尽量远离大容量变压器和电动机，其控制电缆线路也应避开这些漏磁通大的设备。

2) 信号电缆不要接近易产生电弧的断路器和接触器。

3) 信号电缆应采用 2.5mm^2 屏蔽绞合绝缘电缆。

4) 屏蔽电缆的屏蔽要连续到电缆导体同样长，电缆在端子箱中连接时，屏蔽端子要互相连接。

3. 变频器对微机控制板的干扰

在控制系统中，多采用计算机或 PLC 进行控制，在系统设计或者改造过程中，一定要注意变频器对计算机或 PLC 的干扰问题。变频器产生的传导和辐射干扰，往往导致系统工作异常，因此需要采取必要的措施。

1) 良好的接地。电动机等强电控制系统的接地线必须通过接地汇流排可靠接地，计算机或 PLC 的屏蔽地，最好单独接地。对于某些干扰严重的场合，应将传感器、I/O 接口屏蔽层与计算机或 PLC 的控制地相连。

2) 给计算机或 PLC 的电源加装电磁干扰滤波器、共模电感、高频磁环等。计算机或 PLC 的电源抗干扰措施如图 3-17 所示，采取这些措施可以有效抑制传导干扰。另外，在辐射干扰严重的场合，如周围存在 GSM 或者移动电话机站时，应对计算机或 PLC 添加金属网状屏蔽罩进行屏蔽处理。

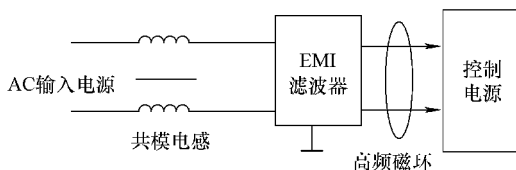


图 3-17 计算机或 PLC 的电源抗干扰措施

3) 对模拟传感器检测输入和模拟控制信号进行电气屏蔽和隔离。在变频调速系统的设计过程中，尽量不要采用模拟量控制，因为变频器一般都有多段速设定、开关频率量输入/输出，可以满足要求。如果非要用模拟量控制时，控制电缆必须采用屏蔽电缆，并在传感器侧或者变频器侧实现远端一点接地。如果干扰仍旧严重，可以采用标准的 DC/DC 模块，或者采用 U/f 转换、光耦隔离等方法。

4. 变频器本身的抗干扰

(1) 工作环境

当变频器的供电系统附近存在高频冲击负载，如电焊机、电镀电源、电解电源或者采用集电环供电的场合，变频器本身容易因为干扰而出现变频器保护误动作。变频器若在此种环境下工作必须采取如下措施：

1) 在变频器输入侧设置由 LC 构成的滤波网络。

2) 变频器的电源线直接从变压器低压侧独立供电。

3) 在条件许可的情况下，可以采用单独的供电变压器。

4) 在采用外部开关量控制端子控制时，连接线路较长时，传输线应采用屏蔽电缆。当控制线路与主回路电源均在地沟中埋设时，除控制线必须采用屏蔽电缆外，主电路线路必须

采用钢管屏蔽穿线，以减小彼此的干扰，防止变频器的误动作。

5) 在采用外部通信控制端子控制时采用屏蔽双绞线，并将变频器侧的屏蔽层接地(PE)，如果干扰非常严重，应将屏蔽层接控制电源地(GND)。对于 RS-232 通信方式，传输线应不要超过 15m，如果超过 15m，将降低通信波特率，在 100m 左右时，能够正常通信的波特率小于 600bit/s。对于 RS-485 通信方式，还必须考虑终端匹配电阻等。对于采用现场总线的高速控制系统，通信电缆必须采用专用电缆，并采用多点接地的方式，才能够提高可靠性。

(2) 电动机的漏电、轴电压与轴承电流问题

变频器驱动感应电动机的电动机模型如图 3-18 所示，在图 3-18 中， C_{sf} 为定子与机壳之间的等效电容， C_{sr} 为定子与转子之间的等效电容， C_{rf} 为转子与机壳之间的等效电容， R_b 为轴承对轴的电阻， C_b 和 Z_b 为轴承油膜的电容和非线性阻抗。在高频 PWM 脉冲输入下，电动机内分布电容的电压耦合作用构成系统共模回路，从而引起对地漏电流、轴电压与轴承电流等问题。

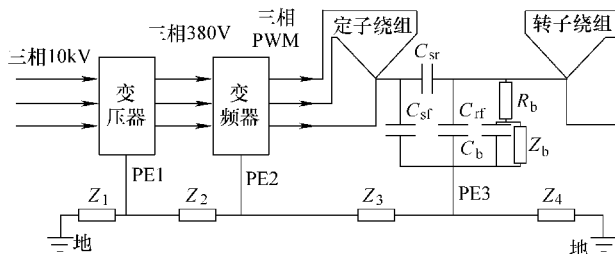


图 3-18 变频器驱动感应电动机的电动机模型

漏电流主要是由三相供电电压及其瞬时不平衡电压与大地之间通过 C_{sf} 产生的，其值与 du/dt 及开关频率有关，其直接结果将导致漏电保护装置动作。另外，对于旧式电动机，由于其绝缘材料差，又经过长期运行老化，有些在经过变频改造后造成绝缘损坏。因此，必须进行绝缘的测试。对于用于变频电动机的绝缘要求要比标准电动机高出一个等级。

轴承电流主要以三种方式存在： du/dt 电流、EDM (Electric Discharge Machining) 电流和环路电流。轴电压的大小不仅与电动机内各部分耦合电容参数有关，还与脉冲电压上升时间和幅值有关。 du/dt 电流主要与 PWM 的上升时间 t_r 有关， t_r 越小， du/dt 电流的幅值越大；逆变器载波频率越高，轴承电流中的 du/dt 电流成分越多。EDM 电流的出现存在一定的偶然性，只有当轴承润滑油层被击穿或者轴承内部发生接触时，存储在转子对地电容 C_{rf} 上的电荷 ($1/2 C_{rf} \times U_{rf}$) 通过轴承等效回路 R_b 、 C_b 和 Z_b 对地进行火花式放电，造成轴承光洁度下降，降低使用寿命，严重时造成直接损坏。损坏程度主要取决于轴电压和存储在转子对地电容 C_{rf} 上的电荷数量。

环路电流产生在电网变压器地线、变频器地线、电动机地线及电动机负载与大地地线之间的回路中。环路电流主要造成传导干扰和地线干扰，对变频器和电动机的影响不大。避免或者减小环路的方法就是尽可能减小地线回路的阻抗。由于变频器接地线 (PE 变频器) 一般与电动机接地线 (PE 电动机) 连接在一个点，因此，必须尽可能加粗电动机接地电缆线径，减小两者之间的电阻，同时变频器与电源之间的地线采用地线铜母排或者专用接地电

缆, 保证良好接地。对于潜水深井泵这样的负载, 接地阻抗 (Z_3) 可能小于变压器 (Z_1) 与变频器 (Z_2) 接地阻抗之和, 容易形成地环流。在变频器输出端串由电感、RC 组成的正弦波滤波器是抑制轴电压与轴承电流的有效方法。

(3) 变频器本身对外界辐射干扰的抑制

变频器本身对外界的辐射干扰可通过以下措施减轻:

1) 为降低辐射干扰, 在输出和输入动力线上加装 $F_{II,1}$ 和 $F_{II,2}$ 磁环, 如图 3-19 所示, 磁环属于共模抑制电抗器, 或称零序电抗器, 它对被穿过磁芯的几根导线上出现的瞬时相位和幅值不能抵消的干扰有抑制作用, 而对被穿过磁芯的几根导线瞬时相加电磁场可完全抵消的干扰就不能抑制, 也即对三相正弦波电流不起作用。就辐射干扰而言, 共模干扰占大多数, 所以磁环对辐射干扰抑制有效。

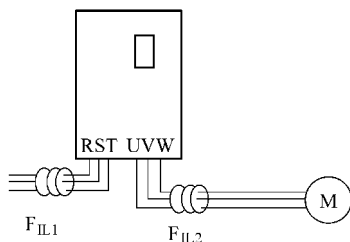


图 3-19 输出和输入动力线上加装 $F_{II,1}$ 和 $F_{II,2}$ 磁环示意图

2) 变频器的输入/输出动力线的布局要防止对周边设备的控制线有电磁场耦合, 即要防止这些动力线与某条控制线平行捆扎在一起或过分靠近。

3) 数字式测量仪器仪表的输入阻抗高、频率响应好, 很容易受变频器本体和输入/输出动力线辐射干扰的影响, 造成数字式测量仪器仪表显示乱跳或完全不能测量。因此, 要求数字式测量仪器仪表远离变频器及变频器的输入/输出动力线。如远离不可能, 应对数字式仪器仪表的本体、测量线进行屏蔽。屏蔽线的外套金属网不能两端接地, 只能一端接地, 接地端设在数字式仪器仪表侧, 由此形成静电屏蔽。对数字式仪器或其他敏感仪器的抗干扰处理方法如图 3-20 所示。另外一种使用双绞线作为数字式仪器仪表的输入线, 每绞间距不得大于 1cm。干扰严重时综合采用多种措施: 双绞线 + 屏蔽套、屏蔽箱、拉开距离、变频器输入/输出动力线加磁环、加电抗器等。

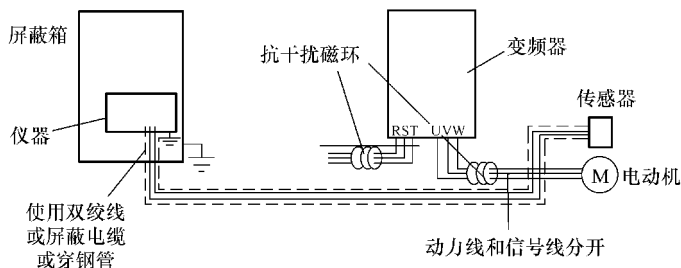


图 3-20 对数字式仪器或其他敏感仪器的抗干扰处理方法

3.3.5 变频器软件抗干扰

1. 防止系统“死机”的软件设计

变频调速系统的可靠性除了与硬件系统有关外, 与软件系统有直接关系。成功的软件设计在某种程度上取决于对现场各种因素的分析、总结。通过分析干扰影响程序运行的现象, 不断改进软件设计, 以得到满足系统实际运行要求的软件系统。正常设计的软件, 在现场使用中有可能出现问题, 必须根据现场实际情况采取相应的保护手段, 如防“死机”的 watchdog 软件程序等, 或加入常规的数据采集, 采用多次取数、用取大数法或平均法、数字滤

波计算处理等。

(1) watchdog 的正确使用

变频调速系统“死机”是使系统进入死循环或停机状态，防止“死机”是对在线运行的变频器的最基本要求。最有效的方法是设计完善的系统 watchdog 电路，使系统在进入“死机”状态后能重新启动回到正常的状态下运行。watchdog 硬件可以采用专用的集成电路，关键在于软件程序，不仅要考虑干扰对系统造成影响产生的结果，还要分析这种结果可能造成程序运行的改变。

watchdog 电路的核心是一个可反复触发的单稳电路。一旦发生程序“跑飞”，watchdog 电路触发翻转，保证程序恢复运行，在线路及 CPU 接口无误的条件下，必须保证有以下功能：

1) CPU 正常执行程序期间，定时给 watchdog 电路发送触发脉冲使其复位，一旦因干扰使 CPU 程序“跑飞”，watchdog 电路不应再收到定时触发脉冲。

2) watchdog 电路在暂态过程结束后发生翻转，输出非屏蔽中断的脉冲信号，其宽度足以引起 CPU 重新复位。

(2) watchdog 电路程序设计要点

失效是常见的 watchdog 电路故障，表现为系统在无干扰场合，CPU 可以正常执行监控程序，而一旦干扰出现或干扰严重时，即发生程序“跑飞”，而 watchdog 电路无动作，导致系统“死机”。

常见的失效原因在于程序“跑飞”后，watchdog 电路仍收到不应再出现的定时“复位”信号。因此，系统监控程序应针对不论程序何时何地“跑飞”，均应封锁定时“复位”信号。为此应根据 CPU 与 watchdog 电路的连接形式进行全面考虑和设计。

1) 各中断服务子程序中均不可写入 RST 指令，因为 CPU 运行到何处“跑飞”、“跑飞”到何处及干扰对 CPU 片内寄存器（中断寄存器）RAM 输入/输出端口的破坏情况等均有很大的随机性，而在程序“跑飞”时，只要 CPU 片内中断允许（控制）寄存器不受破坏，则不论程序“跑飞”到什么地方，CPU 仍能像正常运行时一样响应和执行中断服务子程序。

2) 不可在局部循环圈内写入 RST 指令，这样一旦出现程序“跑飞”，非正常进入该循环圈的程序将会由于 watchdog 电路无法接受“复位”信号而使系统恢复正常运行。

3) 排除 watchdog 电路非正常“复位”的隐患，程序“跑飞”原因为其 PC 值变成一个新的随机值，此时 CPU 执行的可能是随机“程序”，在这个随机程序中，如果形成死循环，其循环中又构造有“复位”指令，这就使 watchdog 电路意外失效。

4) 在编程过程中以一条或几条其他指令代替可能会引起“复位”的指令，特别是在程序的数据表格、字符表格中有 RST 字符机器码的，可用表格中不可能出现的字符代替，在程序读入该字符时，作为该代码处理。

2. 软件的容错设计

采用容错设计可使变频调速系统即使受干扰发生程序执行方面的错乱也不致系统停止或执行错误的工作，而是使系统自动回到正常的运行状态，从而提高整个系统的稳定性和安全性。

(1) 加入软件陷阱的方法

当 PC 值失控造成程序失控后，CPU 离开原程序而不断进入非程序区。在这种情况下，

可在非程序区设置拦截措施。这就是使程序进入陷阱，然后强迫程序进入初始入口状态。对 MCS-96 系列单片机的微机应用系统，理论上可用指令 LJMP#0000H，即非程序区，程序存储器中写入机器码 020000H。因为 LJMP 的机器码是 02，JB 的机器码是 20，NOP 的机器码是 00，可以将这些指令连续使用：

LJMP#0000H

NOP

JB#0000H

NOP

LJMP#0000H

机器码的组合为 020000000020000……，用这种码填满非程序区，不论 PC 值失控后指向这串码中的哪个字节，最后都能导致程序执行 02000 机器码，回到首地址 0000H 重新运行。

(2) 设立标志判断

定义某单元为标志，在模块主程序中把该单元的值设为某个特征值，然后在主程序末尾判断该单元的值是否仍为该特征值，若不是则说明有误，程序转入错误处理子程序。根据对该单元特征值的判断，可知从哪一个中断子程序“跑飞”进入不同的错误处理模型。在中断子程序的开头，把标志单元置为某一特殊值，在中断子程序的末尾判断该标志单元的值是否仍为该值，若不是则说明非正常进入中断子程序，而转到相应的错误处理模块，在此模块中可以根据预先设定错误的处理模型，进行相应的容错和纠错的处理。对于模块内部的失控，可根据该模块的功能对其结果的合理性进行判断，若判断结果合理，则进入下一功能模块运行，否则返回本模块重新运行。

(3) 增加数据安全备份

重要的数据开辟两个以上存储区，设在 RAM 的不同地方做备份；对重要的大容量应用系统可采用外接 RAM 存储器；将永久性数据制成表格固化于 EPROM 中，既能防止数据和表格遭到破坏，又能防止程序逻辑混乱时将其当做指令去执行。

(4) 软件复位

软件复位是通过 CPU 接收外部的中断信号 INTO 而执行中断子程序，此时 CPU 的运行是：

- 1) 关闭所有中断，以便进行故障的判别和处理；
- 2) 堆栈初始化以保证执行完成 INTO 中断服务子程序后栈底内容为初始状态；
- 3) 对系统的有关状态与控制量进行比较、判断来决定程序的重新入口地址，这些地址是主程序中基本功能模块的程序首选地址。通过这种软件复位，可以使系统在无扰动和小扰动下，尽快进入正常运行状态，尽量减少干扰对变频调速系统的影响。

第4章 变频调速系统的参数设置与调试

4.1 变频器的参数设置

4.1.1 变频器的参数

1. 参数设置

变频器在使用中是否能满足传动系统的要求，变频器的参数设置非常重要，如果参数设置不正确，会导致变频器不能正常工作。变频器出厂时，厂家对每一个参数都有一个默认值，这些参数叫工厂值。根据这些参数值，变频器能以面板操作方式正常运行，但以面板操作并不满足大多数传动系统的要求。所以应用时必须对变频器的参数进行设置，变频器参数的设置是十分重要的，由于参数设置不当，不能满足工艺设备的需要，导致变频调速系统启动、制动的失败，或运行时常跳闸，导致变频调速系统不能正常运行，严重时损坏变频器的功率模块（IGBT）或整流桥等器件。不同系列的变频器的参数量亦不同。一般单一功能控制的通用型变频器约有 50 ~ 60 个参数值，多功能控制的变频器有 200 个以上的参数值。但变频器的大多数参数不需要设置，可按出厂时的设置值，只需把使用时与出厂值不合适的参数予以重新设置即可，如外部端子操作、模拟量操作、基底频率、最高频率、上限频率、下限频率、启动时间、制动时间（及方式）、热电子保护、过电流保护、载波频率、失速保护和过电压保护等参数是必须重新设置的。若设置后变频器运行不合适，需对部分参数进行调整。

变频器需设置的每个参数均有一定的选择范围，使用中常常遇到因个别参数设置不当，导致变频器不能正常工作的现象。因此，在变频器参数设置前，应了解掌握所使用变频器的技术性能和参数设置方法，因不同品牌的变频器其参数设置方法是不同的，即使是同一品牌，其参数设置方法也不尽相同。所以，用户在正确使用变频器之前，要对变频器参数进行设置，其应在以下几个方面进行：

1) 确认电动机参数。在变频器参数中，设置的电动机功率、电流、电压、转速、最大频率，这些参数可以从电动机铭牌中直接得到。

2) 变频器采取的控制方式，即速度控制、转矩控制、PID 控制或其他方式。采取控制方式后，一般要根据控制精度，需要进行静态或动态辨识。

3) 设置变频器的起动方式。一般变频器在出厂时设置从面板起动，用户可以根据实际情况选择起动方式，可以用面板、外部端子、通信方式等几种。

4) 给定信号的选择。一般变频器的频率给定也可以有多种方式，面板给定、外部给定、外部电压或电流给定、通信方式给定，当然对于变频器的频率给定也可以是这几种方式的一种或几种方式之和。正确设置以上参数之后，变频器基本上能正常工作，如要获得更好的控制效果则只能根据实际情况修改相关参数。

2. 上、下限频率

变频调速系统根据工艺过程的实际需要,常要求对转速范围进行限制,即系统的最高转速和最低转速。根据传动系统的工作状况来设置,它可以是保护性设置,即变频器的输出频率不得超过所设置的范围;也可以用作程序性设置,即根据程序的需要,或上升至上限频率,或下降至下限频率。根据系统所要求的最高与最低转速以及电动机与生产机械之间的传动比,可以计算出相对应的变频器的输出频率,分别称为上限频率(用 f_H 表示)和下限频率(用 f_L 表示),如图4-1所示。变频调速系统的上限频率小于等于最高频率

$$f_H \leq f_{\max} \quad (4-1)$$

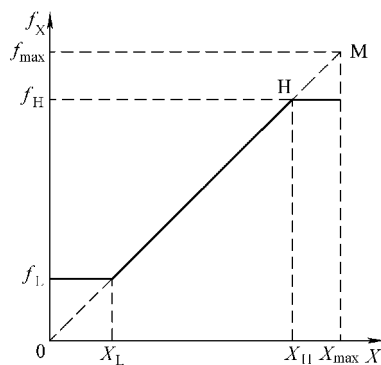


图4-1 上限频率和下限频率

1) 频率限制。变频调速系统的频率限制值为变频器输出频率的上、下限幅值。频率限制是防止误操作或外接频率设置信号出故障,而引起变频器输出频率的过高或过低,以防损坏工艺设备的一种保护功能,在应用中应按实际情况设置。频率限制功能还可做限速使用,如有的传送带输送机,由于输送物料不太多,为减少机械和传送带的磨损,可将变频器上限频率设置为某一频率值,这样就可使传送带输送机运行在一个固定、较低的工作速度上。

预置变频器给定信号的上、下限时,给定信号的最大限值用 $X_{\max}$ 表示;最小限值用 $X_{\min}$ 表示,也可以用百分数 $X_{\min}\%$ 来表示,如图4-2a所示。预置给定频率的上、下限时,给定频率的最大值 $f_{\max}$ 和最小值 $f_{\min}$ 如图4-2b所示。设置变频器上、下限频率时应注意以下事项:

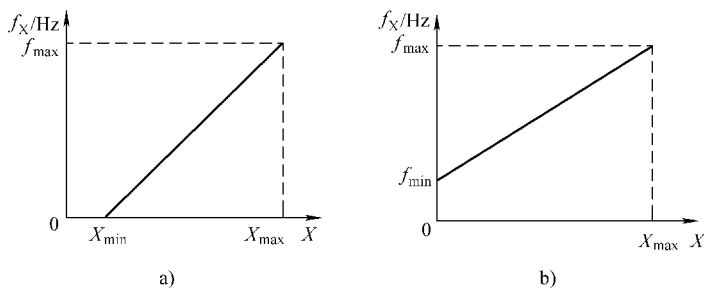


图4-2 频率给定线的起点与终点

a) 限制给定信号 b) 限制给定频率

① 对转子直径大的电动机,受转子耐受离心力的限制,对平方率负载受高速过载过电流的限制,一般不要选择上限频率大于电动机的额定频率。

② 对静态阻尼大的负载,对水泵扬程有要求的负载,一般不要选择下限频率为0或较小。需根据工艺设备的特性设置一个合适的下限频率 f_{BL} 。

2) 变频器的最低运行频率。变频器的最低运行频率为电动机运行的最小转速。电动机在低转速下运行时,其散热性能很差,电动机长时间运行在低转速下,会导致电动机温度升高。而且低速时,其电缆中的电流也会增大,也会导致电缆发热。通用变频器长期运行在低

速区域时，其系统性能将下降。

3) 变频器的最高运行频率。通用变频器的最高频率到 60Hz，有的可到 400Hz，高频率将使电动机高速运转，这对普通电动机来说，电动机的机械参数不能长时间的超额定转速运行，其轴承不能长时间的超额定转速运行，电动机的转子是否能承受这样的离心力，在参数设置时需根据电动机的机械参数限定变频器的最高运行频率。

最高频率在用外部模拟信号如 0 ~ 10V 电压设置时，10V 电压所对应的频率就是最高频率，可以达到 400Hz，所以对最高频率必须重新设置，否则将产生严重故障。通常对最高频率的初始值设置为工频 50Hz，即在外最大给定 10V 时，变频器输出的最高频率为 50Hz，即保证电动机在工频以下安全运行。

3. 载波频率

目前，中小功率的变频电路几乎都采用 PWM 技术，PWM 变频电路也可分为电压型和电流型两种。根据正弦波频率、幅值和半周期脉冲数，准确计算 PWM 波各脉冲宽度和间隔，据此控制变频电路开关器件的通断，就可得到所需的 PWM 波形，当输出正弦波的频率、幅值或相位变化时，其结果都要变化。通常采用等腰三角波或锯齿波作为 PWM 波的载波，等腰三角波应用最多，其任一点水平宽度和高度成线性关系且左右对称，与任一平缓变化的调制信号波相交，在交点控制开关器件通断，就得到宽度正比于信号波幅值的脉冲，其符合 PWM 的要求。各脉冲的上升沿和下降沿都是由正弦波和三角波的交点决定的。在这里，正弦波称为调制波，三角波称为载波。三角波的频率称为载波频率，用 f_c 表示。载波频率设置的越高其谐波分量越大，将导致电动机、电缆和变频器发热。

在 PWM 电压脉冲序列的作用下，变频器输出电流波形是脉动的，脉动频率与载波频率一致。脉动电流将使电动机铁心的硅钢片之间产生电磁力并引起震动，产生电磁噪声。

变频器运行频率越低，则电压波的平均占空比越小，电流谐波成分越大，应适当提高载波频率，可以改善变频器输出电流的波形。变频器逆变桥的同一桥臂上、下两个开关管是在不停地交替导通，为了保证在交替导通时，只有当一个开关管完全截止的情况下，另一个开关管才开始导通，在两个开关管交替导通的过程中，必须设有一个死区时间，以防止两个开关管直通短路。逆变桥中的上、下两个开关管在交替导通的过程中的死区时间越窄，载波频率越高，死区时间过窄易导致桥臂“直通”而损坏变频器。变频器载波频率与死区时间的关系是：

1) 变频器的输出电流越大，每次两个开关管交替导通所要求的死区时间也越长。

2) 载波频率越高，则死区时间的累计值越大，变频器实际工作的时间越短，变频器的平均输出电流越小，输出功率越小。

载波频率对输出电流的影响如图 4-3 所示，载波频率越高，变频器输出端线路相互之间，以及线路与地之间的分布电容的容抗越小，由高频脉冲电压引起的漏电流越大。载波频率对电气设备的影响表现在以下几个方面：

1) 当电动机与变频器之间的距离较远时，则载波频率越高，由线路分布电容引起的不良效应（如电动机侧电压升高、电动机震动等）越大。

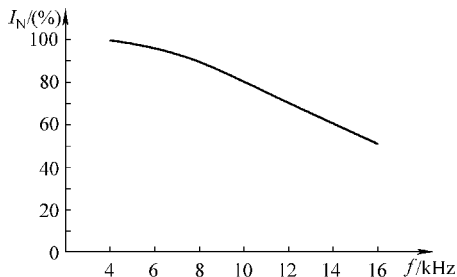


图 4-3 载波频率对输出电流的影响

2) 载波频率越高, 其高频电压通过静电感应对附近的其他电气设备的干扰也越严重。高频电流产生的高频磁场将通过电磁感应对其他电气设备的控制线路产生干扰, 高频电磁场具有强大的辐射能量, 使其他电气设备, 尤其是通信设备受到干扰。

3) 载波频率设置的越高其谐波分量越大, 这和电缆长度、电动机发热、电缆发热、变频器发热等因素是密切相关的。电动机定子绕组的趋肤效应越严重, 有效电阻值及其损耗增大, 电动机的输出功率越小。

目前, 低电压通用型变频器的逆变回路大多采用 IGBT 元件构成, IGBT 元件具有开关速度快、损耗小、触发电路简单等优点。用于变频器上的 IGBT 元件, 其载波频率一般设置在 0.75 ~ 15kHz, 通常这个数值是可调的。设置值小时, 输出电流波形变差 (谐波分量增加), 电动机有效转矩减少, 损耗增加, 温度增高; 设置值大时, 变频器自身损耗增加, 温度上升, 同时变频器输出电压的变化率 du/dt 增大。载波频率对变频运行的影响见表 4-1。

表 4-1 载波频率对变频运行的影响

载波频率	电动机噪声	输出电流波形	漏电流	发生干扰	du/dt
高	小	好	大	大	大
低	大	差	小	很小	小

变频器输出电压的变化率 du/dt 对电动机绝缘有很大的影响。 du/dt 主要取决于两个方面: 一是电压跳变台阶的幅值, 它与变频器的电压等级和主电路结构有关; 二是逆变器功率器件的开关速度, 开关速度越高, du/dt 越大。

许多品牌的低压变频器通常在出厂时将此载频参数设置为最大, 然而, 过高的载波频率不一定适合每个负载情况。因低压变频器属于普通的二电平电压型变频器, 相电压跳变台阶较大, 若变频器的输出端未使用输出滤波器, 且变频器至电动机距离较长, 由于线路分布电感和分布电容的存在, 会产生行波反射放大作用, 在参数适合时, 加到电动机绕组上的电压会成倍增加, 对电动机的绝缘 (特别是 F 级绝缘以下的老式电动机) 构成很大威胁, 甚至会烧毁电动机。因此, 一定要对这个参数进行合理设置, 确保系统高效安全运行。

4. 回避频率

任何机械设备在运转过程中都会产生一定的振动, 而每台机械设备又都有一个固有振荡频率, 它取决于机械设备的结构。如果生产机械设备运行在某一转速下时, 所引起的振荡频率和机械设备的固有振荡频率相吻合, 则机械设备的振动将因发生谐振而变得十分强烈 (也称为机械共振), 可能导致机械设备损坏。

变频器驱动异步电动机运行时, 在某些频段内电动机的电流、转速会发生振荡, 严重时变频调速系统将无法运行, 系统在加速过程中可能出现变频器过电流保护动作, 从而使电动机不能正常起动, 在电动机轻载或转动惯量较小时电动机的电流、转速振荡更为严重。为此变频器均设有频率回避功能, 可以根据系统出现振荡的频率点, 在 U/f 曲线上设置回避频率点或回避频率点宽度, 以在电动机加速时可以自动跳过系统出现振荡的频率点或频率段, 保证系统正常运行。设置回避 f_j 的目的, 就是使变频调速系统回避可能引起共振的转速, 如图 4-4 所示。预置回避频率时, 必须预置以下两个数据:

- 1) 回避频率 f_j , 即回避频率所在的位置。
- 2) 回避频率宽度 Δf_j , 即回避频率的区域, 如图 4-4a 所示。大多数变频器都可以预置

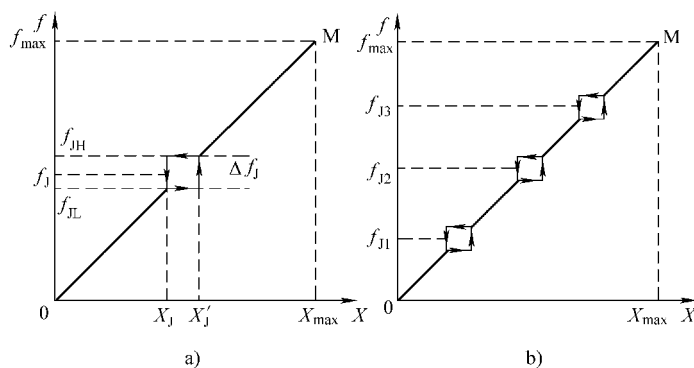


图 4-4 回避频率

a) 升降回避过程不一致 b) 升降回避过程相同

3 个回避频率段，如图 4-4b 所示。

5. 偏置频率

偏置频率又叫偏差频率，其作用是当频率由外部模拟信号（电压或电流）进行设置时，可用偏置频率调整频率设置信号最低时的输出频率，频率设置信号与输出频率的关系如图 4-5 所示。当变频器频率设置信号为 0% 时，偏置频率的偏差值可作用在 $0 \sim f_{\max}$ 范围内，有的变频器还可对偏置极性进行设置。在变频调速系统调试中，当频率设置信号为 0% 时，变频器输出频率不为零，而为某一频率值时，可将偏置频率设置为负的变频器输出某一频率值，即可使变频器输出频率为零。偏置频率用 f_{BI} 表示，也可用偏置频率的百分数 $f_{BI}\%$ 表示：

$$f_{BI}\% = \frac{f_{BI}}{f_{\max}} 100\% \quad (4-2)$$

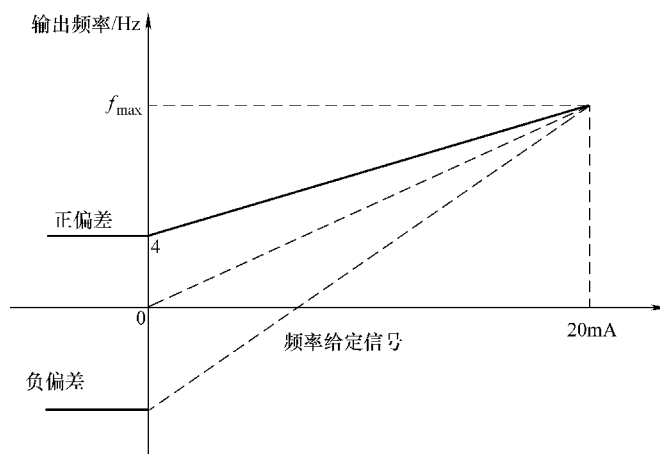


图 4-5 频率设定信号与输出频率的关系

式中， $f_{BI}\%$ 为偏置频率百分数； f_{BI} 为偏置频率（Hz）； $f_{\max}$ 为变频器输出最大频率（Hz）。

6. 频率设置信号增益

频率设置信号增益功能仅在用外部模拟信号设置频率时才有效，是用来补偿外部设置信号电压与变频器内电压（+10V）的不一致问题；同时方便模拟设置信号电压的选择，当给定信号为最大值 $X_{\max}$ 时，对应的最大给定频率 f_{XM} 与变频器预置的最大输出频率 $f_{\max}$ 比的百

分数定义为频率增益, 用 $G\%$ 表示:

$$G\% = \frac{f_{XM}}{f_{\max}} 100\% \quad (4-3)$$

式中, $G\%$ 为频率增益 ($\%$); $f_{\max}$ 为变频器预置的最大频率 (Hz); f_{XM} 为最大给定频率 (Hz)。

变频器的最大给定频率 f_{XM} 与最大频率 $f_{\max}$ 不一定相等, 当频率增益 $G\% < 100\%$ 时, 变频器实际输出的最大频率就等于给定频率 f_{XM} , 如图 4-6 中的曲线②所示; 当频率增益 $G\% > 100\%$ 时, 变频器实际输出的最大频率等于最大频率 $f_{\max}$, 如图 4-6 中的曲线③所示。当输入最大信号时, 输出频率不满足要求时, 可通过调整频率增益 $G\%$ 解决。 $G\%$ 下调时最大输入信号的频率下降, 相反, $G\%$ 上调时, 最大输入信号的频率上升。

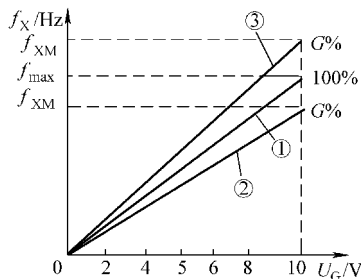


图 4-6 频率增益

7. 频率指令的保持

频率指令保持功能是在变频器停止运行后, 对是否保持停机前的运行频率做出选择。频率保持功能无效, 系统启动时, 变频器运行频率为 0Hz, 如要回复到原来的工作频率, 须重新加速。频率保持功能有效, 系统启动时, 变频器运行频率自动上升到停机前的工作频率。

8. 点动频率功能

各类机械在调试过程中经常使用到点动操作方式, 为此变频器设有点动频率功能, 其主要用于系统调试。点动频率 f_j 是通过功能预置来确定的, 有的变频器也可以预置多档点动频率, 点动频率较低, 一般也不需要调节。

4.1.2 变频器的频率给定

在变频调速系统应用中要调节变频器的输出频率, 必须首先向变频器提供改变频率的信号, 这个信号称为频率给定信号, 也有称为频率指令信号或频率参考信号的。所谓给定方式, 就是调节变频器输出频率的具体方法, 也就是提供给定信号的方式。可由面板、输入端子、微机联网三种方式设置频率, 当用面板操作时, 在控制盘上设置一个频率, 电动机就以一个固定频率旋转, 若想改变转速需再重新设置一个频率。

1. 面板给定方式

通过变频器面板上的键盘或电位器进行频率给定(即调节频率)的方式。称为面板给定方式。用变频器操作面板进行频率设置, 只需操作面板上的上升、下降键, 就可以实现频率的设置。该方法不需要外部接线, 方法简单, 频率设置精度高, 属数字量频率设置方式, 适用于单台变频器的频率设置。部分变频器在面板上设置了电位器, 频率大小也可以通过电位器来调节。电位器给定属于模拟量给定, 频率设置精度稍低。

多数变频器在面板上并无给定电位器, 在变频器说明书中所说的面板给定, 实际就是键盘给定。变频器的面板通常可以取下, 通过延长线安置在用户操作方便的地方。采用哪一种给定方式, 需通过功能预置来事先决定。

2. 外部给定方式

从变频器的输入端子输入频率给定信号来调节变频器输出频率的大小, 称为外部给定或

远控给定。主要的外部给定方式有：

1) 外接模拟量给定。通过变频器的输入端子输入模拟量信号（电压或电流）进行给定，并通过调节给定信号的大小来调节变频器的输出频率。模拟量给定信号的种类有：

① 使用输入电压端子，以电压大小作为给定信号。给定信号的范围有：0 ~ 10V、2 ~ 10V、0 ~ ±10V、0 ~ 5V、1 ~ 5V、0 ~ ±5V 等。

② 使用输入电流端子，以电流大小作为给定信号。给定信号的范围有：0 ~ 20mA、4 ~ 20mA 等。

可以任意设置其中的一种或多种输入，变频器内部用 10 位以上的 A - D 把它转换成数字量。应用这种方式设置变频器的运行频率可以实现外控操作，且在现场可以实时修改，但模拟量在传输过程中易受干扰，特别是电压信号，更易受干扰，造成系统运行不稳定。

2) 外接数字量给定。通过变频器的输入端子输入开关信号进行给定。这种设置频率的方式，各种品牌的变频器叫法不一，有的称为电动电位器，也有的称为上升/下降功能等，实际上就是利用变频器本身的多功能数字输入端子来改变变频器的运行频率，且升/降速的速率可调。

3) 外接脉冲给定。通过变频器的输入端子输入脉冲序列进行给定。

4) 通信给定。由 PLC 或计算机通过变频器的通信接口进行频率给定。这种以串行通信的方式设置变频器的运行频率在变频调速系统中应用最为广泛。

5) 编程给定。当使用变频器的控制端子 X1、X2、……时，设置各自对应的频率。

当然，在通用型变频器的频率设置方式中，常见的是以上几种给定方式并非独立存在，它们可以组合使用，在设置频率时就可以用模拟量的代数和、多个模拟量的最大值、多个模拟量的最小值、模拟量的乘积、模拟量与通信量的和等多种组合方式，在使用中应根据实际情况灵活运用。

3. 选择给定方式的一般原则

在选择给定方式时应优先选择面板给定方式，因为面板给定不需要外部接线，方法简单，频率设置精度高。并且变频器的操作面板包括键盘和显示屏，而显示屏的显示功能十分齐全。但在实际工程应用中由于受连接线长度的限制，可选择外部给定方式，但应优先选择数字量给定，因为：

1) 数字量给定时频率精度高。

2) 数字量给定通常用触点操作，不易损坏，且抗干扰能力强。

在给定信号选择上应优先选择电流信号，因为电流信号在传输过程中不受线路电压降、接触电阻、杂散的热电效应以及感应噪声的影响，抗干扰能力较强。但由于电流信号电路比较复杂，故在距离不远的情况下，仍以选用电压给定方式居多。

4. 频率给定的异常现象

变频器在采用外部模拟量或数字量给定时，因接线或电磁干扰等因素会出现以下异常现象：

1) 给定信号丢失。当外接的模拟给定信号因电路接触不良或断线而丢失时，变频器需对处理方式做出选择，如是否停机，继续运行，在多大频率下运行等。

2) 给定信号小于最低频率。有的负载在频率很低时实际上不能运行，因而需要预置“最低频率”。对应地，也就有一个最小给定信号。当实际给定信号小于最小给定信号时，

变频器视为异常状态。

3) 模拟量给定的滤波时间不正确。滤波的目的是消除干扰信号对给定信号的影响,滤波时间常数是指给定信号上升至稳定值 63% 所需的时间。若滤波时间太短,当变频器显示“给定频率”时,有可能不够稳定。滤波时间太长,当调节给定信号时,给定频率随给定信号改变时的响应速度较慢。

4) 用模拟量给定信号进行正、反转控制时,“0”速控制很难稳定。在给定信号为“0”时,常出现正转或反转的“蠕动”现象。为了防止这种“蠕动”现象,需要在“0”速附近设置一个死区 ΔX ,使给定信号在 $-\Delta X$ 到 $+\Delta X$ 的区间内,输出频率为 0Hz。

5) 在给定信号为单极性的正、反转控制方式中,存在的问题是给定信号因电路接触不良或其他原因而“丢失”,则变频器的给定输入端得到的信号为“0”,其输出频率将跳变为反转的最大频率,电动机将从正常工作状态转入高速反转状态。在生产过程中,这种情况的出现将是十分危险的,甚至有可能损坏生产机械和造成人身事故。对此,变频器设置了一个有效“0”功能。就是说,变频器的最小给定信号不等于 0 ($X_{\min} \neq 0$)。如果给定信号 $X = 0$,变频器将认为是故障状态而把输出频率降至零。例如,将有效“0”预置为 0.3V。当给定信号 $X = 0.3V$ 时,变频器的输出频率为 $f_{\min}$;当给定信号 $X < 0.3V$ 时,变频器的输出频率降为零。

5. 频率给定线

变频器由外部模拟量进行频率给定时,变频器的给定信号 X 可以是电压信号 U_G ,也可以是电流信号 I_G ,给定信号 X 与给定频率 f_X 之间的关系曲线 $f_X = f(X)$,称为频率给定线。频率给定线分为:

1) 基本频率给定线。基本频率给定线是基本信号变动范围所对应的基本频率范围,如图 4-7 中的曲线①,在给定信号 X 从 0 增大至最大值 $X_{\max}$ 的过程中,给定频率 f_X 也线性地从 0 增大到最大频率 $f_{\max}$,该曲线称为基本频率给定线。

2) 任意频率给定线。任意频率给定线需设置最低频率和最高频率,如图 4-7 中的曲线②所对应着输出频率 $f_{Bl} \sim f_{xm1}$ (f_{Bl} 为最低频率,也称偏置频率, f_{xm1} 为最高频率,最高频率 f_{xm1} 低于最大频率 $f_{\max}$),当频率增益 $G > 100\%$ 时, $f_{xm1} = f_{\max}$ 。图 4-7 中的曲线③对应着输出频率 $f_{Bl} \sim f_{xm2}$ (f_{Bl} 为最低频率,即为偏置频率, f_{xm2} 为最高频率, f_{xm2} 高于 $f_{\max}$),任意给定线的设置时考虑上、下限频率的要求。

变频调速系统驱动的生产机械设备,所要求的最低频率及最高频率不一定是零和额定频率,所以在系统调试时需要对频率给定线进行适当的调整,使之符合生产工艺的实际需要。通常是调整频率给定线的起点(调整给定信号为最小值时对应的频率)和调整频率给定线的终点(调整给定信号为最大值时对应的频率),通过预置起点坐标 ($X_{\min}, f_{\min}$) 与终点

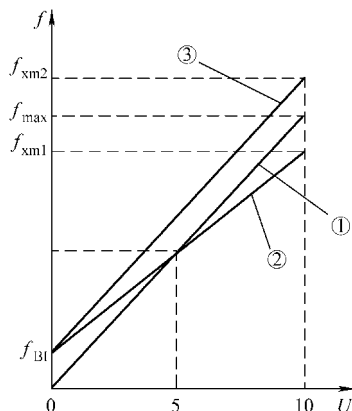


图 4-7 频率给定线和频率增益的含义

曲线①为基本频率给定线, $f_{\max}$ 为对应最高输入电压的输出频率(基本频率给定线是 $U=0$ 时 $f=f_{Bl}=0\text{Hz}$, U 为最大时 $f=f_{\max}$, 即 $G=100\%$)。曲线②为频率增益 $G < 100\%$, $f_{xm1} < f_{\max}$ 。通常偏置频率可设为 f_{Bl} 。曲线③为频率增益 $G > 100\%$, $f_{xm2} > f_{\max}$ 。通常偏置频率也可设为 f_{Bl} 。

坐标 $(X_{\max}, f_{\max})$ 来预置频率给定线, 如图 4-8a 所示。如果系统要求频率与给定信号成反比, 则起点坐标为 $(X_{\min}, f_{\max})$, 终点坐标为 $(X_{\max}, f_{\min})$, 如图 4-8b 所示。

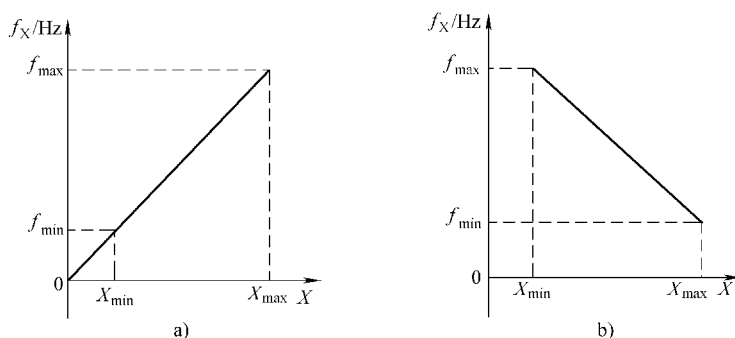


图 4-8 直接预置坐标调整频率给定线

a) 频率与给定值成正比 b) 频率与给定值成反比

4.1.3 变频器压频比的正确设置

由于通用变频器一般采用 U/f (变频器的压频比由变频器的基准电压与基准频率两项功能参数的比值决定, 即基准电压/基准频率 = 压频比) 控制, 即变压变频 (VVVF) 方式调速, 因此, 变频器在使用前应正确地设置压频比, 这对保证变频器的正常工作至关重要。

1. 基频参数的概念

变频器基频参数的示意图如图 4-9 所示。基频以下, 变频器的输出电压随输出频率的变化而变化, $U/f = \text{常数}$, 适合恒转矩负载特性。基频以上, 变频器的输出电压维持电源额定电压不变, 适合恒功率负载特性。

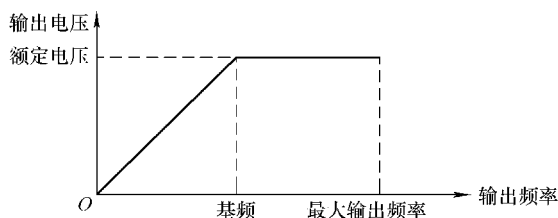


图 4-9 变频器基频参数的示意图

2. 基频参数设置

基频参数设置应该以负载的额定参数设置, 而不能根据负载特性设置, 若负载为电动机即使电动机选型不适合负载特性, 也必须尽量遵循电动机的参数, 否则, 电动机容易过电流或过载。例如: 如果电动机的额定工作频率为 50Hz, 基频应设置为 50Hz; 如果电动机的额定工作频率为 60Hz, 基频应设置为 60Hz; 如果电动机的额定工作频率为 100Hz, 基频应设置为 100Hz。

如果电动机选择专用的交流变频电动机, 电动机一般都标注恒转矩、恒功率调速范围。如果标注 5 ~ 100Hz 为恒转矩, 100 ~ 150Hz 为恒功率, 基频应该设置为 100Hz。

基频参数直接反映变频器输出电压和输出频率的关系, 如果设置不当容易造成变频器过电流或过载。例如一台交流电动机的额定工作频率为 50Hz, 额定电压为 380V, 如果变频器

的基频设置低于 50Hz, 如图 4-10 中的基频 1, U/f 比高, 同等频率的输出电压高, 输出电流高, 在起动时, 容易造成过电流。如果变频器的基频设置高于 50Hz, 如图 4-11 中的基频 2, U/f 比低, 同等频率的输出电压低, 输出电流低, 在起动时, 容易造成无法起动而超载。

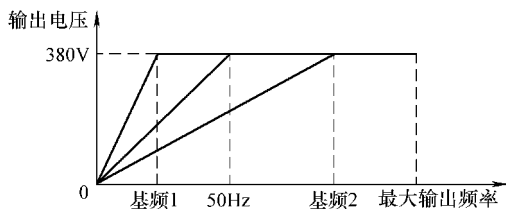


图 4-10 变频器输出电压和输出频率的关系曲线

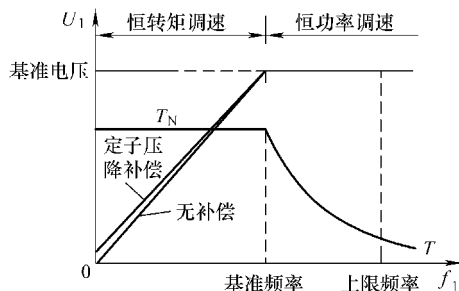


图 4-11 基准电压、基准频率与变频调速控制特性

如果负载在低速时的转矩较大, 而转矩补偿 (U/f 比) 预置得较小, 则低速时带不动负载。反之, 如果负载在低速时的转矩较轻而转矩补偿 (U/f 比) 预置得较大, 则补偿过分, 低速时电动机的磁路将饱和, 励磁电流发生畸变, 严重时会导致励磁电流峰值过高而导致“过电流”跳闸。

在变频器调试时, U/f 比的预置宜由小逐渐加大, 每加大一档, 观察在最低频时能否带得动负载, 还应观察空载时会不会跳闸。一直调整到在最低频率下运行时, 既能带得动负载, 又不会空载跳闸时为止。

3. 基频设置的注意事项

U/f 类型的选择包括最高频率、基本频率和转矩类型等。最高频率是变频器、电动机可以运行的最高频率。由于变频器自身的最高频率可能较高, 当电动机容许的最高频率低于变频器的最高频率时, 应按电动机的要求进行设置。

基本频率是变频器对电动机进行恒功率控制和恒转矩控制的分界线, 应按电动机的额定电压设置。转矩类型指的是负载是恒转矩负载还是变转矩负载。应根据变频器使用说明书中的 U/f 类型图和负载的特点, 选择其中的一种类型。如恒转矩负载, 即使速度变化转矩也恒定的, 如运输机械类, U/f 曲线应设置为恒定特性。若为变转矩负载, 如泵、通风机等负载, U/f 应设置成平方律递减特性 (转矩以速度的二次方变化的负载)。例如根据电动机的实际情况和实际要求最高频率设置为 83.4Hz, 基本频率设置为工频 50Hz。负载类型: 50Hz 以下为恒转矩负载, 50 ~ 83.4Hz 为恒功率负载。

基准电压与基准频率参数的设置, 不仅与电动机的额定电压与额定频率有关 (电动机的压频比为电动机的额定电压与额定频率之比), 而且还必须考虑负载的机械特性。对于普通异步电动机在一般调速应用时, 其基准电压与基准频率按出厂值设置 (基准电压为 380V, 基准频率为 50Hz), 即能满足使用要求。但对于某些行业使用的较特殊的电动机, 就必须根据实际情况重新设置基准电压与基准频率的参数。

电动机用变频器调速时有两种情况: 基频 (基准频率) 以下调速和基频以上调速。在压频比设置时必须考虑的重要因素是: 尽量保持电动机主磁通为额定值不变。如果磁通过弱

(电压过低), 电动机铁心不能得到充分利用, 电磁转矩变小, 带负载能力下降。如果磁通过强 (电压过高), 电动机处于过励磁状态, 电动机因励磁电流过大而严重发热。根据电动机原理可知, 三相异步电动机定子每相电动势的有效值为

$$E_1 = 4.44 f_1 N_1 \Phi_m \quad (4-4)$$

式中, E_1 为定子每相由气隙磁通感应的电动势的有效值 (V); f_1 为定子频率 (Hz); N_1 为定子每相绕组有效匝数; Φ_m 为每极磁通量。

由式 (4-4) 可以看出, Φ_m 的值由 E_1/f_1 决定, 但由于 E_1 难以直接控制, 所以在电动势较高时, 可忽略定子漏阻抗压降, 而用定子相电压 U_1 代替。要保证 Φ_m 不变, 只要 U_1/f_1 始终为一定值即可。这是基频以下调速时的基本情况, 为恒压频比 (恒磁通) 控制方式, 属于恒转矩调速。从图 4-11 中可以看出, 基准频率为恒转矩调速区的最高频率, 基准频率所对应的电压即为基准电压。是恒转矩调速区的最高电压。在基频以下调速时, 电压会随频率而变化, 但两者的比值不变。

在基频以上调速时, 频率从基频向上可以调至上限频率值, 但是由于电动机定子不能超过电动机额定电压, 因此电压不再随频率变化, 而保持基准电压值不变, 这时电动机主磁通必须随频率升高而减弱, 转矩相应减小, 功率基本保持不变, 属于恒功率调速区。由图 4-12 可见, 基准频率为恒功率调速区的最低频率, 是恒转矩调速区与恒功率调速区的转折点, 而基准电压值在整个恒功率调速区内不再随频率变化而改变。

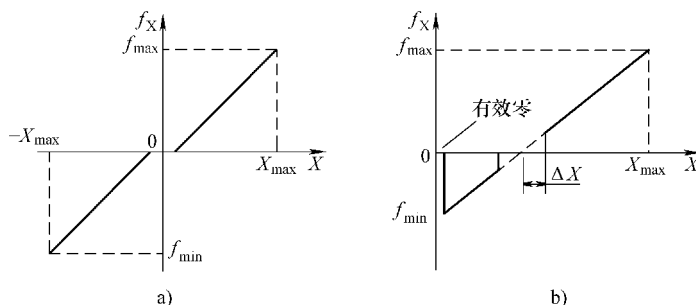


图 4-12 模拟量给定的正、反转控制

a) 以原点为零输出 b) 以中间值为零输出

负载基本上可分为恒转矩负载、恒功率负载以及平方转矩负载三类, 恒转矩负载其所需转矩基本不受速度变化的影响 ($T = \text{定值}$), 对于该类负载, 变频器的整个工作区最好运行在基频以下, 这时变频器的输出特性正好能满足负载的要求。

恒功率负载在转速越高时, 所需转矩越小 ($T \times N = \text{定值}$), 对于恒功率负载来说, 电动机的工作频率若运行在基频以上, 其所要求的机械特性将与变频器的输出特性相吻合。

平方转矩负载所要求的转矩与转速的二次方成正比 ($T/N^2 = \text{定值}$), 电动机应运行在基频以下较为合理。需要注意的是: 平方转矩负载的工作频率绝不能超过工频 (除非变频器容量大一个等级), 否则变频器与电动机将严重过载。

4.1.4 变频器起停与加减速过程

1. 起动方式

在变频调速系统中, 电动机从较低转速升至较高转速的过程称为电动机的加速过程, 电

动机加速过程的极限状态是电动机的起动。变频器的控制命令包括控制电动机的起动、停止，电动机的运行方向。

1) 起动、停止。当变频调速系统准备就绪后（通电），变频器处于待机状态，电动机并没有运行。要使系统运行需给变频器一个起动命令。变频器有三种起动方式：操作面板；外部端子（可以是固定电平也可以是脉冲信号）；通信方式。可以根据实际情况选择其中的任一种方式。变频器按正常方式起动后，变频器开环运行于设置频率，或闭环运行于被控量的期望值。变频器停止时和起动完全一样，只不过动作相反。

2) 电动机的运行方向。交流电动机是通过改变其输入三相电源任意两相的相序来改变其旋转方向的，在变频器中只需给它一个电平信号自动调整三相电源任意两相的相序，从而改变电动机的旋转方向。采用模拟量给定的正、反转控制方式主要有两种：

① 由双极性给定信号，给定信号可“-”可“+”，正信号控制电动机正转，负信号控制电动机反转，如图4-12a所示。

② 由单极性给定信号，给定信号只有“+”值，由给定信号中间任意值作为电动机正转和反转的分界点，如图4-12b所示。

(1) 工频起动

电动机工频起动是指电动机直接采用工频电源起动，也叫直接起动或全压起动。在电动机接通电源的瞬间，电源频率为额定频率（50Hz），如图4-13a所示，电源电压为额定电压（380V），如图4-13b所示。由于电动机转子绕组与旋转磁场的相对速度很高，电动机转子电动势和电流都很大，从而定子电流也很大，一般可达电动机额定电流的4~7倍，如图4-13c所示。电动机工频起动存在的主要问题有：

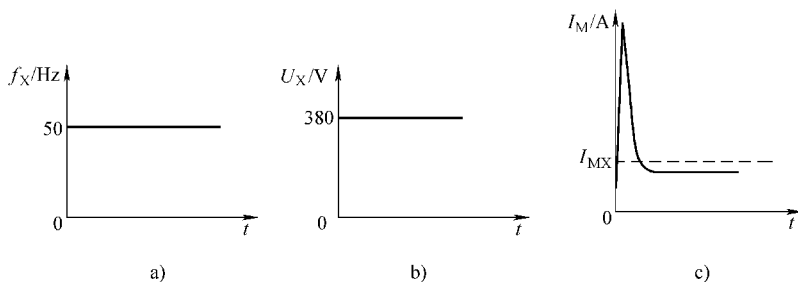


图4-13 工频起动

a) 频率 b) 电压 c) 电流

1) 起动电流大。当电动机的容量较大时，其起动电流将对电网产生干扰，引起电网电压波动。

2) 对生产机械设备的冲击很大，影响机械设备的使用寿命。

(2) 变频起动

电动机采用变频起动时，电动机电源的频率从最低频率（通常是0Hz）按预置的加速时间逐渐上升，如图4-14a所示。以4极电动机为例，假设在接通电源的瞬间，将起动频率降至0.5Hz，则同步转速只有15r/min，转子绕组与旋转磁场的相对速度只有工频起动时的百分之一。电动机的输入电压也从最低电压开始逐渐上升，如图4-14b所示。

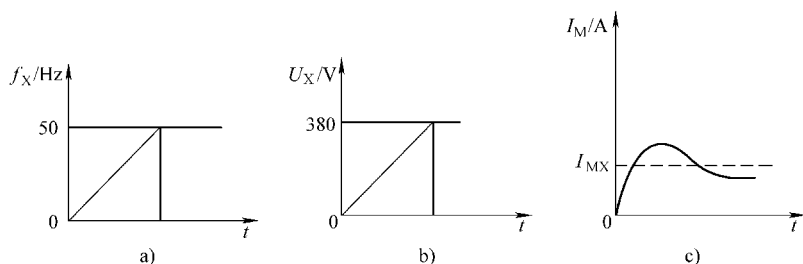


图 4-14 变频启动

a) 频率 b) 电压 c) 电流

电动机转子绕组与旋转磁场的相对速度很低, 故启动瞬间的冲击电流很小。因电动机电源的频率逐渐增大, 电压开始逐渐上升, 如在整个启动过程中, 使同步转速 n_0 与转子转速 n_M 间的转差 Δn 限制在一定范围内, 则启动电流也将限制在一定范围内, 如图 4-14c 所示。减小了启动过程中的动态转矩, 加速过程将能保持平稳, 减小了对生产机械的冲击。

2. 启动频率

电动机开始启动时, 并不从变频器输出为零开始加速, 而是直接从某一频率下开始加速。电动机在开始加速的瞬间, 变频器的输出频率便是启动频率。启动频率是指变频器开始有电压输出时所对应的频率。在变频器的启动过程中, 当变频器的输出频率还没达到启动频率设置值时, 变频器就不会输出电压。通常, 为确保电动机的启动转矩, 可通过设置合适的启动频率来实现。变频调速系统设置启动频率是为了满足部分生产机械设备实际工作的需要, 有些生产机械设备在静止状态下的静摩擦力较大, 电动机难以从变频器输出为零开始启动, 而在设置的启动频率下启动, 电动机在启动瞬间有一定的冲力, 使其拖动生产机械设备较易启动起来, 系统设置了启动频率, 电动机可以在启动时很快建立起足够的磁通, 使转子与定子间保持一定的空气隙等。

启动频率的设置是为确保由变频器驱动的电动机在启动时有足够的启动转矩, 避免电动机无法启动或在启动过程中过电流跳闸。在一般情况下, 启动频率要根据变频器所驱动负载的特性及大小进行设置, 在变频器过载能力允许的范围内既要避开低频欠激磁区域, 保证足够的启动转矩, 又不能将启动频率设置太高, 启动频率设置太高在电动机启动时造成较大的电流冲击甚至过电流跳闸。变频调速系统设置启动频率的方式有:

1) 给定的信号略大于零 ($X=0+$), 此时变频器的输出频率即为启动频率 f_s , 如图 4-15a 所示。

2) 设置一个死区区间 X_s , 在给定信号 X 小于设置的死区区间 X_s 时, 变频器的输出频率为零; 当给定信号 X 等于设置的死区区间 X_s 时, 变频器输出与死区区间 X_s 对应的频率, 如图 4-15b 所示。

启动频率的设置既要符合工艺要求, 又要充分发挥变频器的潜力。在设置启动频率时要相应设置启动频率的保持时间, 使电动机启动时的转速能够在启动频率的保持时间内达到一定的数值后, 再开始随变频器输出频率的增加而加速, 这样可以避免电动机因加速过快而跳闸。在一般情况下只要能合理设置启动频率和启动频率保持时间这两个参数就可满足电动机的启动要求。

在实际调试过程中, 常有这样的情况: 在电动机启动困难或电动机在启动过程中过电流

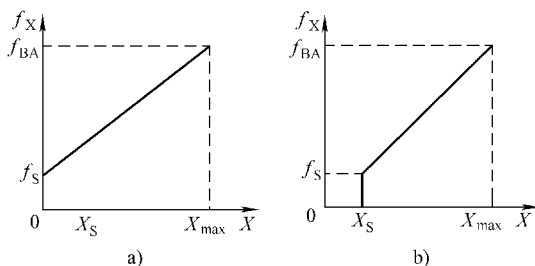


图 4-15 起动频率

a) $X=0$ 时以 f_S 起动 b) $X=X_S$ 时以 f_S 起动

跳闸时，采取的措施是重新设置在低频段有更大转矩提升的转矩提升曲线，甚至是将变频器的允许过载能力调大，来解决电动机起动中存在的问题。这样电动机虽然能比较好的起动，但所选择的转矩提升曲线不能工作在相对最佳的状态，可能使电动机运行在过激磁状态，从而使电动机发热、无功损耗增加、功率因数降低，而调大变频器所允许的过载能力，则可能使变频器或电动机失去应有的保护。起动过程中存在的难起动或过电流跳闸的问题应采用合理设置起动频率参数来解决，而正常运行中存在的过电流或不正常发热的问题，也可以通过合理设置起动频率参数来解决。

不同起动方式的速度上升曲线如图 4-16 所示，可根据实际起动要求选择。图 4-16 中曲线①适合于需要维持一段低速运转的起动场合；图 4-16 中曲线②适合于需要有一定冲击的起动场合。对于大惯性负载，要求零速起动，例如风机有可能起动的瞬间正在旋转，会有大的冲击起动电流，因此，先要直流制动，在起动程序设置时应注意，否则有可能损坏变频器。当起动和停止过程中变频器电流偏大，甚至发生过电流保护，可延长升、降速时间，但一般只要不过电流，升、降速时间应尽量短以提高效率。

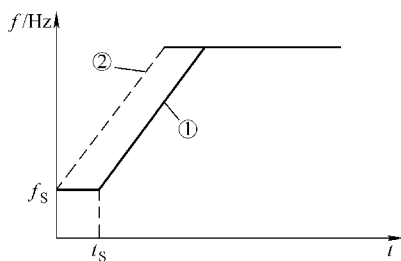


图 4-16 不同起动方式的速度上升曲线

①要维持一段低速运转的起动场合
②要有一定冲击的起动场合

3. 变频调速系统的加速过程

变频器的输出频率从 f_{X1} 上升至 f_{X2} 的加速过程如图 4-17 所示，当频率 f_X 上升时，电动机定子旋转磁场的同步转速 n_0 随即也上升，但电动机转子的转速 n_M 因为有惯性而不能立即跟上。结果是转差 Δn 增大了，导体内的感应电动势和感应电流也增大。为此，在电动机的加速过程中，必须处理好加速的快慢与拖动系统惯性之间的矛盾。在生产过程中变频调速系统的加速过程属于不进行生产的过渡过程，从提高生产率的角度出发，加速过程应该越短越好。由于变频调速系统存在着惯性，如果加速过程太快，电动机转子的转速 n_M 将跟不上电动机定子旋转磁场的同步转速的上升，转差 Δn 增大，引起加速电流增大，若达到过电流限值将使变频器跳闸。所以，在设置加速过程参数时，必须折中处理的问题是：在防止加速电流过大的前提下，尽可能地缩短加速过程。

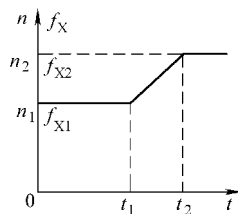


图 4-17 加速过程

4. 变频调速系统的减速过程

变频调速系统的电动机转速从较高转速降至较低转速的过程称为减速过程。在变频调速系统中,电动机的减速过程是通过降低变频器的输出频率来实现的,电动机的转速从 n_1 下降至 n_2 ,即变频器的输出频率从 f_{X1} 下降至 f_{X2} 的减速过程,如图4-18所示。

当频率刚下降的瞬间,旋转磁场的转速(同步转速)立即下降,但由于拖动系统具有惯性的缘故,电动机转子的转速不可能立即下降。此时,电动机转子的转速超过了同步转速,转子绕组切割磁场的方向和原来相反了。从而,转子绕组中感应电动势和感应电流的方向及所产生的电磁转矩的方向都和原来相反了,电动机处于发电状态。由于所产生的转矩和转子旋转的方向相反,能够促使电动机的转速迅速地降下来,该状态称为再生制动状态。

电动机在再生制动状态发出的电能,将通过和逆变开关管反向并联的二极管全波整流后反馈到直流电路,使直流电路的电压 U_D 升高,称为泵升电压。如果直流电压 U_D 升得太高,将导致整流器和逆变器损坏。所以,当 U_D 上升到一定限值时,须通过能耗电路(制动电阻和制动单元)放电,把直流回路内多余的电能消耗掉。

变频调速系统的减速过程和加速过程相同,在变频调速系统的减速过程也属于不进行生产的过渡过程,故减速过程应越短越好。由于变频调速系统存在着惯性的原因,频率下降得太快,电动机转子的转速 n_M 将跟不上电动机定子旋转磁场同步转速的下降,转差 Δn 增大,引起再生电流增大和直流回路内泵升电压升高,甚至可能超过设置的限值,导致变频器因过电流或过电压而跳闸。所以,在设置系统减速过程参数时,必须在防止减速电流过大和直流电压过高的前提下,尽可能地缩短减速过程。

5. 电动机的停机方式

变频调速系统中的电动机可以设置的停机方式有:

1) 减速停机。即按预置的减速时间和减速方式停机。在减速过程中,电动机处于再生制动状态。

2) 自由停机。变频器通过停止输出来停机,此时,电动机的电源被切断,拖动系统处于自由制动状态。由于停机时间的长短由拖动系统的惯性决定,故称为惯性停机。在惯性停机时应注意不应在电动机未真正停止时就起动,如要起动应先制动,待电动机停稳后再起动。这是因起动瞬间电动机转速(频率)与变频器输出频率差距太大,会使变频器电流过大而损坏变频器的功率管。

3) 减速加直流制动。首先按预置的减速时间减速,然后转为直流制动,直至停机。

4) 异常停机功能。当生产机械发生紧急情况时,将发出紧急停机信号。对此,有的变频器设置了专门用于处理异常情况的功能。在异常停机过程中,变频器的操作信号都将无效。

6. 加、减速模式选择

加、减速模式选择又叫加、减速曲线选择,通用变频器都具有线性、非线性和S形三种曲线,通常大多数都选择线性曲线;非线性曲线适用于变转矩负载,如风机等;S形曲线适用于恒转矩负载,其加、减速变化较为缓慢。加、减速模式选择时可根据负载转矩特性,选择相应曲线。如图4-19所示,图4-19中曲线①为线性升降曲线,适用于多数负载。曲线②

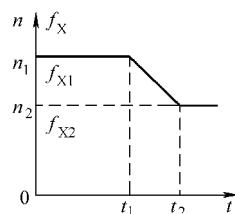


图4-18 减速过程

为S形升降曲线,适用于电梯负载、起重机负载。曲线③为指数升降曲线,适用于风机负载、水泵负载。

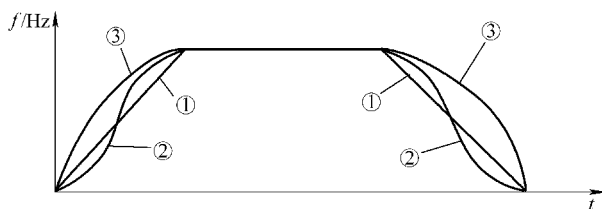


图 4-19 不同负载配合的升降曲线

(1) 加速曲线

在变频调速系统的加速过程中,变频器的输出频率随时间上升的关系曲线,称为加速曲线。变频器设置的加速曲线有:

1) 线性曲线。变频器的输出频率随时间成正比地上升,如图 4-20a 所示。大多数负载都可以选用线性曲线。

2) S 形曲线。在加速的起始和终了阶段,频率的上升较缓,加速过程呈 S 形,如图 4-20b 所示。例如,电梯在开始起动以及转入等速运行时,从考虑乘客的舒适度出发,应减缓速度的变化,以采用 S 形加速曲线为宜。

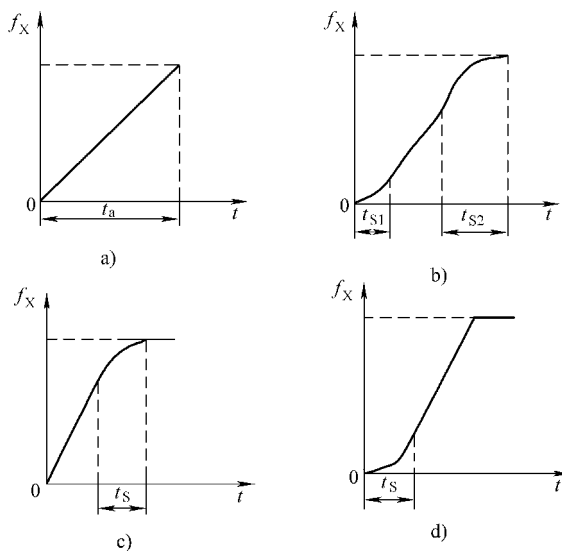


图 4-20 加速曲线

a) 线性曲线 b) S 形曲线 c) 半 S 形曲线 1 d) 半 S 形曲线 2

3) 半 S 形曲线。在加速的初始阶段或终了阶段,按线性曲线加速,而在终了阶段或初始阶段,按 S 形曲线加速,如图 4-20c 和图 4-20d 所示。图 4-20c 所示的方式主要用于如风机一类具有较大惯性的二次方律负载中,由于低速时负载较轻,故可按线性曲线加速,以缩短加速过程;高速时负载较重,加速过程应减缓,以减小加速电流。图 4-20d 所示曲线主要用于惯性较大的负载。

(2) 减速曲线

减速曲线和加速过程类似，变频器的减速曲线也分线性曲线、S 形曲线和半 S 形曲线。

1) 线性曲线。变频器的输出频率随时间成正比地下降，如图 4-21a 所示。大多数负载都可以选用线性曲线。

2) S 形曲线。在减速的起始和终了阶段，频率的下降较缓，减速过程呈 S 形，如图 4-21b 所示。

3) 半 S 形曲线。在减速的初始或终了阶段，按线性方式减速，而在终了或初始阶段，按 S 形曲线减速，如图 4-21c 和图 4-21d 所示。

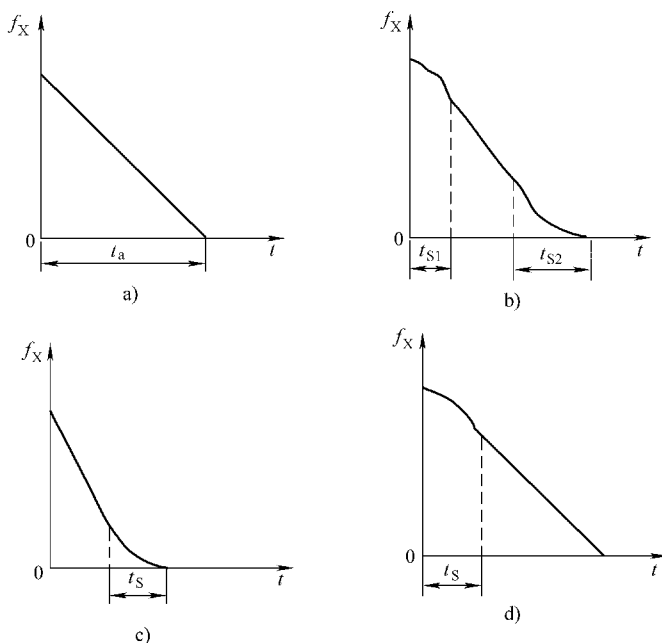


图 4-21 减速曲线

a) 线性曲线 b) S 形曲线 c) 半 S 形曲线 1 d) 半 S 形曲线 2

减速时 S 形曲线和半 S 形曲线的应用场合和加速时相同。

7. 加、减速时间的设置

加速时间就是从变频器输出频率为 0 上升到最高频率所需的时间，加速时间的定义如图 4-22a 所示。减速时间是指从变频器输出最大频率下降到 0 所需的时间，减速时间的定义如图 4-22b 所示。一般采用频率设置信号上升、下降来确定加、减速时间。在电动机加速时需限制频率设置的上升速率以防止加速过电流，减速时则限制下降速率以防止减速过电压。

电动机加速度 $d\omega/dt$ 取决于加速转矩 (T_1 、 T_1)，而变频器在起动、制动过程中的频率变化率则根据变频调速系统要求设置。若电动机转动惯量 J 大或电动机负载变化率大，按预先设置加速时，有可能出现加速转矩不够，从而造成电动机失速，即电动机转速与变频器输出频率不协调，从而造成变频器过电流或过电压。因此，需要根据电动机转动惯量和实际负载合理设置加、减速时间，以使变频器的频率变化率能与电动机转速变化率相协调。此项设置通常的方法是按经验选定加、减速时间的设置值。若在起动过程中出现变频器过电流，则

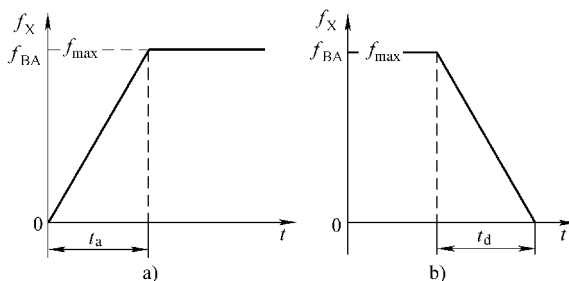


图 4-22 加、减速时间的定义

a) 加速时间 b) 减速时间

可适当延长加速时间；若在制动过程中出现变频器过电流，则适当延长减速时间。但系统的加、减速时间不宜设置太长，时间太长将影响生产效率，特别是变频调速系统频繁起、制动时。

加速时间设置的要点是：将加速电流限制在变频器过电流容量以下，不使过电流失速而引起变频器跳闸。减速时间设置的要点是：防止平滑滤波电路电压过高，不使再生过电压而使变频器跳闸。

加、减速时间可根据负载计算出来，但在调试中常采取按负载和经验先设置较长的加、减速时间，通过起、停电动机观察有无过电流、过电压报警，然后将加、减速时间逐渐缩短，以运转中不发生报警为原则，重复操作几次，便可确定出最佳加、减速时间。不同变频器对加、减速时间的定义不完全一致，主要有以下两种：

- 1) 变频器的输出频率从零频率上升到基本频率所需要的时间。
- 2) 变频器的输出频率从零频率上升到最高频率所需要的时间。

通常情况下，变频调速系统的最高频率和基本频率是一致的，在进行加速或减速时间预置时，应该考虑加速或减速过程不是在零频率与 f_{ba} 之间进行的。因此，每个程序步的实际加速或减速时间并不等于预置的加速或减速时间。实际加速所需时间的计算方法如下：

实际加速时间 Δt_1 ：

$$\Delta t_1 = t_{A1} \frac{f_1}{f_{ba}} \quad (4-5)$$

实际加速时间 Δt_2 ：

$$\Delta t_2 = t_{A21} \frac{f_2 - f_1}{f_{ba}} \quad (4-6)$$

某些生产机械设备，出于生产工艺的需要，要求加、减速时间越短越好。对此，有的变频器设置了加、减速时间的最小极限功能。其基本含义是：

- 1) 最快加速方式。在加速过程中，使变频器输出电流保持在变频器允许的极限状态（ $I_A \neq 150\% I_N$ ， I_A 是加速电流， I_N 是变频器的额定电流）下，从而使加速过程最小化。
- 2) 最快减速方式。在减速过程中，使变频器直流回路的电压保持在变频器允许的极限状态（ $U_D \neq 95\% U_{DH}$ ， U_D 是减速过程中的直流电压， U_{DH} 是直流电压的上限值）下，从而使减速过程最小化。
- 3) 最优加速方式。在加速过程中，使变频器输出电流保持在变频器额定电流的 120%

($I_A \geq 120\% I_N$)，使加速过程最优化。

4) 最优减速方式。在减速过程中，使变频器直流回路的电压保持在上限值的 93% ($U_D \geq 93\% U_{DH}$)，使减速过程最优化。

8. 转矩限制功能

转矩限制是根据变频器输出电压和电流值，经微处理器进行转矩计算获得的，其能明显改善冲击负载在加、减速和恒速运行时的恢复特性。转矩限制功能可实现自动加速和减速控制。若设置加、减速时间小于负载惯量时间，也能保证电动机按照转矩设置值自动加速和减速。转矩限制分为：

1) 驱动转矩。变频器的驱动转矩功能提供了强大的起动转矩，在稳态运转时，转矩功能将控制电动机的转差，而将电动机转矩限制在最大设置值内，当负载转矩突然增大时或加速时间设置过短时，也不会引起变频器过电流跳闸。在加速时间设置过短时，电动机转矩也不会超过最大设置值。驱动转矩应设置在 80% ~ 100% 范围内。

2) 制动转矩。变频器的制动转矩设置数值越小，其制动力越大，适合急减速的场合，如制动转矩设置数值设置过大会使变频器出现过电压报警。如制动转矩设置为 0%，可使回馈在主电容器的再生总量接近于 0，从而使电动机在减速时不使用制动电阻也能减速至停止而不会过电压跳闸。但在有的负载上，如制动转矩设置为 0% 时，减速时会出现短暂的空转现象，造成变频器反复起动，电流大幅度波动，严重时会使变频器跳闸。

9. 暂停加速功能

暂停加速功能是指在电动机起动后，先在较低频率 f_{DR} 下运行一段时间，然后再继续加速的功能。在下列情况下，应考虑变频器调速系统预置暂停加速功能：

1) 惯性较大的负载，起动后先在较低频率下持续运行一段时间 t_{DR} ，然后再加速。

2) 采用齿轮箱传动的变频调速系统，由于齿轮箱的齿轮之间总是存在间隙，起动时容易发生齿间的撞击，如在较低频率下持续运行一段时间 t_{DR} ，可以减缓齿间的撞击。

3) 起重机械在起吊重物前，吊钩的钢丝绳通常是处于松弛状态的，预置了暂停加速功能后，电动机起动后先在较低频率下持续运行一段时间 t_{DR} ，可使钢丝绳拉紧后再上升。

4) 有些机械在环境温度较低的情况下，润滑油容易凝固，故要求先在低速下运行一段时间 t_{DR} ，使润滑油稀释后再加速。

5) 对于附有机电制动装置的电磁制动电动机，在电磁抱闸松开过程中，为了减小闸皮和闸辊之间的摩擦，要求电动机起动后先在较低频率下持续运行一段时间 t_{DR} ，待磁抱闸完全松开后再升速。

变频器设置暂停加速的方式主要有：

1) 变频器输出频率从零频率开始上升至暂停频率 f_{DR} ，停留 t_{DR} 后再加速，如图 4-23a 所示。

2) 变频器直接输出起动频率 f_s 后暂停加速，停留 t_{DR} 后再加速，如图 4-23b 所示。

10. 暂停减速功能

暂停减速功能是指在低频状态下，当频率下降到接近零时，电动机在较低频率下持续运行一段时间，然后再将变频器输出频率下降为零。在下列情况下，应考虑变频调速系统预置暂停减速功能：

1) 惯性大的负载从高速直接减速至零时，为了避免因停不住而出现滑行现象，使电动

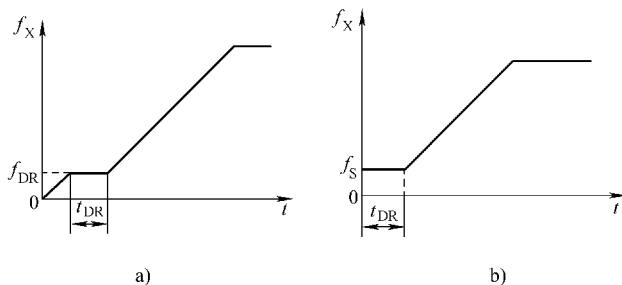


图 4-23 低频持续时间

a) 从 0Hz 开始启动 b) 以启动频率开始启动

机先在较低频率下运行一段时间，然后使电动机从低速降为零。

2) 对于需要准确停车的场合，如卷扬机，为准确停车，使电动机先在较低频率下运行一段时间至爬行后，再使电动机从低速降为零，即可达到准确停车的目的。

3) 对于附有机机械制动装置的电磁制动电动机，在电磁抱闸抱紧前使电动机先在较低频率下短时运行，可减少磁抱闸的磨损等。

设置暂停减速的方式和暂停加速相同，需要预置的参数有：暂停减速的频率 f_{DD} ，停留时间 t_{DD} 。

4.1.5 变频器多功能端子的应用

1. 变频器多功能端子

在变频器的输入信号端子中，可以任选两个端子，经过功能预置，作为升速和降速端子，如图 4-24 中的 X1 输入端和 X2 输入端。通过功能预置，可使“X1”作为升速端子，“X2”作为降速端子，它们的具体功能为：

“X1 - CM”接通 (ON) → 频率上升；断开时为频率保持。

“X2 - CM”接通 (ON) → 频率下降；断开时为频率保持。

利用这两个升、降速控制端，可以在远程控制中通过按钮来进行升、降速控制，还可以灵活地应用在各种自动控制的场合。

2. 利用多功能端子的给定方式

在变频器的外部给定方式中，通常使用电位器来进行频率给定，如图 4-25a 所示。但电位器给定有许多缺点：

- 1) 电位器给定是电压给定方式之一，属于模拟量给定，其给定精度较差。
- 2) 电位器的滑动触点与碳膜（或金属膜）之间容易因磨损而接触不良，导致给定信号不稳定，甚至发生频率跳动等现象。

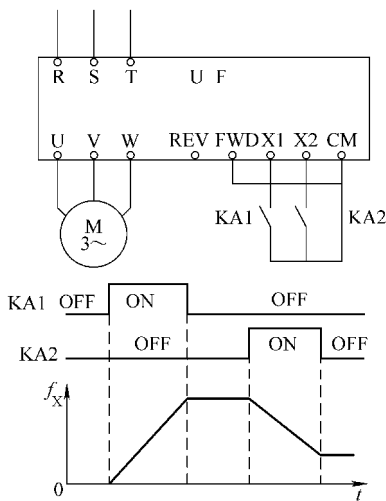


图 4-24 变频器的升、降速端子

3) 由于给定电源的电压较低, 因此, 当操作位置与变频器之间的距离较远时, 线路上的电压降将进一步影响频率给定的精度。同时, 也较容易受到其他设备的干扰。

利用多功能端子进行频率给定时, 只需接入 2 个按钮即可, 如图 4-25b 所示。利用多功能端子来进行频率给定的优点有:

1) 多功能端子给定属于数字量给定, 精度较高。

2) 用按钮来调节频率, 操作简便, 且不易损坏。

3) 因为是开关量控制, 故不受线路电压降的影响, 抗干扰性能好。因此, 在变频器进行外部给定时, 应尽量少用电位器给定, 而采用多功能端子给定方式。

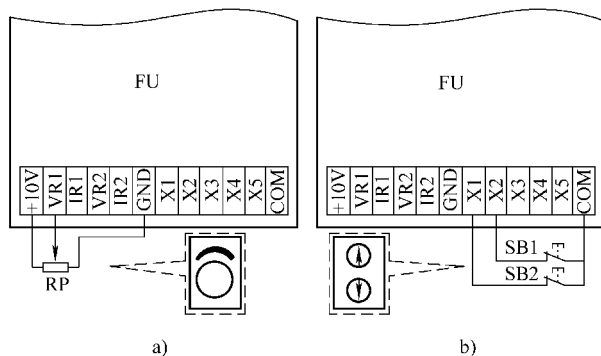


图 4-25 电位器给定与升、降速端子给定

a) 电位器给定 b) 升、降速端子给定

3. 利用多功能端子的多处控制方式

在实际生产中, 常常需要在两个或多个地点都能对同一台电动机进行升、降速控制。在大多数情况下, 这是通过外部控制信号来实现的。两地升、降速控制如图 4-26 所示, SB1 和 SB2 是一组升速和降速按钮, 安装在控制盒 CA 内, 由 FA 显示运行频率; SB3 和 SB4 是另一组升速和降速按钮, 安装在另一个控制盒 CB 内, 由 FB 显示运行频率。控制盒 CA 和 CB 分别放置在两个不同的地方。

SB1 与 SB3 并联, 接在 X1 和 COM 之间, 用于控制升速; SB2 与 SB4 并联, 接在 X2 和 COM 之间, 用于控制降速。其工作方式如下:

按下控制盒 CA 上的 SB1 或控制盒 CB 上的 SB3, 都能使频率上升, 松开后频率保持; 反之, 按下控制盒 CA 上的 SB2 或控制盒 CB 上的 SB4, 都能使频率下降, 松开后频率保持, 从而实现了在不同的地点进行升速或降速控制。

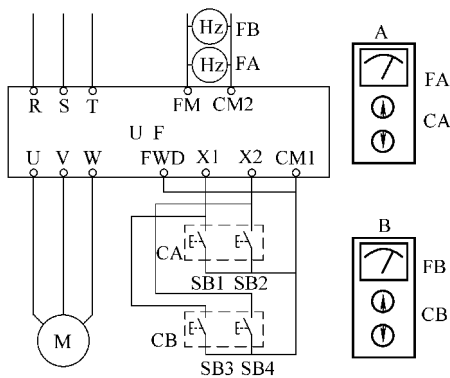


图 4-26 两地升、降速控制

4.1.6 变频器转矩的提升功能

转矩提升又叫转矩补偿, 是为补偿因电动机定子绕组电阻在低速时引起的转矩降低, 而把低频率范围 U/f 增大的方法。变频器将电动机在一定时间内从静止状态驱动到一定的运转

速度,需要克服机械装置的静态转矩阻力和运行加速度转矩阻力。由于电动机在低速时激磁电压降低,为此,需要补偿电动机的欠激磁状态,使电动机低速运行时转矩增强(U/f 特性增强,也即 U/f 在低频段的斜率增大),以此来克服这两种转矩阻力。

普通电动机定子、转子采用的冷轧硅钢片铁心,其磁导系数不是很高,而且不是常数,正常情况下铁心工作在其磁化曲线的附点以上至膝点附近的一段区域内,在这段区域内磁导系数最高,在工频电源下能满足电动机正常运行的要求。电动机采用变频器供电运行时,在低频区域电动机电流很小(有时比电动机在工频下的空载电流还要小),使得这种冷轧硅钢片铁心工作在了磁化曲线的附点附近及以下,在这一段区域内铁心的磁导系数相对较小。电动机绕组中电流产生的磁通在定子铁心和转子铁心中闭合的数量会相对减少,表现为对铁心的磁化力不足,导致电动机的电磁转矩严重下降,实际运行时可能因电磁转矩不够或负载转矩相对较大而无法起动或在低频段不能正常运行。因此,在变频器中均设置有相应的转矩提升功能,为不同的负载提供了不同的转矩特性曲线,在变频器调试时选择不同的转矩提升曲线可以实现对不同负载在低频段的补偿。

转矩提升功能是为了改善变频器起动时的低速性能,使电动机输出的转矩能满足生产机械起动的要求。异步电动机在变频调速系统中的转矩控制较为复杂,在低频段,由于电动机电阻、漏电抗的影响不容忽略,若仍保持 U/f 为常数,磁通将减小,进而减小了电动机的输出转矩。为此,在低频段要对电压进行适当补偿以提升转矩。可是,电动机漏阻抗的影响不仅与频率有关,还和电动机电流的大小有关,准确补偿是很困难的。近年来开发了一些能自行补偿的变频器,但所需计算量大,硬件、软件都较复杂。

变频器转矩提升曲线在调试时应按电动机运行状态下的负载特性曲线进行选择,泵类、恒功率、恒转矩负载应在各自相应的转矩提升曲线中选择。由于普通电动机的低频特性不好,如果工艺流程不需要在低频状态下运行,应按工艺流程要求设置最低运行频率,避免电动机在低频状态下运行;如果工艺流程需要电动机在低频段运行,则应根据电动机的实际负载特性认真选择合适的转矩提升曲线。

选择转矩提升曲线是否合适,可通过在调试中测量其电压、电流、频率、功率因数等参数来确定,在调试中应在整个调速范围内测定初步选定的几条相近的转矩提升曲线下的参数数值,首先看是否有超差,然后对比确定较理想的数值。对转矩提升曲线下某一频率运行点来说,电压提升不高(欠补偿)或电压提升过高(过补偿)都会使电流增大,要选择合适的转矩提升曲线,必须通过反复比较分析各种测定数据,才能找出真正符合工艺要求、使变频器驱动的电动机能安全运行、功率因数又相对较高的转矩提升曲线。

在通用变频器组成的调速系统中,经常遇到因转矩提升功能设置不当而造成起动失败的问题。不同品牌的变频器的转矩提升功能的含义有所不同,在转矩提升功能中,有许多提升模式可供用户选择,同一厂家不同系列的产品,其出厂设置有所不同,在系统调试时若忽视了该参数的设置修改,当负载起动转矩较大时,将导致过电流跳闸,造成起动失败。

转矩提升设置为自动时,可使加速时的电压自动提升以补偿起动转矩,使电动机加速顺利进行。如采用手动补偿时,根据负载特性,尤其是负载的起动特性,通过试验可选出较佳曲线。对于变转矩负载(风机、泵类负载),如转矩提升参数设置不当,会出现低速时的输出电压过高,电动机带负载起动时电流大,而转速上不去的现象。需要指出的是,转矩补偿值较大时,容易导致低速时电动机出现过激磁状态,按这种状态连续运行时,电动机可能会

发生快速发热现象,危害电动机的安全运行;同时,转矩补偿值过大时,也容易产生在起动阶段过电压甚至过电流故障,转矩补偿值的大小应该以满足电动机起动需求的最小值为较好。

4.1.7 变频器的直流制动功能

1. 采取直流制动的必要性

有的负载要求能够迅速停机,但减速时间太短将引起电动机实际转速的下降跟不上频率的下降,产生较大的泵升电压,使直流回路的电压超过允许值。采用直流制动能增大制动转矩、缩短停机时间,且不产生泵升电压。有的负载由于惯性较大,常常停不住,停机后有“爬行”现象,可能造成十分危险的后果。采用直流制动可以实现快速停机,并消除爬行现象。

直流制动就是向定子绕组内通入直流电流,使异步电动机处于能耗制动状态。直流制动原理如图4-27a所示,由于定子绕组内通入的是直流电流,故定子磁场的转速为0。这时,转子绕组切割磁力线后产生的电磁转矩与转子的旋转方向相反,是制动转矩。因为转子绕组切割磁力线的速度较大,故所产生的制动转矩比较强烈,从而可缩短停机时间。此外,停止后,定子的直流磁场对转子铁心还有一定的“吸住”作用,以克服机械的“爬行”。采用直流制动时,需预置以下功能:

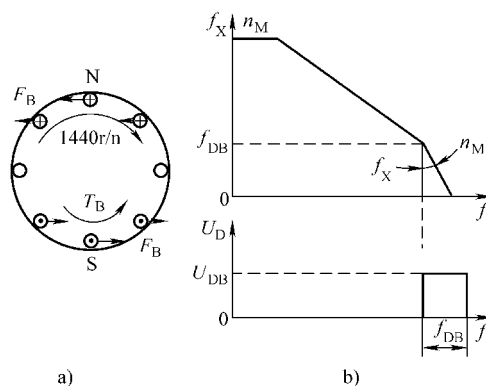


图4-27 直流制动原理和预置

a) 直流制动原理 b) 直流制动的功能预置

1) 直流制动的起始频率 f_{DB} 。在大多数情况下,直流制动都是和再生制动配合使用的。首先用再生制动方式将电动机的转速降至较低转速,然后再转换成直流制动,使电动机迅速停住。其转换时对应的频率即为直流制动的起始频率 f_{DB} ,如图4-27b所示。预置起始频率 f_{DB} 的主要依据是负载对制动时间的要求,要求制动时间越短,则起始频率 f_{DB} 应越高。

2) 直流制动强度。即在定子绕组上施加直流电压 U_{DB} 或直流电流 I_{DB} 的大小,它决定了直流制动的强度,如图4-27b所示。预置直流制动电压 U_{DB} (或制动电流 I_{DB}) 的主要依据是负载惯性的大小,惯性越大者, U_{DB} 也应越大。

3) 直流制动时间 t_{DB} 。即施加直流制动的长短,预置直流制动时间 t_{DB} 的主要依据是负载是否有“爬行”现象,以及对克服“爬行”的要求,要求越高者, t_{DB} 应当长一些。

2. 起动前直流制动功能

在电动机起动前,先在电动机的定子绕组内通入直流电流,以保证电动机在零速的状态下开始起动。如果电动机在起动前,拖动系统的转速不为0 ($n_m=0$),而变频器的输出频率(从而同步转速 n_0)从0Hz开始上升,则在起动瞬间,电动机或处于强烈的再生制动状态(起动前为正转时),或处于反接制动状态(起动前为反转时),则在起动瞬间,有可能引起过电流或过电压。例如:风机在停机状态下,由于有自然风的原因,叶片常自行转动,且往

往是反转的。又如电动机以自由制动方式停机时,如在尚未停住的状态下再次起动。起动前转速不为0如图4-28a所示,容易引起电动机过电流。为此,变频器可以在起动前,向电动机的定子绕组中短时间地通入直流电流,以保证拖动系统在零速下起动,称为起动前直流制动。应用该功能需预置直流电压的大小和施加直流电压的时间。起动前直流制动功能设置包括:

- 1) 选择功能。即选择是否需要起动前直流制动功能。
- 2) 制动量。即应向定子绕组施加多大的直流电压 U_{DB} , 如图4-28b所示。
- 3) 直流制动时间。即施加直流电压的时间 t_{DB} , 如图4-28b所示。

4.1.8 西门子变频器的参数设置实例

1. 控制方式的选择

西门子变频器提供的控制方式有 U/f 控制、矢量控制、力矩控制, U/f 控制中有线性 U/f 控制、抛物线特性 U/f 控制。将变频器参数 P1300 设为0, 变频器工作于线性 U/f 控制方式, 调速时的磁通与励磁电流基本不变, 适用于工作转速不在低频段的一般恒转矩调速对象。

将 P1300 设为2, 变频器工作于抛物线特性 U/f 控制方式, 这种方式适用于风机、水泵类负载, 这类负载的轴功率 P 近似地与转速 n 的三次方成正比, 其转矩 M 近似地与转速 n 的二次方成正比。对于这种负载, 如果变频器的 U/f 特性是线性关系, 在低速时电动机的转矩远大于负载转矩, 从而造成功率因数和效率的严重下降。为了适应这种负载的需要, 需使电压随着输出频率的减小以二次方关系减小, 从而减小电动机的磁通和励磁电流, 使功率因数保持在适当的范围内。

通过设置参数使 U/f 控制曲线适合负载特性, 将 P1312 在0~250范围内设置成合适的值, 系统具有起动提升功能。并将低频时的输出电压相对于线性的 U/f 曲线做适当的提高以补偿在低频时定子电阻引起的压降导致电动机转矩减小的问题, 以适用于大起动转矩的调速对象。

选用变频器 U/f 控制方式驱动电动机时, 在某些频率段, 电动机的电流、转速会发生振荡, 严重时系统无法运行, 甚至在加速过程中出现过电流保护, 使得电动机不能正常起动, 在电动机轻载或转矩惯量较小时更为严重。可以根据系统出现振荡的频率点, 在 U/f 曲线上设置跳转点及跳转频带宽度, 电动机在加速时可以自动跳过这些频率段, 以保证系统能够正常运行。从 P1091~P1094 可以设置4个不同的跳转点, 设置 P1101 确定跳转频带宽度。

有些负载在特定的频率下需要电动机提供特定的转矩, 用可编程 U/f 控制对应设置变频器参数, 即可得到所需的控制曲线。设置 P1320、P1322、P1324 确定可编程的 U/f 特性频率坐标, 对应的 P1321、P1323、P1325 为可编程的 U/f 特性电压坐标。

参数 P1300 设置为20, 变频器工作于矢量控制方式。这种控制相对完善, 调速范围宽,

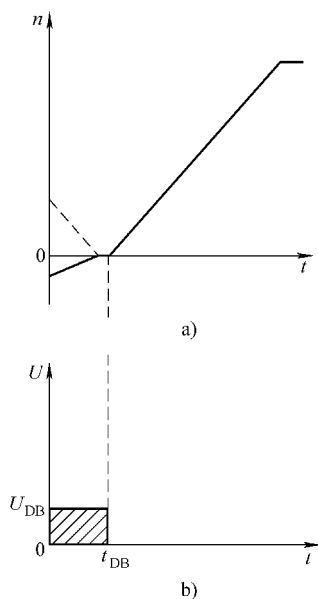


图4-28 起动前的直流制动

a) 起动前转速不为0

b) 起动前的直流制动

低速范围起动力矩高,精度高达0.01%,响应快。高精度调速系统都采用SVPWM矢量控制方式。

参数P1300设置为22,变频器工作于矢量转矩控制方式。这种控制方式是目前国际上最先进的控制方式,其他方式是模拟直流电动机的参数,进行保角变换从而进行调节控制的,矢量转矩控制是直接取交流电动机参数进行控制,控制简单,精确度高。

2. 快速调试

在使用变频器驱动电动机前,必须进行快速调试。参数P0010设为1、P3900设为1,变频器进行快速调试,快速调试完成后,进行必要的电动机数据计算,并将其他所有的参数恢复到它们的默认设置值。在矢量或转矩控制方式下,为了正确地实现控制,非常重要的一点是,必须正确地向变频器输入电动机的数据,而且,电动机数据的自动检测参数P1910必须在电动机处于常温时进行。当使能这一功能(P1910=1)时,会产生一个报警信号A0541,给予警告,在接着发出on命令时,立即开始电动机参数的自动检测。

3. 加、减速时间的调整

加速时间和减速时间选择的合理与否对电动机的起动、停止运行及调速系统的响应速度都有重大的影响。加速时间设置的约束是将电流限制在过电流范围内,不应使过电流保护装置动作。电动机在减速运转期间,变频器将处于再生发电制动状态。传动系统中所储存的机械能转换为电能并通过逆变器将电能回馈到直流侧。回馈的电能将导致中间回路的储能电容器两端电压上升。因此,减速时间设置的约束是防止直流回路电压过高。加、减速时间的计算公式为

加速时间:

$$t_a = (j_m + j_l) n / 9.56 (T_{ma} - T_l) \quad (4-7)$$

减速时间:

$$t_b = (j_m + j_l) n / 9.56 (T_{mb} - T_l) \quad (4-8)$$

式中, j_m 为电动机的惯量; j_l 为负载惯量; n 为额定转速; T_{ma} 为电动机驱动转矩; T_{mb} 为电动机制动转矩; T_l 为负载转矩。

加、减速时间可根据公式计算出来,也可用简易试验方法进行设置。首先,使拖动系统以额定转速运行(工频运行),然后切断电源,使拖动系统处于自由制动状态,用秒表计算其转速从额定转速下降到停止所需要的时间。加、减速时间可首先按自由制动时间的1/3~1/2进行预置。通过起、停电动机观察有无过电流、过电压报警,调整加、减速时间设置值,以运转中不发生报警为原则,重复操作几次,便可确定出最佳加、减速时间。

4. 转动惯量的设置

电动机与负载的转动惯量的设置往往被忽视,认为加、减速时间的正确设置可保证系统正常工作。其实,转动惯量设置不当会使得系统振荡,调速精度也会受到影响。转动惯量公式为

$$j = t / d\omega / dt \quad (4-9)$$

电动机与负载的转动惯量的获得方法一样,让变频器的工作频率在合适的值(5~10Hz)。分别让电动机空载和带载运行,读出参数R0333额定转矩和R0345电动机的起动时间,再将变频器工作频率换算成对应的角速度,代入公式,计算得出电动机与负载的转动惯量。设置参数P0341(电动机的惯量)与参数P0342(驱动装置总惯量/电动机惯量的比

值), 这样变频器就能更好的调速运行。

5. 制动参数的设置

在运行信号的控制下, 变频器首先缓慢连续降频, 达到 f_{db} 后则开始直流制动, 此时输出频率为零。在系统参数设置中, 系统降速时间 t_z 、直流制动起始频率 f_{db} 、制动电流 I_{db} 和制动时间 t_{db} 的设置十分重要, 直接关系到生产机械的准确定位和电动机的正常运行。现以西门子 6SE21 系列变频器为例, 其制动参数的设置如下:

P372 = 1: 启用直流制动功能。

P373 (I_{db}): 直流制动电流大小的设置, 该参数直接关系到制动转矩的大小, 系统惯性越大其值应越大。可选范围为电动机额定电流的 20% ~ 400%, 经验值为 60% 左右。

P374 (t_{db}): 直流制动时间, 该参数不宜过长, 否则电动机将过热, 但应比实际停机时间略长, 否则电动机将进入自由滑行状态。可选范围为 0.1 ~ 99.9s, 应结合实际情况反复调整, 经验值为 5.5s 左右。

P375 (f_{db}): 直流制动开始频率, 该参数应尽可能小, 必须在临界转速 n_k 对应的频率以下, 否则电动机将过热。经验值为 10Hz 左右。

P373、P374、P375 选择不当, 均会引起电动机过热, 需在现场反复调整、测试。变频器输出频率由正常工作时的 f_x 降至 f_{db} 的时间 t_z 虽不在直流制动参数组中设置, 但它的设置十分关键, 如时间过短, 电动机的工作点将转移至第二象限, 发生再生制动从而引起电动机过热。

4.2 变频调速系统的调试

4.2.1 变频调速系统的调试条件

1. 变频调速系统的工作条件

会审有关变频调速系统的技术资料、技术文件、施工图样, 电气安装工作已经完成; 安装质量经验收合格; 符合设计、厂家技术文件和施工验收规范, 在安装过程中的有关试验已完成, 经验收符合有关标准。需掌握的调试技术条件包括:

1) 变频器的主要技术参数: 电压、电流、功率、频率范围、电动机转数、起动时间、制动时间。

2) 变频器的操作手册中的程序、操作步骤、参数的编程设置、主要保护的内容及参数。

3) 整个系统的控制原理, 有关保护、工艺连锁的原理。

4) 一次设备主回路、二次控制回路的接线图。

调试程序为

1) 变频器的本体调试。

2) 变频器及电动机的空载调试。

3) 变频器及电动机的带负载调试。

2. 变频器送电前的检查项目

变频器送电前的检查项目有:

1) 高、低压开关柜内一次设备本体试验执行的标准和文件。

2) 柜内设备的外观检查, 着重于螺钉的紧固连接情况, 设备的完好情况, 主回路的绝缘性能检查及机械联锁检查。察看变频器的安装空间、通风情况是否安全并满足相关规定的要求, 铭牌是否同电动机匹配, 控制线是否布局合理, 以避免干扰, 变频器的进出线接线是否正确, 变频器的内部主回路负极端子 N 不得接到电网中线上, 各控制线接线应正确无误。根据变频器容量等因素确认输入侧交流电抗器和直流电抗器是否接入。一般功率在 22kW 以上要接直流电抗器, 在 45kW 以上还要接交流电抗器。

3) 柜体内继电器、计量用仪表的检定校验符合随机技术文件提供的检定校验数据。

4) 按照原理图设计的要求, 二次控制、保护、信号动作要可靠、正确, 应符合设计。确认变频器工作状态与工频工作状态的互相切换要有接触器的互锁, 不能造成短路, 并且两种使用状态时电动机转向相同。

5) 大型变频调速系统若设有专用变压器, 除了按照厂家技术文件执行外, 在测试项目上, 可增加一些测试项目, 用于产品质量的把关, 如直流电阻和交流耐压试验等。交流耐压试验标准可按 IEC 标准执行或按国标执行。

6) 按照电缆的电压等级、型号, 按照标准试验的实验报告。

7) 对于大型变频调速电动机, 变压器至变频器、至电动机主回路电缆, 往往是独芯电缆。所以, 在电缆头做好以后, 要对电缆进行核相, 电缆的相序一定要准确, 不得有误。

8) 当变频器与电动机之间的导线长度超过 50m, 当该导线布在铁管或蛇皮管内的长度超过 30m, 特别是一台变频器驱动多台电动机等情况, 因变频器输出导线对地分布电容很大, 应在变频器输出端子上先接交流电抗器, 然后将输出线接到交流电抗器输出端, 输出线的末端接负载, 以免过大的电容电流损坏逆变模块。在输出侧导线较长 (大于 100m) 时, 还要将 PWM 的调制载频设置在低频率, 以减少输出功率管的发热, 以便降低损坏的概率。

9) 三相电源不应缺相, 测定电网交流电压值、控制电压值等是否在规定范围内, 测量绝缘电阻应符合要求 (注意因电源进线端压敏电阻的保护, 用高电压绝缘电阻表时要分辨是否压敏电阻已动作)。

10) 熟悉变频器的操作键。一般的变频器均有运行 (RUN)、停止 (STOP)、编程 (PROG)、数据/确认 (DATA/ENTER)、增加 (UP、▲)、减少 (DOWN、▼) 6 个键, 不同变频器操作键的定义基本相同。此外, 有的变频器还有监视 (MONITOR/DISPLAY)、复位 (RESET)、寸动 (JOG)、移位 (SHIFT) 等功能键, 对这些键要进行模拟调试操作。

11) 检查变频器周围的环境, 包括粉尘、温度和湿度是否符合变频器的运行条件, 变频器环境温度要求在 0~40℃ 范围内, 最好能够控制在 25℃ 左右, 湿度不超过 95%, 且无凝结或水雾, 应尽量不要用湿布拖地, 以保持室内干燥。

3. 电动机本体试验

本项试验要在变频器通电前, 主回路电缆未连接之前完成。

1) 对于电动机参照厂家技术文件执行, 一般经与厂家协商可增设直流电阻、极性及旋转方面的试验。如厂家同意, 还可依据 IEC 标准进行交流耐压试验。

2) 国产电动机可参照国家有关标准执行。

3) 做好电动机试运行中的各项技术参数测试工作。

4. 安全防护

1) 为保证设备的安全, 根据电气设备各回路不同的电压等级选择不同的绝缘电阻表的

电压等级,对设备、电缆、线路进行绝缘测试。

2) 通电投运前调试的试验报告及安装情况,需经质检部门、甲方确认后方可送电。

3) 有经审批的试车方案。

4) 对于配合调试的工作重点应放在一次回路的检查,电缆的校相,变压器、电动机的本体试验上,确保二次回路接线正确无误。

5) 对于变频器的调试,重点放在掌握手册、操作步骤及各种联锁的相互关系,掌握设备的技术参数,并在试运行中记录检验参数的可行性。

5. 质量标准

1) 对于国产设备应遵循国家有关的标准执行。

2) 对于国外进口设备应遵照厂家技术文件、IEC 标准或设备所属国家和地区的标准。

3) 对于国外进口工程,在电气专业的施工方法方面应执行设备国的相关标准,并结合国内相关标准。尤其是电气调试,专业性、技术性强,对整个电气安装工程起着检验电气设备内在质量的作用,要严格把关,确保工程送电、试运行、投产顺利。所以对进口项目工程不能照搬国内工程的常规施工项目、标准、方法进行调试工作,而应依据 IEC 标准、设备所属国家和地区或制造厂家企业的标准进行调试。

4) 当有额外的试验项目时,可与国外设备方协商按 IEC 标准和厂家试验标准实施。例如:一次设备的交流耐压试验应根据 IEC 标准经外方认可。

4.2.2 变频器的操作

1. 操作面板

MICROMASTER 420 变频器在标准供货方式时装有状态显示板 SDP,如图 4-29a 所示,对于很多应用是利用 SDP 和制造厂的默认设置值,就可以使变频器成功投入运行。如果工厂的默认设置值不适合设备情况,可以利用图 4-29b 所示的基本操作板(BOP)、图 4-29c 所示的高级操作板(AOP)修改参数,使之匹配。BOP 和 AOP 是作为可选件供货的。也可以用 PC IBN 工具“Drive Monitor”或“STARTER”来调整工厂的设置值。相关的软件在随变频器供货的 CD ROM 中。

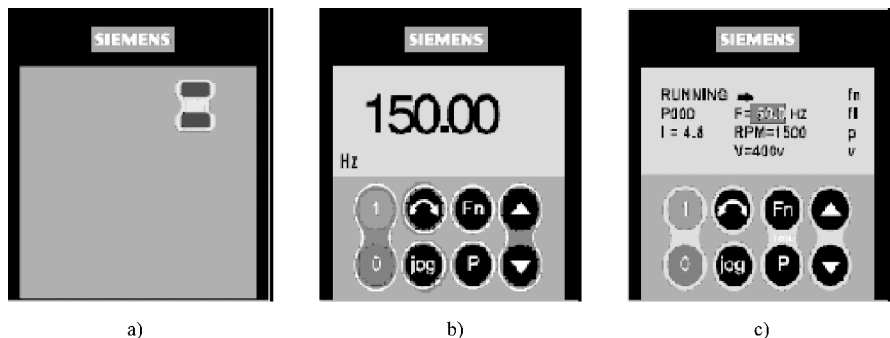


图 4-29 MICROMASTER 420 变频器的操作面板

a) SDP 状态显示板 b) BOP 基本操作板 c) AOP 高级操作板

基本操作板(BOP)默认电源频率设置值(工厂设置值)可以用 SDP 下的 DIP 开关加以改变。变频器交货时的设置情况如下:

DIP 开关 2: Off 位置: 欧洲地区默认值 (50Hz, 功率单位: kW); On 位置: 北美地区默认值 (60Hz, 功率单位: hp)。

DIP 开关 1: 不供用户使用。

用 BOP 进行调试的前提条件是机械和电气安装已经完成, 按照图 4-30 所示的框图进行调试。利用 BOP 可以改变变频器的各个参数, 为了利用 BOP 设定参数, 必须首先拆下 SDP, 并装上 BOP。BOP 具有 7 段显示的五位数字, 可以显示参数的序号和数值, 报警和故障信息, 以及设定值和实际值。参数的信息不能用 BOP 存储。

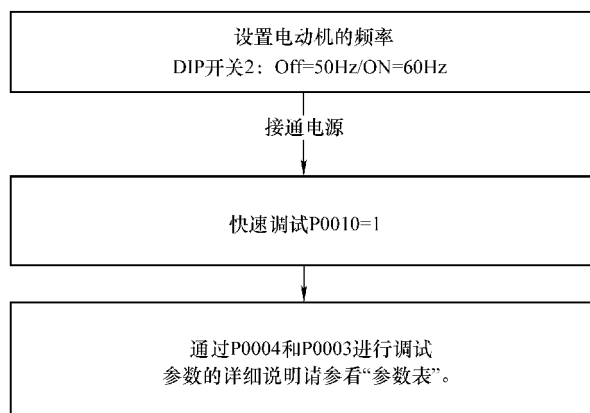


图 4-30 用基本操作板 (BOP) 进行调试的框图

在默认设置时, 用 BOP 控制电动机的功能是被禁止的。如果要用 BOP 进行控制, 参数 P0700 应设置为 1, 参数 P1000 也应设置为 1。

变频器加上电源时, 也可以把 BOP 装到变频器上, 或从变频器上将 BOP 拆卸下来。如果 BOP 已经设置为 I/O 控制 (P0700 = 1), 在拆卸 BOP 时变频器驱动装置将自动停车。用 BOP 操作时的默认设置值见表 4-2, 基本操作面板 (BOP) 上的按钮功能见表 4-3。

表 4-2 用 BOP 操作时的默认设置值

参数	说明	默认值, 欧洲 (或北美) 地区
P0100	运行方式, 欧洲/北美	50Hz, kW (60Hz, hp)
P0307	功率 (电动机额定值)	kW (Hp)
P0310	电动机的额定功率	50Hz (60Hz)
P0311	电动机的额定速度	1395 (1680) r/min [决定变量]
P1082	最大电动机频率	50Hz (60Hz)

表 4-3 基本操作面板 (BOP) 上的按钮功能

显示/按钮	功能	功能的说明
	状态显示	LCD 显示变频器当前的设定值
	起动变频器	按此键起动变频器。默认值运行时此键是被封锁的。为了使此键的操作有效, 应设定 P0700 = 1

(续)

显示/按钮	功能	功能的说明
	停止变频器	OFF1: 按此键, 变频器将按选定的斜坡下降速率减速停车, 默认值运行时此键被封锁; 为了允许此键操作, 应设定 P0700 = 1 OFF2: 按此键两次 (或一次, 但时间较长), 电动机将在惯性作用下自由停车。此功能总是“使能”的
	改变电动机的转动方向	按此键可以改变电动机的转动方向, 电动机的反向用负号表示或用闪烁的小数点表示, 默认值运行时, 此键是被封锁的。为了使此键的操作有效, 应设定 P0700 = 1
	电动机点动	在变频器无输出的情况下按此键, 将使电动机起动, 并按预设定的点动频率运行。释放此键时, 变频器停车。如果变频器/电动机正在运行, 按此键将不起作用
	功能	此键用于浏览辅助信息。 变频器在运行过程中, 在显示任何一个参数时按下此键并保持不动 2s, 将显示以下参数值 (在变频器运行中从任何一个参数开始): 1. 直流回路电压 (用 d 表示, 单位: V) 2. 输出电流 (A) 3. 输出频率 (Hz) 4. 输出电压 (用 o 表示, 单位: V) 5. 由 P0005 选定的数值 (如果 P0005 选择显示上述参数中的任何一个 (3, 4 或 5), 这里将不再显示) 连续多次按下此键将轮流显示以上参数。 跳转功能 在显示任何一个参数 (rXXXX 或 PXXXX) 时短时间按下此键, 将立即跳转到 r0000, 如果需要的话, 可以接着修改其他的参数。跳转到 r0000 后, 按此键将返回原来的显示点
	访问参数	按此键即可访问参数
	增加数值	按此键即可增加面板上显示的参数数值
	减少数值	按此键即可减少面板上显示的参数数值

2. 变频器面板操作

利用变频器的操作面板进行相关参数的设置，即可实现对变频器的某些基本操作，如正反转、点动等。变频调速系统电气图如图 4-31 所示，检查电路正确无误后，合上主电源开关 QS。

(1) 参数设置

MM440 在默认设置时，用 BOP 控制电动机的功能是被禁止的。如果要用 BOP 进行控制，参数 P0700 应设置为 1，参数 P1000 也应设置为 1。用 BOP 可以修改任何一个参数。在修改参数的数值时，BOP 有时会显示 “busy”，表明变频器正忙于处理优先级更高的任务。下面就以设置 P1000 = 1 的过程为例，介绍通过基本操作面板（BOP）修改设置参数的流程，见表 4-4。

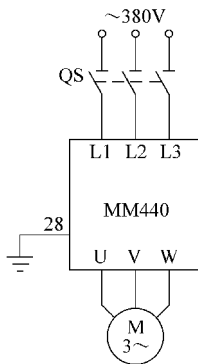
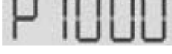


图 4-31 变频调速系统电气图

表 4-4 通过基本操作面板（BOP）修改设置参数的流程

操作步骤		BOP 显示结果
1	按  键，访问参数	
2	按  键，直到显示 P1000	
3	按  键，直到显示 in000，即 P1000 的第 0 组值	
4	按  键，显示当前值 2	
5	按  键，达到所要求的值 1	
6	按  键，存储当前设置	
7	按  键，显示 r0000	
8	按  键，显示频率	

1) 设定 P0010 = 30 和 P0970 = 1，按下 P 键，开始复位，复位过程大约 3min，这样就可以保证变频器的参数恢复到工厂默认值。

2) 设置电动机参数。为了使电动机与变频器相匹配，需要设置电动机参数。电动机参数设置见表 4-5。电动机参数设定完成后，设 P0010 = 0，变频器当前处于准备状态，可正常运行。

表 4-5 电动机参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设定用户访问级为标准级
P0010	0	1	快速调试
P0100	0	0	功率以 kW 表示，频率为 50Hz

(续)

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0304	230	380	电动机额定电压 (V)
P0305	3. 25	1. 05	电动机额定电流 (A)
P0307	0. 75	0. 37	电动机额定功率 (kW)
P0310	50	50	电动机额定频率 (Hz)
P0311	0	1400	电动机额定转速 (r/min)

3) 面板操作的控制参数设置见表 4-6。

表 4-6 面板操作的控制参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0010	0	0	正确地进行运行命令的初始化
P0004	0	7	命令和数字 I/O
P0700	2	1	由键盘输入设定值 (选择命令源)
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0004	0	10	设定值通道和斜坡函数发生器
P1000	2	1	由键盘 (电动电位计) 输入设定值
P1080	0	0	电动机运行的最低频率 (Hz)
P1082	50	50	电动机运行的最高频率 (Hz)
P0003	1	2	设用户访问级为扩展级
P0004	0	10	设定值通道和斜坡函数发生器
P1040	5	20	设定键盘控制的频率值 (Hz)
P1058	5	10	正向点动频率 (Hz)
P1059	5	10	反向点动频率 (Hz)
P1060	10	5	点动斜坡上升时间 (s)
P1061	10	5	点动斜坡下降时间 (s)

(2) 变频器运行操作

- 1) 变频器起动。在变频器的前操作面板上按运行键，变频器将驱动电动机升速，并运行在由 P1040 所设定的 20Hz 频率对应的 560r/min 的转速上。
- 2) 正、反转及加、减速运行。电动机的转速 (运行频率) 及旋转方向可直接通过按前操作面板上的上升键 / 减少键 (▲/▼) 来改变。
- 3) 点动运行。按下变频器前操作面板上的点动键，则变频器驱动电动机升速，并运行在由 P1058 所设置的正向点动 10Hz 频率值上。当松开变频器面板上的点动键，变频器将驱动电动机降速至零。这时，如果按下变频器前操作面板上的换向键，再重复上述的点动运行操作，电动机可在变频器的驱动下反向点动运行。
- 4) 电动机停车。在变频器的操作面板上按停止键，则变频器将驱动电动机降速至零。

3. 变频器的外部运行操作

(1) MM440 变频器的数字输入端口

MM440 变频器有 6 个数字输入端口, 如图 4-32 所示。MM440 变频器的 6 个数字输入端口 (DIN1 ~ DIN6: “5”、“6”、“7”、“8”、“16” 和 “17”) 的功能很多, 可根据需要进行设置。参数号 P0701 ~ P0706 为与端口数字输入 1 功能至数字输入 6 功能, 每一个数字输入功能设置参数值范围均为 0 ~ 99, 出厂默认值均为 1。以下列出其中几个常用的参数值, MM440 数字输入端口功能设置见表 4-7。变频器外部运行操作接线图如图 4-33 所示。

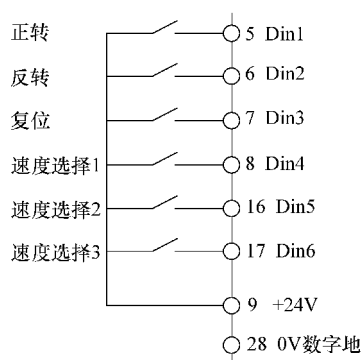


图 4-32 MM440 变频器的数字输入端口

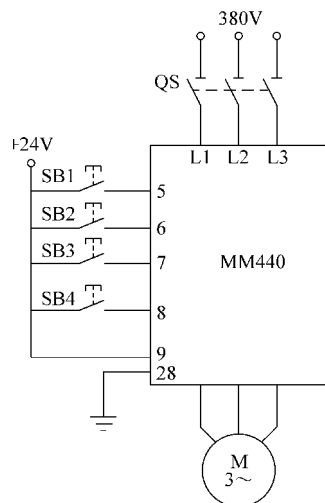


图 4-33 变频器外部运行操作接线图

表 4-7 MM440 数字输入端口功能设置

参数值	功能说明	参数值	功能说明
0	禁止数字输入	12	反转
1	ON/OFF1 (接通正转、停车命令 1)	13	MOP (电动电位计) 升速 (增加频率)
2	ON/OFF1 (接通反转、停车命令 1)	14	MOP 降速 (减少频率)
3	OFF2 (停车命令 2), 按惯性自由停车	15	固定频率设定值 (直接选择)
4	OFF3 (停车命令 3), 按斜坡函数曲线快速降速	16	固定频率设定值 (直接选择 + ON 命令)
9	故障确认	17	固定频率设定值 (二进制编码选择 + ON 命令)
10	正向点动	25	直流注入制动
11	反向点动		

(2) 参数设置

接通断路器 QS, 在变频器通电的情况下, 完成相关参数设置。变频器参数设置见表 4-8。

表 4-8 变频器参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0004	0	7	命令和数字 I/O
P0700	2	2	命令源选择“由端子排输入”
P0003	1	2	设用户访问级为扩展级
P0004	0	7	命令和数字 I/O
* P0701	1	1	ON 接通正转, OFF 停止
* P0702	1	2	ON 接通反转, OFF 停止
* P0703	9	10	正向点动
* P0704	15	11	反转点动
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0004	0	10	设定值通道和斜坡函数发生器
P1000	2	1	由键盘(电动电位计)输入设定值
* P1080	0	0	电动机运行的最低频率(Hz)
* P1082	50	50	电动机运行的最高频率(Hz)
* P1120	10	5	斜坡上升时间(s)
* P1121	10	5	斜坡下降时间(s)
P0003	1	2	设用户访问级为扩展级
P0004	0	10	设定值通道和斜坡函数发生器
* P1040	5	20	设定键盘控制的频率值
* P1058	5	10	正向点动频率(Hz)
* P1059	5	10	反向点动频率(Hz)
* P1060	10	5	点动斜坡上升时间(s)
* P1061	10	5	点动斜坡下降时间(s)

(3) 变频器运行操作

1) 正向运行。当按下带锁按钮 SB1 时,变频器数字端口“5”为 ON,电动机按 P1120 所设置的 5s 斜坡上升时间正向起动运行,经 5s 后稳定运行在 560r/min 的转速上,此转速与 P1040 所设置的 20Hz 对应。放开按钮 SB1,变频器数字端口“5”为 OFF,电动机按 P1121 所设置的 5s 斜坡下降时间停止运行。

2) 反向运行。当按下带锁按钮 SB2 时,变频器数字端口“6”为 ON,电动机按 P1120 所设置的 5s 斜坡上升时间反向起动运行,经 5s 后稳定运行在 560r/min 的转速上,此转速与 P1040 所设置的 20Hz 对应。放开按钮 SB2,变频器数字端口“6”为 OFF,电动机按 P1121 所设置的 5s 斜坡下降时间停止运行。

3) 电动机的点动运行:

① 正向点动运行:当按下带锁按钮 SB3 时,变频器数字端口“7”为 ON,电动机按 P1060 所设置的 5s 点动斜坡上升时间正向起动运行,经 5s 后稳定运行在 280r/min 的转速

上,此转速与 P1058 所设置的 10Hz 对应。放开按钮 SB3,变频器数字端口“7”为 OFF,电动机按 P1061 所设置的 5s 点动斜坡下降时间停止运行。

② 反向点动运行:当按下带锁按钮 SB4 时,变频器数字端口“8”为 ON,电动机按 P1060 所设置的 5s 点动斜坡上升时间反向起动运行,经 5s 后稳定运行在 280r/min 的转速上,此转速与 P1059 所设置的 10Hz 对应。放开按钮 SB4,变频器数字端口“8”为 OFF,电动机按 P1061 所设置的 5s 点动斜坡下降时间停止运行。

4) 电动机的速度调节。分别更改 P1040、P1058 和 P1059 的值,按以上步骤操作,就可以改变电动机正常运行速度和正、反向点动运行速度。

5) 电动机实际转速测定。在电动机运行过程中,利用激光测速仪或者转速测试表,可以直接测量电动机的实际运行速度,当电动机处在空载、轻载或者重载时,实际运行速度会根据负载的轻重略有变化。

4. 变频器的模拟信号操作控制

MM440 变频器的“1”、“2”输出端为用户的给定单元提供了一个高精度的 +10V 直流稳压电源,可利用转速调节电位器串联在电路中,调节电位器改变输入端口 AIN1 + 给定的模拟输入电压,变频器的输入量将跟踪给定量的变化,从而平滑无极地调节电动机的转速。

MM440 变频器为用户提供了两对模拟输入端口,即端口“3”、“4”和端口“10”、“11”,通过设置 P0701 的参数值,使数字输入“5”端口具有正转控制功能;通过设置 P0702 的参数值,使数字输入“6”端口具有反转控制功能;模拟输入“3”、“4”端口外接电位器,通过“3”端口输入大小可调的模拟电压信号,控制电动机的转速。即由数字输入端控制电动机转速的方向,由模拟输入端控制电动机的转速。MM440 变频器模拟信号控制接线如图 4-34 所示。检查电路正确无误后,合上主电源开关 QS。

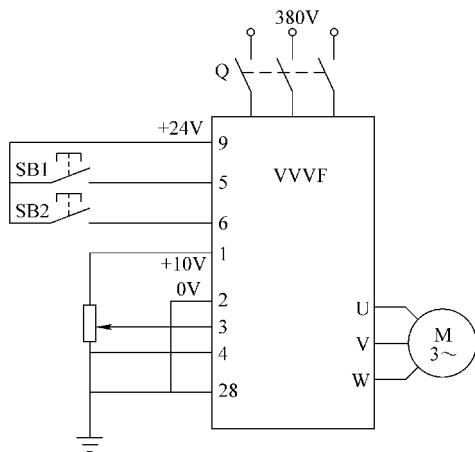


图 4-34 MM440 变频器模拟信号控制接线

(1) 参数设置

1) 恢复变频器工厂默认值,设定 P0010 = 30、P0970 = 1,按下 P 键,开始复位。

2) 设置电动机参数,电动机参数设置见表 4-9。电动机参数设置完成后,设 P0010 = 0,变频器当前处于准备状态,可正常运行。

表 4-9 电动机参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0010	0	1	快速调试
P0100	0	0	工作地区：功率以 kW 表示，频率为 50Hz
P0304	230	380	电动机额定电压（V）
P0305	3.25	0.95	电动机额定电流（A）
P0307	0.75	0.37	电动机额定功率（kW）
P0308	0	0.8	电动机额定功率（COSφ）
P0310	50	50	电动机额定频率（Hz）
P03111	0	2800	电动机额定转速（r/min）

3) 模拟信号操作控制参数设置见表 4-10。

表 4-10 模拟信号操作控制参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0004	0	7	命令和数字 I/O
P0700	2	2	命令源选择由端子排输入
P0003	1	2	设用户访问级为扩展级
P0004	0	7	命令和数字 I/O
P0701	1	1	ON 接通正转，OFF 停止
P0702	1	2	ON 接通反转，OFF 停止
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0004	0	10	设定值通道和斜坡函数发生器
P1000	2	2	频率设定值选择为模拟输入
P1080	0	0	电动机运行的最低频率（Hz）
P1082	50	50	电动机运行的最高频率（Hz）

(2) 变频器运行操作

1) 电动机正转与调速。按下电动机正转自锁按钮 SB1，数字输入端口 DIN1 为“ON”，电动机正转运行，转速由外接电位器 RP1 来控制，模拟电压信号在 0 ~ 10V 范围内变化，对应变频器的频率在 0 ~ 50Hz 范围内变化，对应电动机的转速在 0 ~ 1500r/min 范围内变化。当松开自锁按钮 SB1 时，电动机停止运转。

2) 电动机反转与调速。按下电动机反转自锁按钮 SB2，数字输入端口 DIN2 为“ON”，电动机反转运行，与电动机正转相同，反转转速的大小仍由外接电位器来调节。当松开自锁按钮 SB2 时，电动机停止运转。

5. 变频器的多段速运行操作

(1) MM440 变频器的多段速控制功能

多段速功能也称为固定频率，就是在设置参数 P1000 = 3 的条件下，用开关量端子选择

固定频率的组合，实现电动机多段速度运行。可通过如下三种方法实现：

1) 直接选择 (P0701 – P0706 = 15)。在这种操作方式下，一个数字输入选择一个固定频率，端子与参数设置对应关系见表 4-11。

表 4-11 端子与参数设置对应关系

端子编号	对应参数	对应频率设置值	说 明
5	P0701	P1001	1. 频率给定源 P1000 必须设置为 3 2. 当多个选择同时激活时，选定的频率是它们的总和
6	P0702	P1002	
7	P0703	P1003	
8	P0704	P1004	
16	P0705	P1005	
17	P0706	P1006	

2) 直接选择 + ON 命令 (P0701 – P0706 = 16)。在这种操作方式下，数字量输入可选择固定频率 (见表 4-10)，又具备起动功能。

3) 二进制编码选择 + ON 命令 (P0701 – P0704 = 17)。MM440 变频器的 6 个数字输入端口 (DIN1 ~ DIN6)，通过 P0701 ~ P0706 设置实现多频段控制。每一频段的频率分别由 P1001 ~ P1015 参数设置，最多可实现 15 频段控制，各个固定频率的数值选择见表 4-12。在多频段控制中，电动机的转速方向是由 P1001 ~ P1015 参数所设置的频率正负决定的。6 个数字输入端口，哪一个作为电动机运行、停止控制，哪些作为多段频率控制，可由用户任意确定，一旦确定了某一数字输入端口的控制功能，其内部的参数设置值必须与端口的控制功能相对应。

表 4-12 各个固定频率的数值选择

频率设定	DIN4	DIN3	DIN2	DIN1
P1001	0	0	0	1
P1002	0	0	1	0
P1003	0	0	1	1
P1004	0	1	0	0
P1005	0	1	0	1
P1006	0	1	1	0
P1007	0	1	1	1
P1008	1	0	0	0
P1009	1	0	0	1
P1010	1	0	1	0
P1011	1	0	1	1
P1012	1	1	0	0
P1013	1	1	0	1
P1014	1	1	1	0
P1015	1	1	1	1

三段固定频率控制接线如图 4-35 所示，检查线路正确后，合上变频器电源开关 QS。

(2) 参数设置

1) 恢复变频器工厂默认值，设定 P0010 = 30，P0970 = 1。按下 P 键，变频器开始复位到工厂默认值。

2) 电动机参数设置见表 4-13。电动机参数设置完成后，设 P0010 = 0，变频器当前处于准备状态，可正常运行。

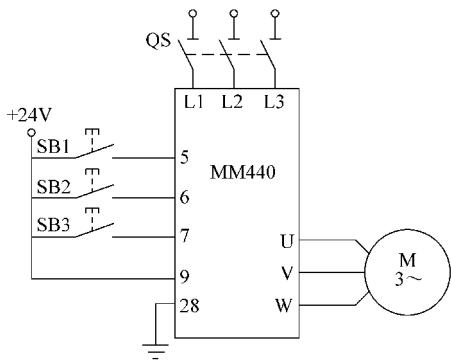


图 4-35 三段固定频率控制接线

表 4-13 电动机参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0010	0	1	快速调试
P0100	0	0	工作地区：功率以 kW 表示，频率为 50Hz
P0304	230	380	电动机额定电压（V）
P0305	3.25	0.95	电动机额定电流（A）
P0307	0.75	0.37	电动机额定功率（kW）
P0308	0	0.8	电动机额定功率（COSφ）
P0310	50	50	电动机额定频率（Hz）
P03111	0	2800	电动机额定转速（r/min）

3) 变频器 3 段固定频率控制参数设置见表 4-14。

表 4-14 变频器 3 段固定频率控制参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0004	0	7	命令和数字 I/O
P0700	2	2	命令源选择由端子排输入
P0003	1	2	设用户访问级为拓展级
P0004	0	7	命令和数字 I/O
P0701	1	17	选择固定频率
P0702	1	17	选择固定频率
P0703	1	1	ON 接通正转，OFF 停止
P0003	1	1	设用户访问级为标准级
P0004	2	10	设定值通道和斜坡函数发生器
P1000	2	3	选择固定频率设定值
P0003	1	2	设用户访问级为拓展级
P0004	0	10	设定值通道和斜坡函数发生器
P1001	0	20	选择固定频率 1（Hz）
P1002	5	30	选择固定频率 2（Hz）
P1003	10	50	选择固定频率 3（Hz）

(3) 变频器运行操作

当按下自锁按钮 SB1 时, 数字输入端口 “7” 为 “ON”, 允许电动机运行。

1) 第 1 频段控制。当 SB1 按钮接通、SB2 按钮断开时, 变频器数字输入端口 “5” 为 “ON”, 端口 “6” 为 “OFF”, 变频器工作在由 P1001 参数所设定的频率为 20Hz 的第 1 频段上。

2) 第 2 频段控制。当 SB1 按钮断开, SB2 按钮接通时, 变频器数字输入端口 “5” 为 “OFF”, “6” 为 “ON”, 变频器工作在由 P1002 参数所设定的频率为 30Hz 的第 2 频段上。

3) 第 3 频段控制。当按钮 SB1、SB2 都接通时, 变频器数字输入端口 “5”、“6” 均为 “ON”, 变频器工作在由 P1003 参数所设定的频率为 50Hz 的第 3 频段上。

4) 电动机停车。当 SB1、SB2 按钮都断开时, 变频器数字输入端口 “5”、“6” 均为 “OFF”, 电动机停止运行。或在电动机正常运行的任何频段, 将 SB3 断开使数字输入端口 “7” 为 “OFF”, 电动机也能停止运行。

3 个频段的频率值可根据用户要求对 P1001、P1002 和 P1003 参数进行修改, 当电动机需要反向运行时, 只要将相对应频段的频率值设定为负就可以实现。

6. 变频器的 PID 控制运行操作

(1) PID 控制

PID 控制是闭环控制中的一种常见形式, 反馈信号取自拖动系统的输出端, 当输出量偏离所要求的给定值时, 反馈信号成比例变化。在输入端, 给定信号与反馈信号相比较, 存在一个偏差值。对该偏差值, 经过 PID 调节, 变频器通过改变输出频率, 迅速、准确地消除拖动系统的偏差, 恢复到给定值, 振荡和误差都比较小。PID 控制适用于压力、温度、流量控制等。

MM440 变频器内部有 PID 调节器, 利用 MM440 变频器的 PID 调节器可很方便地构成 PID 闭环控制。MM440 变频器 PID 控制原理简图如图所示 4-36 所示, PID 给定源和反馈源分别见表 4-15、表 4-16。

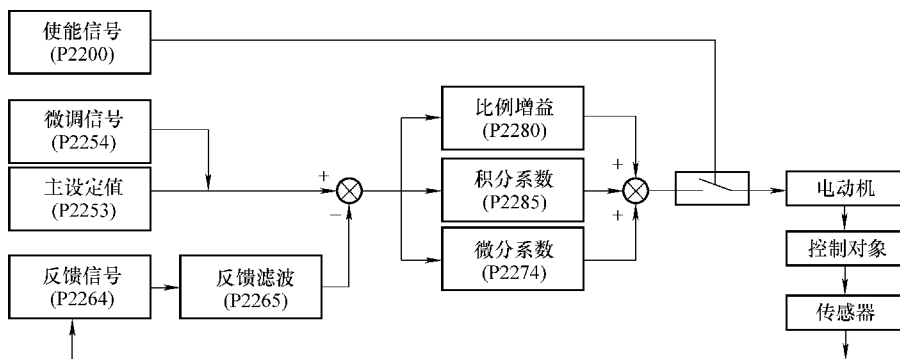


图 4-36 MM440 变频器 PID 控制原理简图

表 4-15 MM440PID 给定源

PID 给定源	设定值	功能解释	说 明
P2253	2250	BOP	通过改变 P2240 改变目标值
	755.0	模拟通道 1	通过模拟量大小改变目标值
	755.1	模拟通道 2	

表 4-16 MM440PID 反馈源

PID 反馈源	设定值	功能解释	说 明
P2264	755.0	模拟通道 1	当模拟量波动较大时，可适当加大滤波时间，确保系统稳定
	755.1	模拟通道 2	

图 4-37 所示为面板设定目标值的 PID 控制端子接线图，模拟输入端 AIN2 接入反馈信号 0~20mA，数字量输入端 DIN1 接入的自锁按钮 SB1 控制变频器的起/停，给定目标值由 BOP (▲/▼) 键设定。

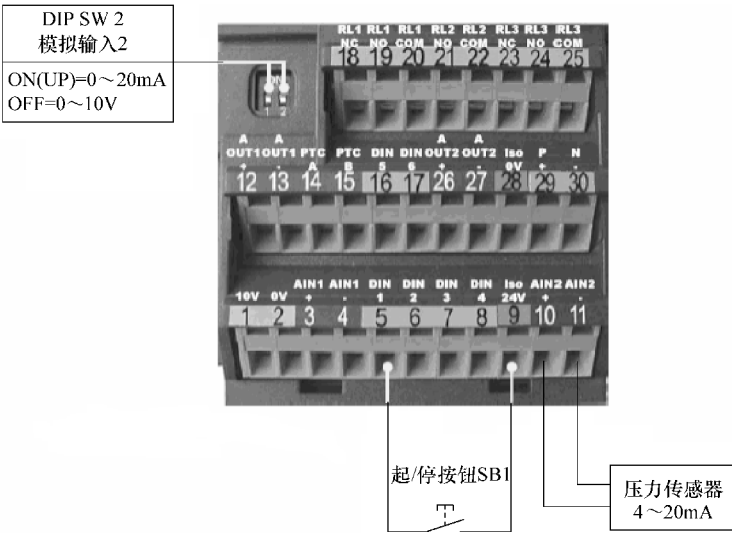


图 4-37 面板设定目标值的 PID 控制端子接线图

(2) 参数设置

- 1) 参数复位。恢复变频器工厂默认值，设定 P0010 = 30 和 P0970 = 1。按下 P 键，开始复位，复位过程大约为 3s，这样就保证了变频器的参数恢复到工厂默认值。
- 2) 电动机参数设置见表 4-17。电动机参数设置完成后，设 P0010 = 0，变频器当前处于准备状态，可正常运行。

表 4-17 电动机参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	1	设定用户访问级为标准级
P0010	0	1	快速调试
P0100	0	0	功率以 kW 表示，频率为 50Hz
P0304	230	380	电动机额定电压（V）
P0305	3.25	1.05	电动机额定电流（A）
P0307	0.75	0.37	电动机额定功率（kW）
P0310	50	50	电动机额定频率（Hz）
P0311	0	1400	电动机额定转速（r/min）

3) 控制参数设置见表 4-18。

表 4-18 控制参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	2	用户访问级为扩展级
P0004	0	0	参数过滤显示全部参数
P0700	2	2	由端子排输入（选择命令源）
* P0701	1	1	端子 DIN1 功能为 ON 接通正转/OFF 停车
* P0702	12	0	端子 DIN2 禁用
* P0703	9	0	端子 DIN3 禁用
* P0704	0	0	端子 DIN4 禁用
P0725	1	1	端子 DIN 输入为高电平有效
P1000	2	1	频率设定由 BOP (▲▼) 键设置
* P1080	0	20	电动机运行的最低频率（下限频率）（Hz）
* P1082	50	50	电动机运行的最高频率（上限频率）（Hz）
P2200	0	1	PID 控制功能有效

注：表 4-18 中，标“*”号的参数可根据用户的需要改变，以下同。

4) 目标参数设置见表 4-19。

表 4-19 目标参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	3	用户访问级为专家级
P0004	0	0	参数过滤显示全部参数
P2253	0	2250	已激活的 PID 设定值（PID 设定值信号源）
* P2240	10	60	由 BOP (▲▼) 键设定的目标值（%）
* P2254	0	0	无 PID 微调信号源
* P2255	100	100	PID 设定值的增益系数
* P2256	100	0	PID 微调信号的增益系数
* P2257	1	1	PID 设定值的斜坡上升时间
* P2258	1	1	PID 设定值的斜坡下降时间
* P2261	0	0	PID 设定值无滤波

当 P2232 = 0 允许反向时，可以用 BOP 键盘上的 (▲▼) 键设定 P2240 值为负值。

5) 反馈参数设置见表 4-20。

表 4-20 反馈参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	3	用户访问级为专家级
P0004	0	0	参数过滤显示全部参数
P2264	755.0	755.1	PID 反馈信号由 AIN2 +（即模拟输入 2）设定
* P2265	0	0	PID 反馈信号无滤波
* P2267	100	100	PID 反馈信号的上限值（%）

(续)

参数号	出厂值	设置值	说 明
* P2268	0	0	PID 反馈信号的下限值 (%)
* P2269	100	100	PID 反馈信号的增益 (%)
* P2270	0	0	不用 PID 反馈器的数学模型
* P2271	0	0	PID 传感器的反馈形式为正常

6) PID 参数设置见表 4-21。

表 4-21 PID 参数设置

参数号	出厂值	设置值	说 明
P0003	1	3	用户访问级为专家级
P0004	0	0	参数过滤显示全部参数
* P2280	3	25	PID 比例增益系数
* P2285	0	5	PID 积分时间
* P2291	100	100	PID 输出上限 (%)
* P2292	0	0	PID 输出下限 (%)
* P2293	1	1	PID 限幅的斜坡上升/下降时间 (s)

(3) 变频器运行操作

1) 按下自锁按钮 SB1 时，变频器数字输入端 DIN1 为“ON”，变频器起动电动机运行。当反馈的电流信号发生改变时，将会引起电动机速度发生变化。

若反馈的电流信号小于目标值 12mA（即 P2240 值），变频器将驱动电动机升速，电动机速度上升又会引起反馈的电流信号变大。当反馈的电流信号大于目标值 12mA 时，变频器将驱动电动机降速，从而又使反馈的电流信号变小；当反馈的电流信号小于目标值 12mA 时，变频器又将驱动电动机升速。如此反复，能使变频器达到一种动态平衡状态，变频器将驱动电动机以一个动态稳定的速度运行。

2) 如果需要，则目标设定值（P2240 值）可直接通过按操作面板上的（▲▼）键来改变，当设置 P2231 = 1 时，由（▲▼）键改变了的目标设定值将被保存在内存中。

3) 松开自锁按钮 SB1，数字输入端 DIN1 为“OFF”，电动机停止运行。

4.2.3 变频器的调试

1. 变频器的静态调试

(1) 静态调试前的检查

静态调试前检查的主要项目有：

1) 盘柜的外观检查。在送电之前，先目测观察控制柜外表有无撞击痕迹，柜内一次、二次设备元器件有无人为损坏，连接是否正确，各元器件之间的电缆连接是否牢靠，控制线路接头是否松动，各个电动机电缆连接是否牢靠，各相对地绝缘是否满足标准要求。

2) 盘柜间、操作柜、辅助盘柜间二次连接线；校线检查。

3) 通电前应进行就地、现场、PLC 控制传动模拟测试。

4) 与厂家配合进行通电前对开关柜、电缆、变压器、变频器和电动机整个系统的检查确认。

(2) 通电及参数设置

在完成上述静态检查无误后,按变频调速系统的调试方案的步骤送电至变频器。通电后,先检测三相电源是否缺相,电源是否稳定,应在允许范围内,观察显示器,并按变频器产品使用手册变更显示内容,检查是否有异常。听看风机运转否,有的变频器使用温控风机,一开机风机不一定转,等机内温度升高后风机才转。

进行变频器带电后的调试、技术参数的测试及设置。设置前先读懂变频器产品使用手册,电动机能脱离负载的先脱离负载。变频器在出厂时设置的功能不一定符合实际使用要求,因此需进行符合现场所需功能的设置。对矢量控制的变频器,要按手册设置或自动检测,并在检查设置完毕后进行验证和储存。

2. 快速调试

MICROMASTER420 变频器快速调试的流程:

P0010 开始快速调试 (0 准备运行; 1 快速调试; 30 工厂的默认设置值) → P0100 选择工作地区 (欧洲: 0 功率单位为 kW; F 的默认值为 50Hz; 北美: 1 功率单位为 hp; F 的默认值为 60Hz; 2 功率单位为 kW; F 的默认值为 60Hz) → P0304 电动机的额定电压 1: 10 ~ 2000V → P0305 电动机的额定电流 1: 0 ~ 2 倍变频器额定电流 (A) → P0307 电动机的额定功率 1: 0 ~ 2000W, 根据铭牌键入的电动机额定功率 (kW) → P0310 电动机的额定频率 1: 12 ~ 650Hz → P0311 电动机的额定转速 1: 0 ~ 400001/min → P0700 选择命令源 2: 接通/断开/反转 (on/off/reverse); 0 工厂设置值 → P1000 选择频率设定值 2: 0 无频率设定值; 1 用 BOP 控制频率的升降 ↑ ↓ → P1080 电动机最小频率, 本参数设定电动机的最小频率 (0 ~ 650Hz); 达到这一频率时电动机的运行速度将与频率的设定值无关 → P1082 电动机最大频率, 本参数设定电动机的最大频率 (0 ~ 650Hz); 达到这一频率时电动机的运行速度将与频率的设定值无关 → P1120 斜坡上升时间: 0 ~ 650s, 电动机从静止停车加速到最大电动机频率所需的时间 → P1121 斜坡下降时间: 0 ~ 650s → P3900 结束快速调试: 0 结束快速调试, 不进行电动机计算或复位为工厂默认设置值; 1 结束快速调试, 进行电动机计算和复位为工厂默认设置值 (推荐的方式)。

3. 空载运行

变频器带机 (即接上电动机) 空载 (即电动机不带负载) 调试, 下列几步为关键步骤:

1) 设置电动机的功率、极对数, 以及确定变频器的工作电流。
2) 压/频 (U/f) 工作方式的选择包括最高工作频率、基本工作频率 (即基底频率) 和转矩类型等项目。

3) 按照变频器使用说明书对其电子热继电器功能进行设置。

4) 将变频器设置为自带键盘操作模式, 按变频器自带键盘的运行键、停止键, 观察电动机是否能正常起动、停止。将电动机所带的负载脱离或减轻, 做以下空载运行检查:

① 检查进线和出线电压, 听电动机运转声音是否正常, 检查电动机转向是否正确, 反了首先要更换电动机线校正。

② 改变不同的运行频率进行观察, 注意检查电动机的温升情况及加、减速是否平滑等。加速时间、减速时间的设置应满足设备运行速度控制的要求, 同时不应在正常加速、减速过

程中出现变频器过电流、过电压等跳闸现象。不能满足升速要求应考虑加大变频器容量。降速出现问题时,应选用制动单元。

③ 各频率点是否有异常震动、共振、声音不正常,如有共振应设法使用变频器跳频功能避开该点。

④ 按设置的程序从头到尾试一遍进行确认。

⑤ 模拟日常会发生的操作,将各种可能的操作操作一遍,并确认无误。

⑥ 听电动机因调制频率产生的震动噪声是否在允许范围内,如不合适可更改调制频率,频率选高了震动噪声减小,但变频器温升增加,电动机输出力矩有所下降。可能的话,调制频率低一些为好。

⑦ 测量输出电压和电流对称程度,对电动机而言不得有 10% 以上的不平衡。

4. 负载试运行

变频器负载(即变频器接上电动机并且电动机带上负载)运行调试的检查项目有:

1) 手动操作变频器面板的运行停止键,观察电动机的运行停止过程及变频器的显示屏,看是否有异常现象。对于低速重负载的恒转矩负载,起动时变频器时常出现电流保护动作或位能负载出现溜车现象,均为起动力矩不够。解决的方法是提高低频时的起动力矩。应适当加大转矩提升值(实际为低频电压补偿),提升转矩过大会加剧电动机低速铁心过饱和引起电动机发热。如果变频器在起动过程中过电流保护还是动作,应更换更大一级功率的变频器。如果变频器带动电动机在起动过程中达不到预设速度,可能有两种情况:

① 系统发生机电共振,可以从电动机运转的声音进行判断。采用设置频率跳跃值的方法,可以避开共振点。一般变频器能设置三级跳跃点。

② 电动机的转矩输出能力不够。不同系列的变频器出厂参数设置不同,在相同的条件下,带载能力不同。也可能是因变频器的控制方法不同,造成电动机的带载能力不同;或因系统的输出效率不同,造成带载能力会有差异。对于这种情况,可以增加转矩提升值。如果达不到,可用手动转矩提升功能,不要设置过大,电动机这时的温升会增加。如果仍然解决不了问题,应改用新的控制方法,如采用 U/f 比值恒定的方法起动达不到要求时,改用无速度传感器空间矢量控制方法,它具有更大的转矩输出能力。对于风机和泵类负载,应减少降转矩的曲线值。

2) 按正常负载运行,用钳型电流表测各相输出电流是否在预定值范围之内(观察变频器自显示电流也可,两者略有差别)。

3) 对有转速反馈的闭环系统要测量转速反馈是否有效,做一下人为断开和接入转速反馈,看对电动机电压、电流、转速的影响程度。

4) 检查电动机旋转的平稳性,加负载运行到稳定温升(一般 3h 以上)时,电动机和变频器的温度是否太高,如高应调整以下参数:负载、频率、 U/f 曲线、外部通风冷却、变频器调制频率等。

5) 试验电动机的升、降速时间是否过快或过慢,不适合应重新设置。检查此项设置是否合理的方法是先按经验选定加、减速时间进行设置,若在起动过程中出现过电流,则可适当延长加速时间;若在制动过程中出现过电压,则适当延长减速时间。

6) 试验各类保护显示的有效性,在允许的范围内尽量多做一些非破坏性的各种保护的确认。如果变频器在限定的时间内保护仍然动作,应改变起动/停止的运行曲线,从直线改

为 S 形、半 S 形线或反 S 形、反半 S 形线。电动机负载惯性较大时，应采用更长的起动/停止时间，并且根据其负载特性设置运行曲线类型。

如果变频器仍然存在运行故障，应尝试增加最大电流的保护值，但是不能取消保护，应留有至少 10% ~ 20% 的保护余量。

7) 按现场工艺要求试运行一周，随时监控，并做好记录作为今后的运行工况数据对照。

在手动负载调试完成后，如果系统中有上位机，将变频器的控制线直接与上位机控制线相连，并将变频器的操作模式改为端子控制。根据上位机系统的需要，进行系统调试。

第5章 西门子变频调速系统工程的应用实例

实例1. SIMOVERTMV 中压变频器在鼓风机上的应用

1. 风机的工作特性

国内大部分厂家生产的大功率风机采用液力耦合器调速，虽降低了电能消耗，但节能效果不佳；如果采用中压变频调速，通过网络通信及时判断工艺生产状态，进而改变风机转速来调节输出风量，这不但方便有效，还可节省大量的电能。

从风机的工作特性来看，调速控制与风门控制调节风量比较，有着更高的节能效果。风机的特性曲线如图 5-1 所示。在图 5-1 中，曲线 1 为风机在恒速 (n_1) 下的风压 - 风量 ($H-Q$) 特性，曲线 2 为管网风阻特性（风门开度全开）。设工作点为 A，输出风量 Q_1 为 100%，此时风机轴功率 N_1 与 $Q_1 H_1$ 的乘积，即和 $AH_1 OQ_1$ 所包围的面积成正比。

根据工艺要求，风量从 Q_1 降至 Q_2 有两种控制方法。一是风门控制，风机转速不变，调节风门（开度减小），即增加管网阻力，使管网阻力特性变为曲线 3，系统工作点由 A 移到 B。由图 5-1 可见，风压反而增加，轴功率 N_2 与面积 $BH_2 OQ_2$ 成正比，减少不多。

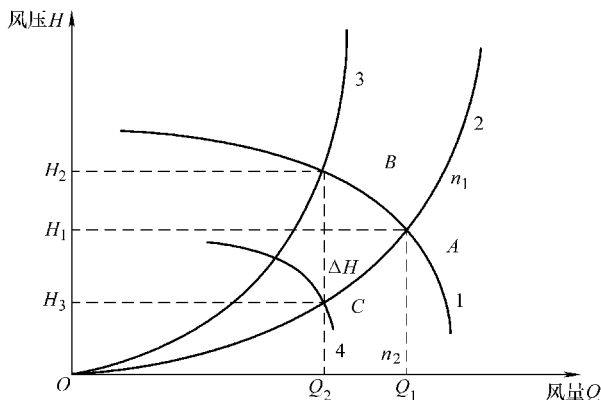


图 5-1 风机的特性曲线

另一种是调速控制，风机转速由 n_1 降到 n_2 ，根据风机参数的比例定律，画出在转速 n_2 下的风压 - 风量 ($H-Q$) 特性，如曲线 4，工作点由原来的 A 点移到 C 点。可见在相同风量 Q_2 的情况下，风压 H_3 大幅度降低，功率 N_3 与面积 $CH_3 OQ_2$ 成正比，显著减少，节省的功率损耗 ΔN 与 $Q_2 \Delta H$ 的乘积成正比，节能效果是十分明显的。

由流体力学可知，风量与转速的一次方成正比，风压与转速的二次方成正比，轴功率与转速的三次方成正比。当风量减少，风机转速下降时，其消耗的功率降低很多。例如，风量下降到 80%，转速也下降到 80%，轴功率将下降到额定功率的 51.2%。如果风量下降到 50%，其轴功率将下降到额定功率的 12.5%。考虑到附加控制装置效率的影响，这个节电效果也是很可观的。

2. 风机中压变频系统

对于高压大容量异步电动机，在不更换原有电动机形式的前提下，进行变频调速有两种方式：

1) 采用高-高式直接变频调速系统，即高压电源直接经变频器变频变压后供电给高压异步电动机。目前，绝大多数直接高压变频器由于考虑到减少谐波对电网的污染及抑制电动机共模电压，仍保留有输入变压器，这种变频器性能优良，但价格昂贵。

2) 采用“高-低-高”式高压变频调速系统，即将高压电源电压经降压变压器降至低压变频器允许的电压，再经低压变频器变频变压后，经升压变压器升至高压，供电给高压电动机。这种变频方式有许多优点，是一种经济实用的高压变频调速系统。

根据工艺要求及现场实际情况选用西门子 SIMOVERT MV 中压变频器构成风机风量调速系统，变频调速系统配置及原理图如图 5-2 所示。

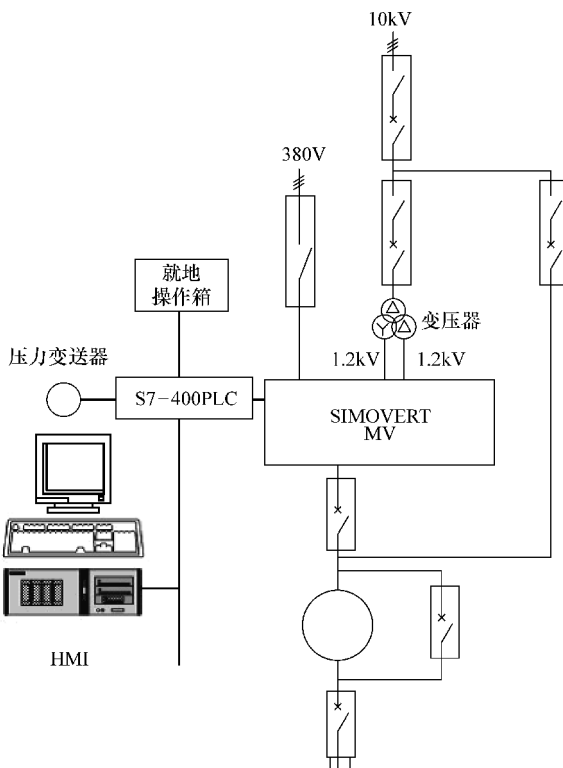


图 5-2 变频调速系统配置及原理图

变频器的起停由现场操作箱或主控制人机界面（HMI）控制，在起动时首先将挡板开至最大位置，然后起动变频器，风压由现场流量变送器测量后将实际的流量信号输入至西门子 S7-400PLC 中，与设定的流量值进行比较，通过 PID 调节器输出一个 4~20mA 的信号作为变频器的给定信号来调节电动机的转速，从而实现对风机风量的调节。

在变频器发生故障时，可以临时通过旁路高压开关柜起动电动机，之后通过调节出口挡板的开度大小来调节风机流量。由于异步电动机对电网的冲击比较大，因此采用了星三角起动电动机。系统中选用的西门子 SIMOVERTMV 中压变频器拥有以下特点：

1) SIMOVERTMV 系列变频器采用传统的交-直-交变频器结构，整流部分采用 12 脉

冲二极管整流器, 逆变部分采用三电平 PWM 逆变器。该系列变频器采用传统的电压型变频器结构, 通过采用耐压较高的 HV-IGBT 模块, 使得串联器件数减少为 12 个, 随着元器件数量的减少, 成本降低, 方案变得简洁, 有助于提高可靠性。良好的输入/输出波形, 满足 IEEE-519 标准, 效率高, 使用简单, 便于维护, 采用高性能的矢量控制技术, 提供低速高转矩输出和良好的动态特性, 同时具备较强的过载能力。

2) SIMOVERT MV 系列变频器的逆变部分采用三电平方式, 其输出侧需要配置输出滤波器, 以获得具有低谐波分量的基本正弦电流特性以及较佳的转矩特性, 同时电动机的损耗可以降低到最低。另外, HV-IGBT 的优点是每次通、断电的瞬间电流和电压可以完全控制, du/dt 可以调节, 从而减轻对电动机绝缘的损坏。

3) 系统提供多种控制模式, 包括线性 U/f 控制, 二次方 U/f 控制, 可编程多点设定 U/f 控制, 磁通电流控制, 无测速传感器矢量控制, 闭环矢量控制等。通过速度反馈选板可构成带反馈的矢量控制闭环, 从而可大大提高风机系统的控制精度和稳定性。

4) 当变频器工作于限流状态时, 不受输出短路的影响, 这就避免了当电动机或电缆发生短路等故障时, 造成变频器功率元件的损坏。

5) 高性能及成熟的全数字化 SIMADYND 控制系统, 可用作开环控制和闭环控制平台, 它具有灵活的标准软件, 速度极快的全数字化 32 位信号处理器, 便于操控和观测的良好的用户界面, 本地诊断程序以及通过调制解调器的远程诊断功能。

6) SIMOVERT MV 模块化设计不仅使系统结构十分紧凑, 而且也增强了系统的维修便利性, 因而提高了系统的可利用率。在设备运行的情况下, 变频器的冷却风扇在半小时内可完成更换。不必使用特殊工具, 只需 5min 就可完成 IGBT 功率模块的更换工作, 光纤触发装置 UEL 采用可插式结构。SIMADYND 控制板以及供选用的调制解调器接口卡也都是插入式的。模块错误信息的时序记忆功能可迅速排除整个传动系统的故障, 例如: 断路器、电网欠电压或过电压、变压器监测、风扇故障、电动机监测、IGBT 监测、直流环节电压、接地故障监测、辅助电压监测等。

7) 具有强大的通信功能, 在风机系统中, 生产工艺状态识别可通过 PLC 方便实现。由于采用了现场总线技术, 该变频器与上位 PLC 系统之间只需通过 Profibus 通信模块和一根通信电缆实现连接, 减少了操作台及控制台之间大量的电缆连接及因此带来的诸多问题。

3. 系统调试

系统调试的具体步骤如下:

1) 按说明书的要求在不带电动机的情况下对变频器进行检查, 对各项功能和数据进行设置和更改。

2) 在带负载调试的起动过程中, 其阻力矩随着转速的上升而迅速上升。当起动完毕后, 阻力矩达 $(0.6 \sim 0.9) M_e$, 而在风机起动初期, 由于滑动轴承中的油膜尚未形成, 呈现静摩擦阻力矩较动摩擦阻力矩大的情况, 并且在运行环境中的气体残污黏结, 也影响到电动机的起动转矩。由于风机是单吸双支撑结构, 起动时轴向力较大, 在短时间内风机很难快速起动, 有时过电流 30% 可持续 10s 以上, 因此时常造成变频器过负载保护性停机。针对这一状况, 做了以下调整:

① 增加起动时间, 减少起动负载。起动风机一般都在管路内的空气为冷态 (冷态空气密度比热态空气密度要大), 达到相同出口风量时, 势必会多做功, 系统负载加重。为减少

风量, 可将风机前调节阀开度打到允许范围内的最小程度, 约 10° , 整个起动过程中风机入口风量可控制在 $20000\text{m}^3/\text{h}$ 以内。

② 由于风机起动时工况比较特殊, 在此期间会发生短时电流超过额定电流 1.3 倍左右 (额定电流: 175A , 峰值电流: 210A)。变频器对短时过电流的保持时间可做调节, 最大值为 30s , 经过反复实验调整为 12s , 此时完全满足了需要。

3) 由于高压电网时常产生波动, 使得变频器经常出现过电压故障, 需进行内部复位, 可将变频器输入电压允许范围由原来的 $\pm 5\%$ 改为 $\pm 10\%$ 。

4) 风机“喘振”问题的处理。所谓“喘振”就是当风机具有驼峰形 $H-Q$ 性能曲线在不稳定区工作时, 往往会出现喘振现象。这种现象是最恶劣、最危险的工况, 会对风机造成严重损坏。“喘振”最明显的特征是进风口出现可怕的低沉的吼叫声, 电动机电流大幅度地变化, 出风口的压力和流量都大幅度地波动, 其振动频率越高危害越大。产生“喘振”的原因是: 变频调速时的转速正好调在喘振区; 进风阀因机械故障打不开, 这时就会出现喘振。避免喘振的方法主要有:

① 在风机选型时尽量避免采用具有驼峰形 $Q-H$ 性能曲线的风机, 而采用具有 $Q-H$ 性能曲线平直向下倾斜的风机。

② 把转速适当调高或调低, 使性能曲线 $Q-H$ 上的临界点 K 向右上或左下方移动, 从而缩小不稳定段, 也就是要避开喘振频率段。但调低转速时, 一定要保证风压足够大才有效。

③ 如果系统中所需的流量小于 Q_k 时, 可装设再循环管, 使风机的出风口流量始终大于 Q_k 。

④ 进风阀与风机之间一定要有可靠的联锁, 当进风阀打不开时, 回风阀要自动打开排空, 以保证风机的正常起动及运行。

实例 2. ECO 变频器在疏水泵上的应用

1. ECO 变频器的特点

采用西门子专门用于暖通、空调 (HAVC) 的智能型 MidiMasterECO 系列变频器构成系统, 具有以下优点:

1) 优化的输入/输出功能。具有典型的 HAVC 应用所必需的控制及监控功能。6 路可编程开关量输入, 2 路模拟量输入/输出, 2 路开关量输出。

2) 自动优化的调试过程。仅对 12 个基本参数进行设置, 便可以满足所有 HAVC 应用。扩展参数还可满足灵活的应用要求。调试简单, 维护工作量小。

3) 完整的电气保护: 过电压、欠电压、过电流、电动机缺相、电动机过热、接地故障、电动机堵转、变频器内部故障等。

4) 采用“软起动、软停止”功能, 避免了“水锤现象”, 并延长了电动机和水泵的使用寿命。

5) 长电缆运行: 电动机与变频器的电缆可达 150m 而不需加输出电抗器。

6) 与楼宇管理系统的通信。内置 RS-485 通信口, 速率达 19200 波特率, 楼宇自控系统可以按照 USS 协议与几十台变频器采用双绞线实现所有的监控功能。

7) 捕捉再起动。为确保电源故障恢复后能正确地自动再起动, 电动机仍在运转时, 变频器可以快速捕捉到电动机转速, 输出与电动机同步的频率, 而不会引起系统跳闸。

8) 能耗的优化 (ECO)。在达到给定值后, 控制系统会自动优化电动机能耗。

9) 内置 PID 调节器模块。PID 调节器与外部传感器连接, 可实现精确的流量、压力或温度闭环控制, 从而实现恒压、恒流量或恒湿度调节, 既保证了工艺要求, 也达到了节能效果。

10) 高起动转矩。即使长时间运行后, 变频器仍可确保泵类负载稳定运行, 加速时自动提供附加起动转矩。

2. 系统构成

本系统为可编程控制的变频液位控制系统, 系统采用可编程序控制器 (PLC), 可实现手动开环调节、自动闭环调节、远方控制及本地控制。每台电动机设置单独的控制面板, 具有液位显示、频率显示、工作状态显示功能, 变频器故障、可编程序控制器故障, 可实现声光报警。变频调速器采用西门子公司的产品, 可实现电动机的平滑调节。变频调速器加装交流电抗器及直流电抗器, 确保变频调速器电源侧的谐波分量小于 5%。系统控制框图如图 5-3 所示。系统主回路原理图如图 5-4 所示。

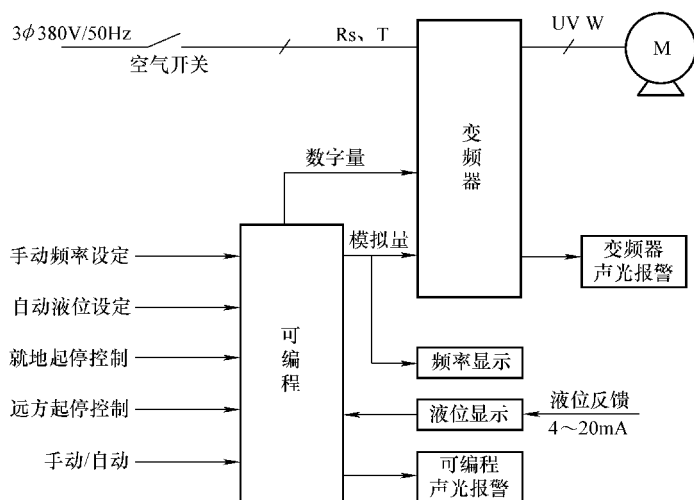


图 5-3 系统控制框图

(1) 自动闭环控制过程

当系统处于自动调节状态时, 自动控制指示灯亮, 系统进入自动控制状态。系统由液位传感器作为系统的反馈信号, 反馈信号采取 4 ~ 20mA 电流信号, 恒液位值的设定可在可编程序控制器中人工设定, 通过使用 ECO 变频器内部的 PID 控制功能, 起动水泵做变频调节运行, 并达到恒定的液位值, 形成一个动态平衡过程。若设定液位值为 Y_0 , 过程液位值为 Y_i , 当用水量增加 $Y_i < Y_0$ 时, 则变频器输出频率上升, 转速提高, 供水量增大, 仍达到恒定的设定液位值, 从而形成一个新的动态平衡过程, 实现系统的自动控制功能。

(2) 手动开环控制过程

此系统也可进行手动开环调节运行, 如液位传感器出现故障时, 人为将手动/自动开关置于手动位置, 系统处于手动调节状态, 手动控制指示灯亮, 可在控制面板进行频率（液位）手动设定, 就可实现变频起动水泵。如所需液位值低于实际液位值时, 可人为调整变频调速器的输出频率, 达到所需的液位值。

(3) 辅助功能

1) 就地起停功能及指示功能。当系统处于就地控制状态时, 就地控制指示灯亮, 可用

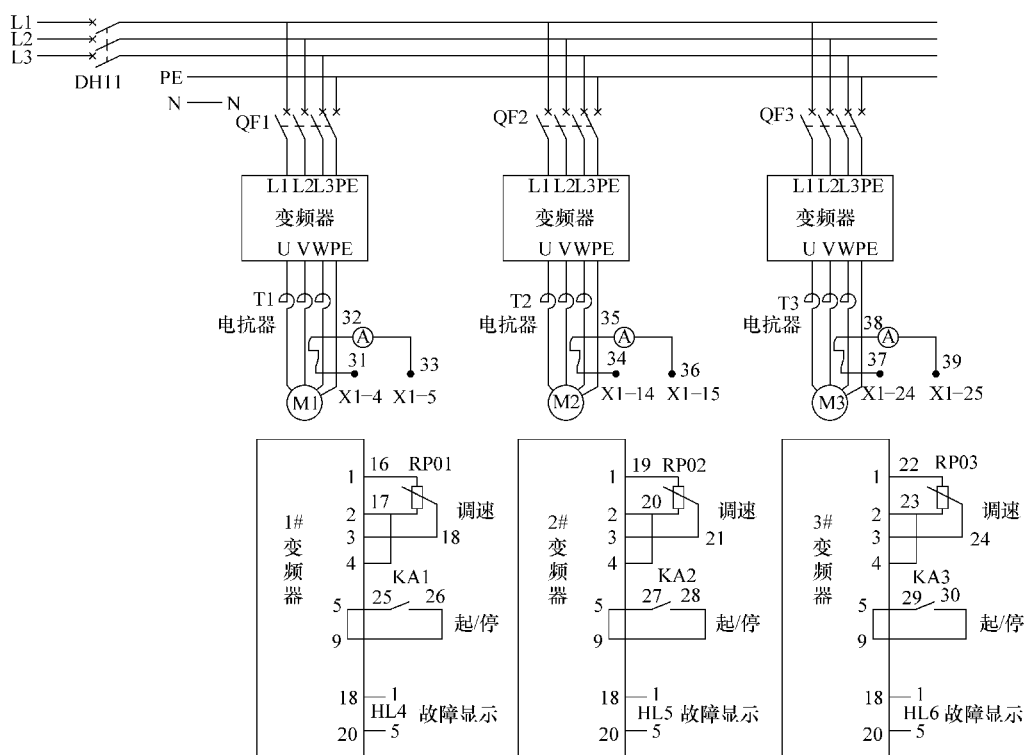


图 5-4 系统主回路原理图

控制面板控制系统起停及相关调节。

2) 远方起停功能及指示功能。当系统处于远方控制状态时，远方控制指示灯亮，可由远方信号控制系统起停及进行相关设定。

3) 报警显示。当变频调速器出现故障、可编程序控制器出现故障时，控制面板上会有相应的报警显示。

4) 报警解除功能。当系统出现报警时，可利用此功能来解除。

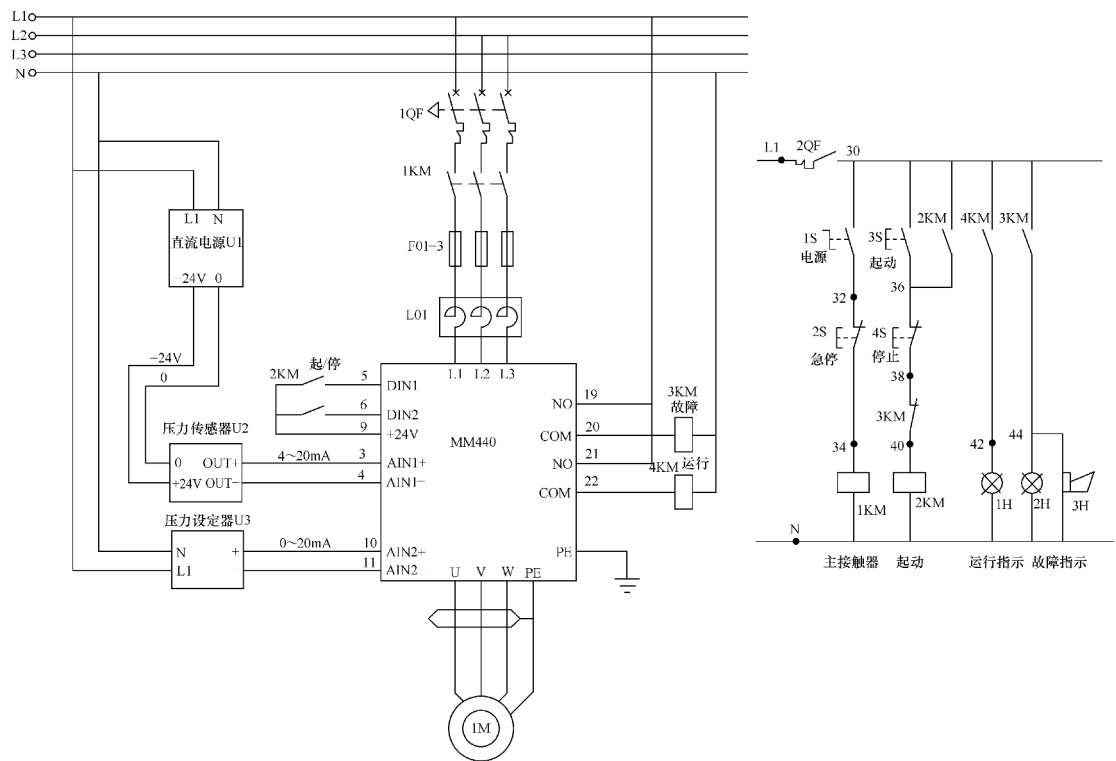
变频器主要参数设置见表 5-1。

表 5-1 变频器主要参数设置

参数	参数值	说 明	参数	参数值	说 明
自动方式设置			自手动方式设置		
P006	1	选择模拟设定值	P006	0	选择数字电动电位计
P007	0	从端子选择起/停	P007	0	从端子选择起/停
P012	15	最低频率为 15Hz	P055	11	用端子 16 增加频率
P201	1	PID 使能	P056	12	用端子 17 减少频率
P202	1	PID 比例增益 (参考值)			
P203	0.02	PID 积分增益 (参考值)			
P220	1	最低频率下关断			
P211	20	选择 4 ~ 20mA 模拟 PID 输入			
P212	100				

实例 3. MM440 变频器在给水泵上的应用

本系统采用的 MICROMASTER440 系列变频器具有两路模拟量输入和内置 PID 的调节功能，由变频器、水压、流量检测装置、PLC 构成自动恒压给水系统。在设计中应用模拟量信号输入 1 作为水的压力反馈信号（4 ~ 20mA），模拟量信号输入 2 作为主给定信号（0 ~ 20mA）。通过 I/O 端子起、停及观察变频器的工作状态，并启用变频器内部的 PID 控制功能。取消了外接 PID 控制仪表，提高了控制精度，减少了外部故障点，并充分发挥了 MM440 系列变频器的 PID 及模拟量输入功能，系统原理图如图 5-5 所示。



3. 变频器的主要参数设置

(1) 电动机及控制参数

电动机及控制参数设置见表 5-2。

表 5-2 电动机及控制参数设置

P304 = 380	P307 = 4.0	P311 = 2180	P1120 = 10	P1300 = 2
P305 = 7.80	P310 = 50	P1082 = 50	P1121 = 10	

(2) 模拟量 I/O 参数

模拟量 I/O 参数设置见表 5-3。

表 5-3 模拟量 I/O 参数设置

P753.0 = 5	P756.0 = 2	P757.0 = 4	P757.1 = 0	P1000 = 7
P753.1 = 5	P756.1 = 2	P761.0 = 4	P761.1 = 0	

(3) 数字量 I/O 参数

数字量 I/O 参数设置见表 5-4。

表 5-4 数字量 I/O 参数设置

P700 = 2	P701 = 1	P731 = 52. 3	P732 = 52. 2
----------	----------	--------------	--------------

(4) PID 参数

PID 参数设置见表 5-5。

表 5-5 PID 参数设置

P2200 = 1	P2253 = 755. 1	P2257 = 1. 00	P2258 = 1. 00
P2261 = 0. 2	P2264 = 755. 0	P2265 = 0. 3	P2270 = 0
P2271 = 0	P2274 = 0	P2280 = 3	P2285 = 0. 4

基于 MM440 内置的 PID 调节器可实现闭环控制，一旦 PID 调节器使能（P2200 = 1），PID 调节器将调节电动机的电源频率来使 PID 调节器设定值和反馈值的偏差减少，通过不断比较反馈和给定来确定电动机所需要的频率。通常频率给定（P1000 选择）和斜坡时间（P1120 ~ P1121）自动取消，但最小和最大输出频率（P1080 ~ P1082）设定保持有效。

PID 调节器使能用参数 P2200 控制，PID 调节器使能时应设为 1。也可以用一个开关量输入（或另外的 BiCo 功能）来使能 PID 调节器，例如：PID 调节器用 DIN2 来使能，设置 P0702 = 99；P2200 = 722. 1，这样变频器不运行时，允许用户在频率控制和 PID 调节器控制之间切换。PID 调节器需要一个反馈信号来监控系统的运行，在大多数的场合，这需要一个模拟量的检测元件。

传感器信号和 PID 调节器输出的关系必须事先定义。P2271 参数有两种设置：0、1。两者的不同在于：对于一个正偏差信号（反馈低于给定），PID 调节器是升高输出频率还是降低输出频率。

PID 调节器通过比较实际反馈信号和系统预期设定来控制变频器的频率，系统预期被定义为给定，用户可通过参数 P2253 来选择给定源。MM440 只有一个模拟量输入口，且在大多数情况下此口已作为反馈信号，所以通常给定只能使用内部设定。用“固定 PI 给定”或“键盘给定”（电动电位器），应该注意的是给定值是 % 值而不是 Hz，而变频器运行频率是由 PI 的给定和反馈的差决定（当 PID 调节器有效时）。

1) P2253 = 2224 固定给定。这种方法允许用户用 P2201 ~ P2207 定义 7 个给定，通常可以用开关量输入来切换，P2201 描述了切换的方法。

2) P2253 = 2250 键盘（电动电位器）给定。这种方式允许用户在 P2240 中设定一个固定值，并可通过 BOP 或其他方式来升高或减低给定（如：开关量输入 P0702 = 13 升高；P0702 = 14 降低）。

当 PID 调节器用参数 P2200 使能后，普通斜坡上升和下降时间（P1120 和 P1121）被旁路。PI 由自己的斜坡上升和下降时间（P2257 和 P2258）来决定 PI 给定的变化。上升时间 P2257：当 PI 给定改变或加上一个运行命令时将有效。下降时间 P2258：只当 PI 给定改变时有效。当 OFF1 和 OFF3 有效时，斜坡下降时间将由 P1121 和 P1135 来响应。

可以通过调整比例增益 P 参数 P2280 和积分时间 I 参数 P2285，使 PID 调节器适合过程控制的要求。过程控制的需求决定了响应的最佳特性，快速恢复的响应伴随着大超调。调节

P 参数和 I 参数可以得到不同的响应。

当优化调试一个过程控制时,应用示波器来监视反馈信号,观察系统的响应曲线。模拟量输出可用作 $P0771 = 2266$ (滤波后的反馈信号)。大多数情况下在没有 PI 斜坡时间 ($P2257 = P2258 = 0.0S$) 的情况下,用一个小的 PI 给定阶跃 (1% ~ 10%) 来试验系统的响应。一旦理想的响应确定下来,再设定合适的斜坡时间。

应在小比例 (例如 $P2280 = 0.20$) 下调整 I 参数,直到系统稳定。通常,通过 PI 参数调整可以实现稳定的控制。如果系统容易受到冲击扰动,不要将 P 参数设置大于 0.50。

(5) PID 调试方法

在完成“快速调试”和电动机参数自动识别后,可由操作器或端子控制变频器运转。在设定 PID 有效 (即 $P2200 = 1$) 之前,必须先带负载进行开环小给定运行。这时应注意电动机和负载是否正常,标定反馈模拟量输入通道 (系数和极性)。

然后,设定 PID 有效 (即 $P2200 = 1$),将 I 积分参数 ($P2285$) 设置为 0。在观察压力表或输出频率表的同时,缓慢地从小到大调整 P 比例参数 ($P2280$) 值。在调整过程中,参数值每加大一次,都要观察变频器是否已达到稳态;变频器稳定运行时,压力是否稳定 (是否振荡、波动)。当变频器稳定运行、压力开始波动时,记下此时的 P 参数值 A 。将 A 值除以 3,结果写入 $P2280$ 参数中。同理,在观察压力表或输出频率表的同时,缓慢地从小到大调整 I 参数 ($P2285$) 值。当变频器稳定运行、压力开始波动时,记下此时的 I 参数值 B 。将 B 值除以 2,结果写入 $P2285$ 参数中。

在调整 PID 调节器 PI 参数时,不要进行电动机切换操作。推荐先将压力给定 (PID 的给定值) 设定在一个预定值,保证变频器运行于 40Hz 左右,这时进行上述调整。等 PI 参数完成调整后,再将压力给定设置到正常需要值,完成电动机分级切换程序调整。

(6) 控制方式选择

变频器控制方式的选择由负载的力矩特性决定,电动机的机械负载转矩特性根据下列关系式决定:

$$P = Mn/9550 \quad (5-1)$$

式中, P 为电动机功率 (kW); M 为转矩 ($N \cdot m$); n 为转速 (r/min)。

转矩 M 与转速 n 的关系根据负载种类大体可分为 3 种:

- 1) 即使速度变化,转矩也不大变化的恒转矩负载。此类负载如传送带、起重机、挤压机、空压机等。
- 2) 随着转速的降低,转矩按转速的二次方减小的负载。此类负载如风机、各种液体泵等。
- 3) 转速越高,转矩越小的恒功率负载。此类负载如轧机、机床主轴、卷取机等。

变频器提供的控制方式有 U/f 控制、矢量控制、力矩控制。 U/f 控制中有线性 U/f 控制、抛物线特性 U/f 控制。将变频器参数 $P1300$ 设为 0,变频器工作于线性 U/f 控制方式,将使调速时的磁通与励磁电流基本不变。适用于工作转速不在低频段的一般恒转矩调速对象。

将 $P1300$ 设为 2,变频器工作于抛物线特性 U/f 控制方式,这种方式适用于风机、水泵类负载。这类负载的轴功率近似地与转速的三次方成正比。其转矩近似地与转速的二次方成正比。对于这种负载,如果变频器的 U/f 特性是线性关系,则低速时电动机的可用转矩远大

于负载转矩,从而造成功率因数和效率的严重下降。为了适应这种负载的需要,使电压随着输出频率的减小以二次方关系减小,从而减小电动机的磁通和励磁电流,使功率因数保持在适当的范围内。

可以进一步通过设置参数使 U/f 控制曲线适合负载特性,将 P1312 在 0 ~ 250 之间设置合适的值,具有起动提升功能。将低频时的输出电压相对于线性的 U/f 曲线做适当的提高,以补偿在低频时定子电阻引起的压降导致电动机转矩的减小,以适用于大起动转矩的调速对象。

采用变频器 U/f 控制方式驱动电动机时,在某些频率段,电动机的电流、转速会发生振荡,严重时系统无法运行,甚至在加速过程中出现过电流保护,使得电动机不能正常起动,在电动机轻载或转矩惯量较小时更为严重。可以根据系统出现振荡的频率点,在 U/f 曲线上设置跳转点及跳转频带宽度,当电动机加速时可以自动跳过这些频率段,保证系统能够正常运行。从 P1091 ~ P1094 可以设定 4 个不同的跳转点,设置 P1101 确定跳转频带宽度。

有些负载在特定的频率下需要电动机提供特定的转矩,用可编程的 U/f 控制对应设置变频器参数即可得到所需的控制曲线。设置 P1320、P1322、P1324 确定可编程的 U/f 特性频率坐标,对应的 P1321、P1323、P1325 为可编程的 U/f 特性电压坐标。

参数 P1300 设置为 20,变频器工作于矢量控制,这种控制相对完善,调速范围宽,低速范围起动力矩高,精度高达 0.01%,响应很快,高精度变频调速系统都采用 SVPWM 矢量控制方式。

参数 P1300 设置为 22,变频器工作于矢量转矩控制,这种控制方式是目前国际上最先进的控制方式。其他方式是模拟直流电动机的参数,进行保角变换从而进行调节控制的,矢量转矩控制是直接取交流电动机参数进行控制,控制简单,精确度高。

(7) 快速调试

在使用变频器驱动电动机前,必须进行快速调试。将参数 P0010 设为 1、P3900 设为 1,变频器即进行快速调试,快速调试完成后,进行必要的电动机数据的计算,并将其他所有的参数恢复到它们的默认设置值。在矢量或转矩控制方式下,为了正确地实现控制,非常重要的一点是必须正确地向变频器输入电动机的数据,而且电动机数据的自动检测参数 P1910 必须在电动机处于常温时进行。当使能这一功能 ($P1910 = 1$) 时,会产生一个报警信号 A0541,给予警告,接着发出 ON 命令时,立即开始电动机参数的自动检测。

(8) 加、减速时间的调整

加速时间就是输出频率从 0 上升到最大频率所需时间,减速时间是指从最大频率下降到 0 所需时间。加速时间和减速时间选择得合理与否对电动机的起动、停止运行及调速系统的响应速度都有重大的影响。加速时间设置的约束是将电流限制在过电流范围内,不应使过电流保护装置动作。电动机在减速运转期间,变频器将处于再生发电制动状态。传动系统中所储存的机械能转换为电能并通过逆变器将电能回馈到直流侧。回馈的电能将导致中间回路的储能电容器两端的电压上升。因此,减速时间设置的约束是防止直流回路电压过高。加、减速时间的计算公式为

加速时间:

$$t_a = (j_m + j_l) n / 9.56 (M_{ma} - M_l) \quad (5-2)$$

减速时间:

$$t_b = (j_m + j_l) n / 9.56 (M_{mb} - M_l) \quad (5-3)$$

式中, j_m 为电动机的惯量; j_l 为负载惯量; n 为额定转速; M_{ma} 为电动机驱动转矩; M_{mb} 为电动机制动转矩; M_l 为负载转矩。

加、减速时间可根据公式算出来,也可用简易试验方法进行设置。首先,使拖动系统以额定转速运行(工频运行),然后切断电源,使拖动系统处于自由制动状态,用秒表计算其转速从额定转速下降到停止所需要的时间。加、减速时间可首先按自由制动时间的 $1/3 \sim 1/2$ 进行预置。通过起、停电动机观察有无过电流、过电压报警,调整加、减速时间设定值,以运转中不发生报警为原则,重复操作几次,便可确定出最佳加、减速时间。

(9) 转动惯量的设置

电动机与负载的转动惯量的设置往往被忽视,认为加、减速时间的正确设置可保证系统正常工作。其实,转动惯量设置不当会使系统振荡,调速精度也会受到影响。转动惯量的计算公式为

$$j = M / d\omega / dt \quad (5-4)$$

电动机与负载的转动惯量的获得方法一样,让变频器的工作频率在合适的值。分别让电动机空载和带载运行,读出参数 P0333 额定转矩和 P0345 电动机的起动时间,再将变频器的工作频率换算成对应的角速度,代入公式,计算得出电动机与负载的转动惯量。设置参数 P0341 (电动机的惯量) 与参数 P0342 (驱动装置总惯量/电动机惯量的比值),这样变频器就能更好的运行。

实例 4. MASTERDRIVE6SE 变频器在起重机上的应用

1. 系统配置

起重机的电动机驱动主要有起升机构、大车、小车行走机构,电动机主要采用线绕式异步电动机及笼型异步电动机。尤其是行走机构一般均采用笼型异步电动机,起动时冲击电流大,对设备冲击大,噪声大,影响设备的使用寿命及定位精度。

起重机的动力传动具有大惯性、四象限运行的特点,与其他传动机械相比对变频器有着更为苛刻的安全和性能上的要求。近年来随着变频器技术的发展,其可靠性大大提高,生产成本降低,以及优越的起制动控制特性,特别是直接转矩控制技术日益成熟(它可以最大限度地消除谐波干扰隐患),变频器才得以在起重、运输机械上使用。这类变频器大都具备以下主要功能。

(1) 转矩到位信号或转矩记忆功能

为了保证提升机构安全运行,起动时,必须保证变频器在输出转矩达到负载转矩或大于负载转矩时,才能打开抱闸;制动时,速度已很低,变频器能输出负载转矩,所以变频器必须具有转矩到位信号或转矩记忆功能,这样才能有效地避免提升机构失控、溜钩。

(2) 软化电动机特性曲线的功能

多台电动机同时驱动同一刚性机构时,往往由于电动机特性差异造成负载失衡,导致提升机单机过载或行走机构走偏,采用绕线转子电动机驱动时靠转子串电阻来解决。在变频驱动系统中,利用电动机特性曲线软化功能实现这一功能,可以消除不必要的能量损耗。

(3) 具有 S 加、减速特性

由于机械间隙的存在,将引起传动机构起动时的机械冲击和振动, S 特性能使电动机平滑起动,可以大大减少常规起重机起动时的机械冲击,增加了起重机的安全性和使用寿命。

在起重机中的起升机构采用变频器驱动后,就可以用笼型异步电动机取代绕线式异步电动机。笼型异步电动机结构简单,防护等级高,维护工作量小,可靠性高,适合在较恶劣的环境下工作。起重机中的异步电动机由变频器驱动时,频率和电压都是按一定比例以一定速度逐步升高或降低,因此使得电动机的起动冲击电流小,转速变化非常平稳,操作人员操作起来非常舒适。起升、行走定位也较准确,提高了生产效率。

根据起重机电机驱动的特性和技术要求,采用带测速反馈接口的 MASTER-DRIVE6SE70 系列变频器驱动起升机构的电动机, MIDIMASTERVector6SE32 系列变频器驱动大、小车行走机构的电动机。6SE32 系列变频器是一种通用型高性能矢量控制型变频器,功能强、价格低,完全满足行走机构的需求。

起重机大车运行方向有前后、小车运行方向有左右的要求,根据运行速度要求又分为 1~4 档,加、减速时间为 3~6s。通常小车行走机构采用一台电动机。而大车行走机构需采用 2~4 台电动机。大、小车本身的惯性也较大,为防止电动机被倒拖处于发电状态时产生过电压,因此大、小车变频器都配备了制动单元及制动电阻来释放能量。起重机整个电气系统由 S7-200 系列 PLC 进行控制,变频器通过开关量端子接收 PLC 控制信号。为了减少对电网的谐波污染,每个变频器的输入端设计有电抗器,它不仅减少了谐波分量,同时也抑制了输入电流峰值,有利于提高整流二极管的使用寿命,电源输入端采用断路器作为变频器的短路保护。

起重机的起升、行走机构的驱动电动机采用变频器驱动后,可使整机的性能有较大提高,如起升及行走平滑、稳定,被吊物件定位准确,根据需要上下、前后、左右操作都可以无级变速,适应各种使用场合。加上变频器自身的保护功能齐全,如过电流、过载、过电压等都能及时报警及停止,减少了起重机故障,提高了安全性能。同时,变频器具有限流作用,可以减少起动时对电网的冲击,有利于系统内其他设备正常运行。起重机大车驱动系统电气原理图如图 5-6 所示。

2. 制动单元和制动电阻

制动单元的安装在接线必须注意安装环境的温度、湿度、腐蚀情况、通风状况等必须符合说明书要求,制动单元与变频器连接时,尽量选用不同颜色的导线,防止 P、N 接反,否则将烧毁制动单元并损坏变频器。P、N 配线需选用 600V 耐压等级的导线,配线长度应尽量短,如长度超过 5m 需采用双绞线。

(1) 制动单元

制动单元在系统中的连接图如图 5-7 所示。制动单元功率开关的动作过程如下:

当电动机在减速时电动机以发电状态运行,产生再生能量。其产生的三相交流电被逆变部分的 6 个续流二极管组成的全桥整流,使变频器内直流中间环节的直流电压升高。当直流电压达到使制动单元工作的设定值时,制动单元的功率开关管导通,电流流过制动电阻。制动电阻放出热量,吸收了再生能量,电动机的转速降低,直流侧的电压降低。当直流侧的电压降低到使制动单元停止工作的设定值时,制动单元的功率开关管关断,这时没有电流流过制动电阻。电动机继续减速运行,直流电压再次升高。

当直流侧的电压高到使制动单元重新工作时,制动单元重复以上过程,平衡直流电压,

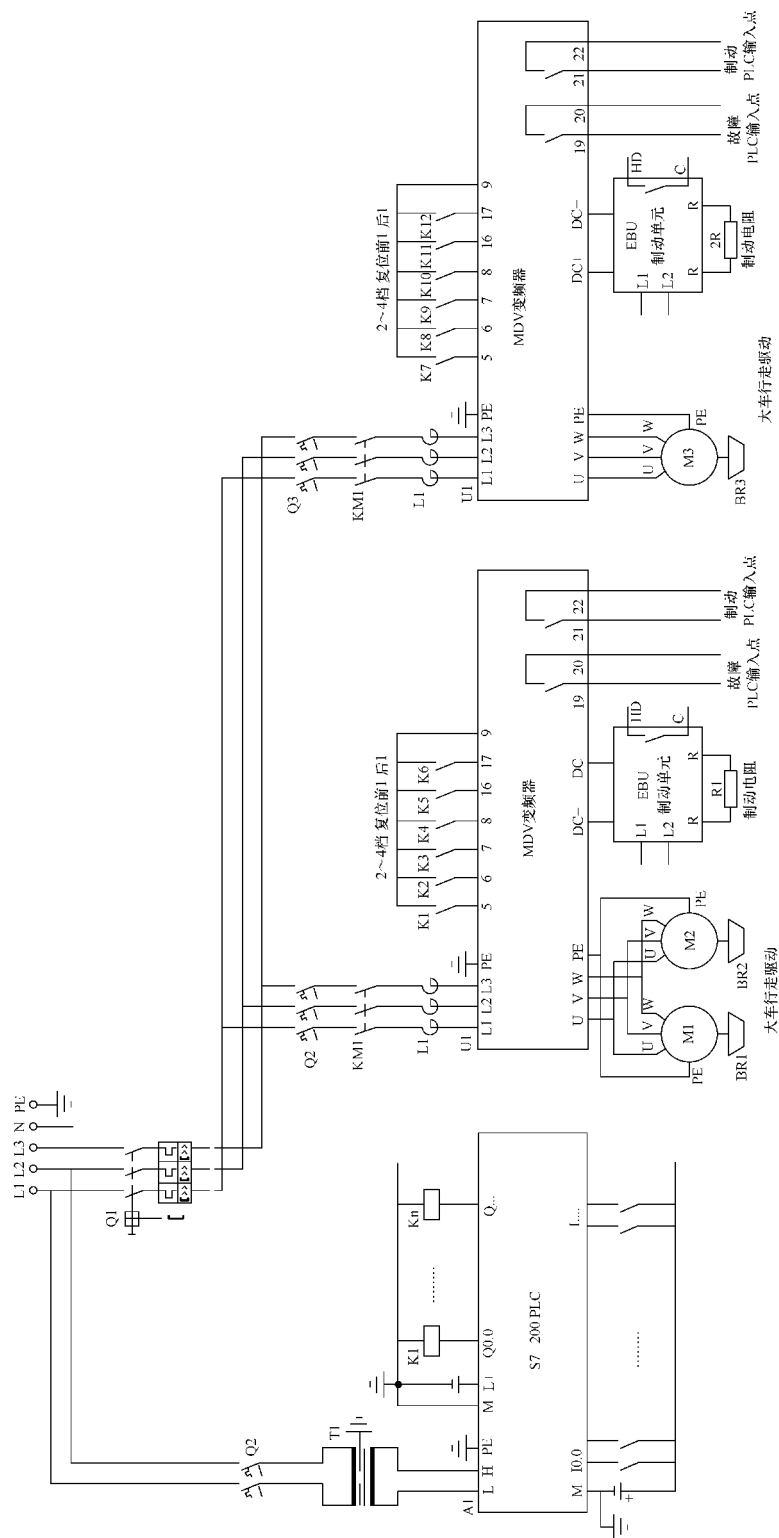


图 526 起重机大车驱动系统电气原理图

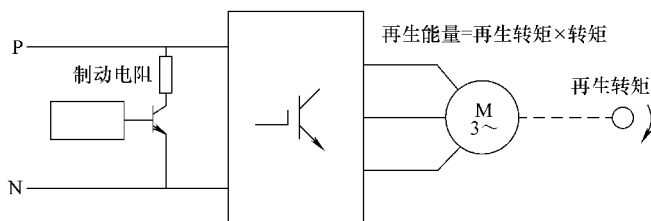


图 5-7 制动单元在系统中的连接图

使系统正常运行。当再生能量较大时，再生制动单元开关的频率增高，使制动转矩增大，单位时间里电能转换为热能的量增大。

(2) 制动电阻的选择

在制动单元的工作中，直流母线的电压升降取决于 RC 常数， R 为制动电阻的阻值， C 为变频器电解电容的容量。由 RC 充、放电曲线可得出， RC 越小，母线电压的放电速度越快。在变频器中 C 保持一定的情况下， R 越小，母线电压的放电速度越快。通常制动电阻的阻值可按下式计算：

$$R = U_c^2 / [0.1047 \times (T_b - 0.2T_m) N] \quad (5-5)$$

式中， U_c 为制动单元动作电压值； T_b 为制动转矩； T_m 为电动机额定转矩。

在选择制动电阻时应考虑电阻连接导线分布、电阻特性及电阻的温度特性等因素。选择时电阻应留有余量，一般情况下选 1.2 倍较合适。

3. 变频器的参数

(1) 过电压失速防止功能

变频器在减速运行过程中，由于负载惯性的影响，可能会出现电动机转速的实际下降率低于输出频率的下降率，此时电动机会回馈电能给变频器，造成变频器直流母线电压升高，达到制动单元动作值。由于制动单元存在一定的使用率，如果高惯量的影响持续，就会出现直流母线电压持续升高。使用过电压失速保护功能，就能在减速运行中自动比较过电压失速点与实际的直流母线电压，若直流母线电压超过了过电压失速电压，就让变频器减速暂停，直到再次检测到后者低于过电压失速电压时，才让变频器实施减速运行。

(2) 加、减速时间

由于负载惯性的影响，必须将电动机转速的加、减速时间设定为合理的数值。如果时间过短，就会出现变频器过电流、过电压等故障；如果时间过长，设备的运行功率就会大大降低。加速时间应在调试过程中根据负载特性反复调整。

4. 变频器主要参数的设置

首先将所用电动机的铭牌数据输入 P80、P85，大车变频器应输入几台电动机的总电流及总功率，并且大车变频器带有几个电动机时应运行于线性频率/电压特性，1~4 档速度变化采用固定频率设定 1 档 = 5Hz，2 档 = 10Hz，3 档 = 25Hz，4 档 = 50Hz。根据档位的不同输出频率是各个固定频率的叠加。同时利用变频器的制动器接通、断开功能由 RL2 输出继电器触点控制机械制动器，使行走机构在电动机停止时不会由于外力而随意移动。变频器主要参数设置见表 5-6。

表 5-6 变频器主要参数设置

参数号	参数值	说 明	参数号	参数值	说 明
P002	6	加速时间 (s)	P055	1	运行右转
P003	6	减速时间 (s)	P0356	2	运行左转
P005	5	1 档速度	P046	5	固定频率 5
P006	3	附加数字给定	P044	15	固定频率 4
P007	0	开关量输入控制	P043	25	固定频率 3
P051	6	固定频率 5 开/关	P061	6	故障
P052	6	固定频率 4 开/关	P062	4	外部制动控制
P053	6	固定频率 3 开/关	P077		U/f 特性 (大车多电动机)
P054	10	故障复位	P077		FCC 特性 (小车单电动机)

5. 变频器对起重机上其他电气设备的影响

变频器的整流电路和逆变电路采用的是半导体开关器件，其输入/输出的电压和电流中除了基波成分外还含有一定的谐波，这些谐波将给起重机上的其他电气设备带来不同程度的影响，严重时会使这些电气设备不能正常工作，甚至误动作，这样会降低起重机整机的可靠性，危及设备和人身安全。

谐波的影响

变频器产生的谐波对起重机上的其他电气设备产生的影响有：

1) 引起电网电源波形畸变。由于变频器整流电路的直流电压是在被平波电容滤波之后输出给后续电路，所以电源供给变频器的电流实际上是平波电容的充电电流。由于存在内部阻抗，当为变频器供电的电源容量越大，变频器输入电流的波形就越陡峭，而输入电压的波形畸变则越小；当为变频器供电的电源容量越小，则电流波形越平缓，而电压的波形畸变则越大。由于电源电流和电压的波形畸变，将使起重机主电动机、抱闸推杆电动机、接触器、继电器、直流电源等设备产生过热、噪声和振动，影响它们的使用寿命和工作的可靠性。

2) 产生电磁干扰。变频器采用 PWM 控制方式，逆变后的输出的电流波形近似正弦波，可使电动机平滑运行，并减少由于电动机转速变化和电流波动而引起的能量损失。在 PWM 控制方式的逆变电路中，半导体开关器件是以相当高的频率导通和截止交替工作的，在变频器的输出电压和输出电流中含有谐波，这些谐波的最高频率可达 20MHz，并通过静电感应和电磁感应产生电磁干扰。电磁干扰可分为传导干扰和辐射干扰，传导干扰通过电源导线传播，辐射干扰辐射到空中以电磁波和磁场的形式直接传播。

传导干扰中高的 du/dt 会使主电动机绝缘恶化，会引起机械设备发生共振，会加大电动机轴与轴承间的轴电压，通过油膜放电使轴和轴承提前损坏。传导干扰影响控制系统正常工作，可使系统的误差增大，甚至导致系统误动作。

变频器的高频电磁波辐射干扰大部分集中在 150kHz ~ 1.5MHz 频段，会对起重机通信用的无线对讲机、某些起重机的无线遥控器、起重机无线吊钩秤、司机室收音和扩音及电话等设备产生干扰，影响其使用质量和效果。

3) 引起电动机噪声、振动、过热、转矩降低。变频器输出电压波形不是正弦波，流过电动机的电流含有许多谐波。电动机在变频调速运行时，电动机绕组和铁心会因这些谐波而产生振动和电磁噪声，与采用工频电源直接驱动相比，变频器驱动的电动机噪声要大 5 ~ 11dB。

传动系统的振动也将变大,尤其是5次、7次谐波成分所产生的脉动转矩将给变频器的转矩输出带来较大波动,传动系统可能因变频器输出转矩的波动与机械系统发生共振而产生更大振动。

由于谐波成分的影响,即使带同一负载和在同一频率,变频调速电动机电流也将增加5%~10%,电动机温升也高于工频电源驱动工况。另外,由于普通电动机是通过安装在电动机轴上的冷却风扇进行冷却的,在连续低速运行时,将会因其自身的冷却能力不足而产生电动机过热现象。

6. 系统设计时应采取的措施

起重机的电控系统设计应围绕提高系统可靠性这一原则开展,在提高变频调速控制系统的大速比、起/制动平滑、柔和、优良的动/静态调速特性时,必须考虑整个系统的性能。在进行系统设计时应采取必要的抗干扰措施:

(1) 抑制电网电源波形畸变

抑制电网电源波形畸变的措施有:

1) 在各电动机交流进线主回路串入电抗器,通过增设电抗器,可以减少脉冲波形的峰值,达到改善电流波形的目的。电抗器的选择以电压降在负载额定电压的2%~5%为宜,例如电压降为5%的电抗器,可降低约30%的谐波含有率。

2) 在一次和二次回路中接入LC或RC滤波器,通过削波和由电感、电容组成的谐波谐振电路,达到吸收谐波的目的。

3) 尽量采用有功率因数校正的整流电路,这种控制方式的电路与PWM控制方式的逆变电路结构相同,并能控制变频器的输入电流波形近似为正弦波,其产生的谐波成分非常小。

(2) 抑制电磁干扰

抑制电磁干扰的措施有:

1) 对于通过电源线传播的传导干扰,可采用隔离滤波变压器对高频成分进行隔离;在直流回路串接直流电抗器,以提高对谐波成分的阻抗;在变频器输入端串入线路滤波器。

2) 辐射干扰主要决定于变频器本身的防护结构和电动机电缆的布线等多种因素,抑制辐射干扰比抑制传导干扰要困难。实施时应尽量缩短布线距离,并将导线对绞以减少阻抗;选用铁壳金属封闭结构的变频器,并将壳体可靠接地,将输入/输出电缆穿保护管敷设并将保护管接地;在变频器输出端设输出电抗器和输出滤波器。

(3) 降低系统噪声

降低系统噪声的措施有:

1) 采用低磁密有铁心防窜措施的铸铁外壳的高刚性变频电动机。

2) 选择低噪声冷却风扇和电抗器。

3) 在变频器和电动机间接入可将输出波形转换为正弦波的正弦滤波器。

(4) 抑制系统振动

抑制系统振动的措施有:

1) 起动时降低 U/f 比值。

2) 将刚性联轴器改为弹性联轴器。

3) 在变频器和电动机间接入电抗器。

4) 改变PWM的载波频率。

(5) 防止电动机过热

防止电动机过热的措施有：

- 1) 将电动机由自冷方式改为他冷方式。
- 2) 选用容量大一档的电动机。
- 3) 提高电动机的绝缘等级，以达到提高温升上限值的要求。
- 4) 改用变频专用电动机。
- 5) 对电动机运行范围进行控制，避免电动机连续低速运行。

实例 5. ER440 变频器在联动生产线上的应用

联动生产线采用的 MICROMASTER440 系列变频器具有 Profibus 网络和 BICO 控制功能，通过工业控制计算机和 PLC 利用 Profibus 网络控制及变频器外部端子两种控制方法，对变频器进行自动及手动控制，正常时采用第 1 命令数据组（CDS）由 Profibus 网络自动控制，网络有故障时采用第 2 命令数据组，即变频器外部端子控制。在实际应用中所有变频器都安装了 Profibus 模板和 BOP。在硬件设置上，开关量输入 1 作为第 1 命令数据组（CDS）的使能。开关量输入 2 作为第 2 命令数据组的变频器启动、停止信号。开关量输入 3 作为第 2 命令数据组的变频器电动电位器的升速信号。开关量输入 4 作为第 2 命令数据组的变频器电动电位器的减速信号。变频器运行的各种状态及现行值均通过网络传送到 PLC，再经过工业控制计算机（软件 WCC）显示及控制。系统电气原理图如图 5-8 所示。

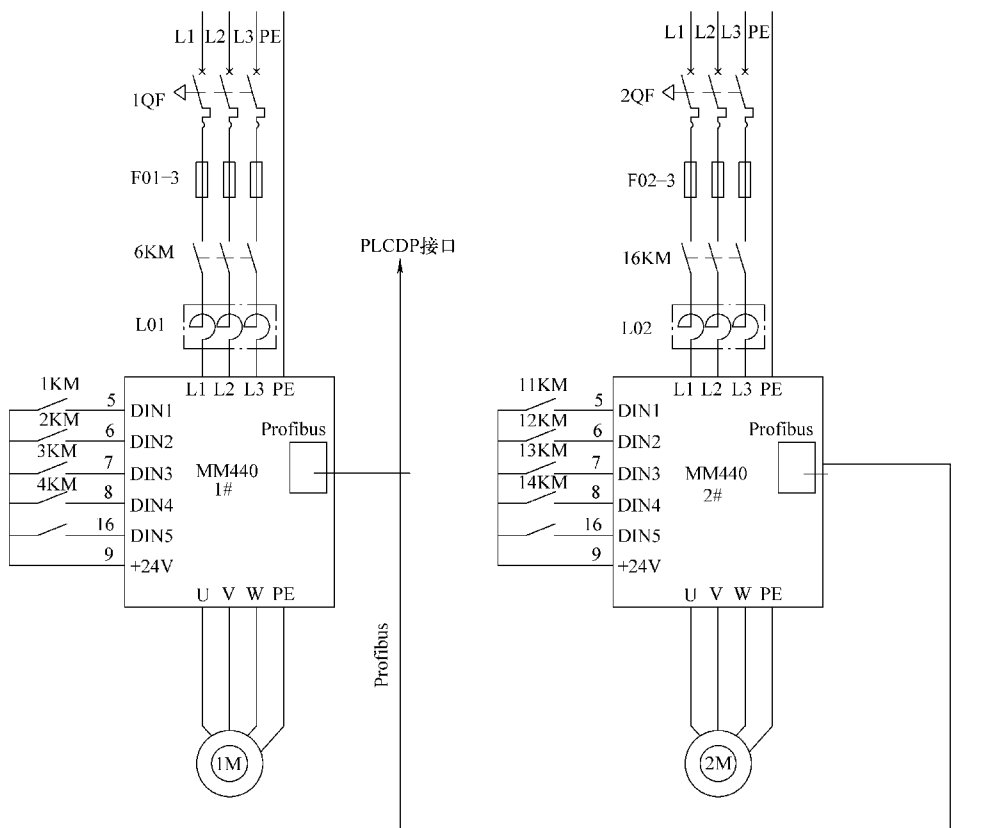


图 5-8 系统电气原理图

1. 变频器的主要参数设置

(1) 电动机参数设置（以一台 4kW 电动机为例）

电动机参数的第 1 和第 2 驱动数据组 DDS 设置参数均相同。电动机参数设置见表 5-7。

表 5-7 电动机参数设置

P100 = 0	P304 = 380	P305 = 7.80	P307 = 4.00
P308 = 0.82	P310 = 50	P311 = 1400	P1082 = 50
P1121 = 5	P1300 = 20	P300 = 2	P1120 = 5

(2) 数字量 I/O 及 BICO 参数设置

数字量 I/O 及 BICO 参数设置见表 5-8。

表 5-8 数字量 I/O 及 BICO 参数设置

P700.0 = 6	P700.1 = 2	P701.0 = 99	P810 = 722.0
P702.0 = 0	P702.1 = 1	P703.0 = 0	P703.1 = 13
P704.0 = 0	P704.1 = 14	P1000.0 = 6	P1000.0 = 1

(3) Profibus 网络参数设置

Profibus 网络参数设置见表 5-9。

表 5-9 Profibus 网络参数设置

P918 = 10	根据 Profibus 地址	R2090	B0: 从 CB 收到的控制字 1
-----------	----------------	-------	-------------------

2. 调试方法

第一步：变频调速系统采用矢量控制，必须正确输入电动机参数，以完成电动机参数识别。调试步骤如下：

P0003 = 2（允许访问 2 级参数）

P0010 = 1（快速调试）

P300s：按照电动机名牌输入电动机参数。

P0700, P1000, P1080/2, P1120/1……选择控制模式，选择给定源，最小/最大频率，斜坡时间等。

P1300 = 20（无速度传感器矢量控制）

P1910 = 1（这时将产生 A0541 报警）

P3900 = 1

当计算电动机参数时，BOP 将出现“— — — —”近 1min，之后 A0541 将在 BOP 上闪烁，表示快速调试完成。按运行键，电动机开始自动识别测试程序。A0541 将继续闪烁。电动机通过短时电流，进行一系列计算，并可听到“嗡嗡”声。当计算电动机内部参数时，BOP 上仍显示“— — — —”，这时电动机必须为冷态，并要保证输入电动机周围环境温度到 P0625 参数中。特别是在周围温度和工厂设定值 20℃ 不一样时，这一步必须在完成快速调试（P3900）之后，但要在进行电动机参数识别之前完成。

设置 P1910 = 3（饱和曲线识别）能提高性能。做这一步，不必进入快速调试。一旦 P1910 设置成 3，A0541 出现后，给出一个 RUN 命令，这时变频器已经可以在 SVC 下运行了。

第二步：速度调节器特性优化。

电动机识别和初始参数设置完成后,在无速度传感器矢量控制方式下,电动机可运行到50Hz。为了得到理想的矢量控制性能,应按照电动机/负载系统来优化矢量控制的调节器参数。设置以下参数可提高系统性能:

P0003 = 3

P0342: 负载总转动惯量/电动机转动惯量之比。P0342 如果已知或能被估算,应适当设置。

P1470: 无速度传感器矢量控制比例参数 P。

P1472: 无速度传感器矢量控制积分时间 I。

P1470 和 P1472 参数设置可适应广泛的应用,最优的设置依赖于整个机械系统。通过观测系统的响应,增大 P 参数和减小 I 参数可得到好的特性。最好通过示波器观察未滤波的输出频率波形 (P0771 = 66) 来调试 PI 参数。

P1610: SVC 连续转矩提升,默认设置为 50%,可以增加低速时的力矩。

P1750: 使能观测器模式,设置 P1750.0 = 0,允许当频率给定从 0 到大于 5Hz 时投入观测器模式;设置 P1750.1 = 0,允许频率给定大于 0Hz 时就投入观测器模式。一般应用场合,无传感器矢量控制在大于 5Hz 时投入或转换观测器模式。

P1755: 无速度传感器矢量控制的起始频率,当需要进一步优化矢量控制时,也可以减小该参数到工厂设定值 5Hz (10% 的电动机额定频率) 以下。

做这一步优化调试时,为了得到最佳的系统响应,使用示波器观察速度调节器的输出,通过其输入叠加信号的阶跃响应来确定有关参数。

例如:

P0771.0 = 1482 (将速度调节器输出连接到模拟量输入 1,供示波器观察)

P1140.0 = 0 (将斜坡积分器设置为无效)

P1071.0 = 755.0 (将模拟量输入 1 设为主给定)

P1075.0 = 755.1 (将模拟量输入 2 设为附加主给定,亦即叠加信号)

在模拟量输入 2 回路中串入一开关控制模拟量输入 2 (叠加信号),这时,起动变频器将模拟量输入 1 逐渐由零升速到某一定值 (以避免对负载的冲击),然后,将模拟量输入 2 逐渐由零加到模拟量输入 1 值的 5% ~ 10%。通过开关的开闭 (即叠加信号的投入与撤销),观察示波器上速度调节器的输出信号波形,确定速度调节器 PI 等参数,得到最佳的系统响应。等确定理想响应波形后,依照原系统要求,恢复 I/O 端子功能设定和给定值通道。

做该调试时,需要对控制系统和负载比较了解,具有正确的调试技巧,以免造成不必要的意外。对于特殊的负载 (如高动态,对速度级联有要求),可能还需要在带载运行时微调速度调节器 PI 参数,以得到高的系统性能。

3. PLC 与变频器连接时应注意的问题

PLC 作为传统继电器的替代产品,广泛应用于工业控制的各个领域。由于 PLC 可以用软件来改变控制过程,并具有体积小、组装灵活、编程简单、抗干扰能力强及可靠性高等特点,特别适用于在恶劣环境下运行。

(1) 开关指令信号的输入

变频器的输入信号中包括对运行/停止、正转/反转、微动等运行状态进行操作的开关型指令信号。变频器通常利用继电器接点或具有继电器接点开关特性的元器件 (如晶体管) 与 PLC 相连,得到运行状态指令。运行信号的连接方式如图 5-9 所示。

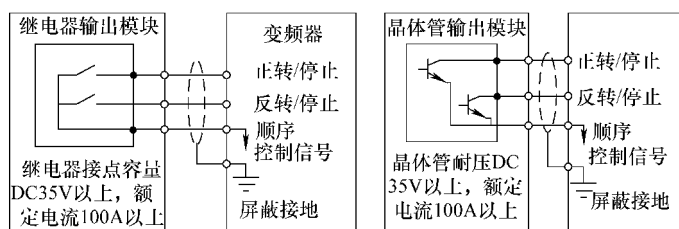


图 5-9 运行信号的连接方式

在使用继电器接点时，常因接触不良而带来误动作。使用晶体管进行连接时，则需考虑晶体管本身的电压、电流容量等因素，以保证系统的可靠性。

在设计变频器的输入信号电路时还应该注意：当输入信号电路连接不当将造成变频器的误动作。例如，当输入信号电路采用继电器等感性负载时，继电器开闭产生的浪涌电流带来的噪声有可能引起变频器的误动作，应尽量避免。图 5-10 与图 5-11 给出了正确与错误的接线例子。

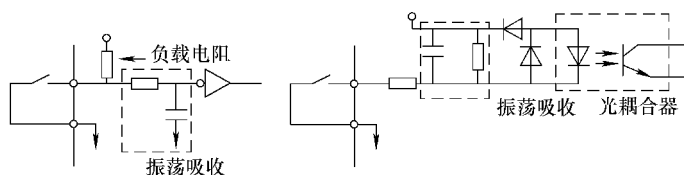


图 5-10 变频器输入信号接入方式

当采用输入开关信号控制变频器时，有时会发生外部电源和变频器控制电源（DC24V）之间的串扰。正确的连接是利用 PLC 电源。

(2) 数值信号的输入

变频器中也存在一些数值型（如频率、电压等）指令信号的输入，可分为数字输入和模拟输入两种。数字输入多采用变频器面板上的键盘操作和串行接口来给定；模拟输入则通过接线端子由外部给定，通常有 0 ~ 10V/5V 的电压信号或 0/4 ~ 20mA 的电流信号。由于接口电路因输入信号而异，因此必须根据变频器的输入阻抗选择 PLC 的输出模块。图 5-12 所示为将外晶体管的集电极经过二极管接到 PLC 的接线图。

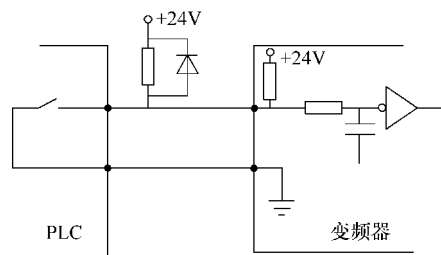


图 5-11 输入信号的错误接法

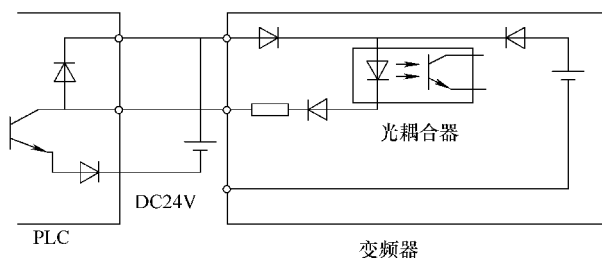


图 5-12 将外晶体管的集电极经过二极管接到 PLC 的接线图

当变频器和 PLC 的电压信号范围不同时,如变频器的输入信号为 $0 \sim 10\text{V}$,而 PLC 的输出电压信号范围为 $0 \sim 5\text{V}$ 时;或 PLC 一侧的输出信号电压范围为 $0 \sim 10\text{V}$,而变频器的输入电压信号范围为 $0 \sim 5\text{V}$ 时,由于变频器和晶体管的允许电压、电流等因素的限制,需用串联的方式接入限流电阻及分压方式,以保证进行开闭时不超过 PLC 和变频器相应的容量。此外,在连线时还应注意将布线分开,保证主电路一侧的噪声不传到控制电路。

通常变频器也通过接线端子向外部输出相应的监测模拟信号,电信号的范围通常有 $0 \sim 10\text{V}/5\text{V}$ (电压信号) 及 $0/4 \sim 20\text{mA}$ 电流信号。无论哪种情况,PLC 一侧的输入阻抗的大小要保证电路中电压和电流不超过电路的允许值,以保证系统的可靠性和减少误差。

因为变频器在运行中会产生较强的电磁干扰,为保证 PLC 不因变频器主电路断路器及开关器件等产生的噪声而出现故障,将变频器与 PLC 相连接时应该注意以下几点:

- 1) 对 PLC 本身应按规定的接线标准和接地条件进行接地,而且应注意避免和变频器使用共同的接地线,且在接地时使两者尽可能分开。
- 2) 当电源条件不太好时,应在 PLC 的电源模块及输入/输出模块的电源线上接入噪声滤波器和降低噪声用的变压器等。另外,若有必要,在变频器一侧也应采取相应的措施。
- 3) 当把变频器和 PLC 安装于同一操作柜中时,应尽可能使变频器有关的导线与 PLC 有关的导线分开。
- 4) 通过使用屏蔽线和双绞线达到提高抑制噪声干扰的水平。

PLC 和变频器连接应用时,由于两者涉及用弱电控制强电,因此应该注意连接时出现的干扰,避免由于干扰造成变频器误动作,或者由于连接不当导致 PLC 或变频器损坏。

实例 6. S7-PLC 基于 PROFIBUS-DP 与 Master 系列变频器通信

1. 硬件连接

CBP 为 Master 系列变频器的 PROFIBUS-DP 接口板,应用前先将电子箱中的主电子板取出,将 LBA 总线装入,再将主电子板插回,然后把 CBP 装在 ADB 适配板上,插入电子箱并固定。PLC 的安装方式如图 5-13 所示。



图 5-13 PLC 的安装方式

PROFIBUS-DP 的硬件接口为 D 型九针插头,连接时可采用西门子提供的总线连接器,按图 5-14 所示接线,并在两端打开终端电阻开关。

2. 参数设置

(1) 设置变频器参数

在硬件连接完毕后,需要对变频器的以下参数进行设置,以便 CBP 能够正常工作。

- 1) 设置 PPO 类型。
- 2) 设置报文监控时间。

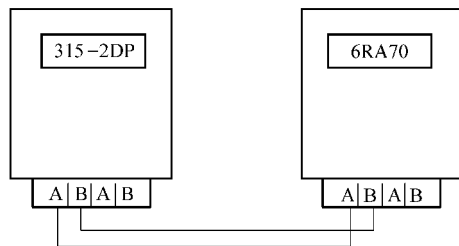


图 5-14 接线图

3) 设置 CBP 的 PROFIBUS - DP 站点地址。

4) 设置 CBP 的参数使能状态。

(2) 设置 PLC 参数

对 CPU 的 DP 接口进行参数设置, 使其能够参数化 CBP。

(3) 连接诊断

设置完成后, 对 PLC 及变频器送电, 此时 CBP 上 3 个发光管同时闪亮, 表示通信正常。

3. 程序编制

(1) DVA - S7 软件包

DVA - S7 是西门子公司为变频器同 S7 - PLC 通信所提供的 S7 软件包, 它运行于 PROFIBUS - DP 之上, 符合欧洲传动产品生产商有关变速传动在 DP 上应用的协定。它内含参数发送及接收的功能块, 以方便编程者调用。

采用 DVA - S7 编制程序, 主要组成部分为: DP - SEND (参数发送功能块), DP - RESV (参数接收功能块), 过程参数数据块, 通信参数数据块。通信功能块需要两个数据块, 以便进行过程的参数化和提供通信参数的存取空间。过程的参数化和提供通信参数的关系如图 5-15 所示。

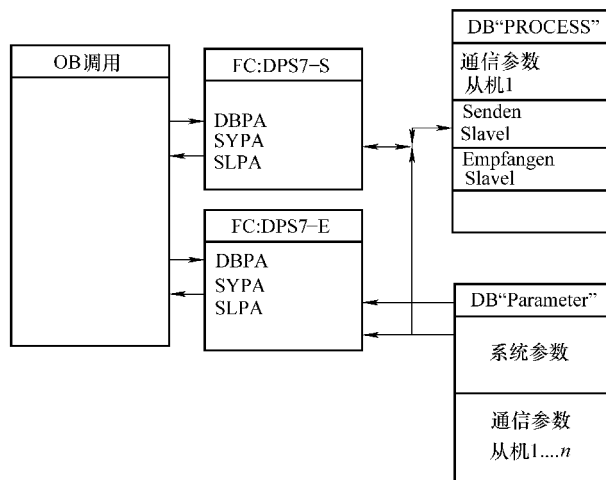


图 5-15 过程的参数化和提供通信参数的关系

(2) DPS7 - S 用于向变频器发送通信数据

DPS7 - S 根据 PPO 的类型以及通信控制字的内容, 自动形成有效数据, 并将其送往 DP 接口。如果此功能块发现参数设置错误, 则将错误代码写入过程数据块的两个字节中。此功能块有 3 个参数:

1) DBPA: 通信参数数据块代码。

2) SYPA: 系统参数在通信参数数据块中的起始地址。

3) SLPA: 有效数据在通信参数数据块中的起始地址。

(3) DP - RESV 用于接收变频器发送的通信数据

DP - RESV 根据 PPO 的类型以及通信控制字的内容, 读入通信设备的缓冲区数据, 经过变换后, 写入数据块。如果此功能块发现参数设置错误, 则将错误代码写入过程数据块的

一个字节中。此功能块有 3 个参数：

- 1) DBPA：通信参数数据块代码。
- 2) SYPA：系统参数字在通信参数数据块中的起始地址。
- 3) SLPA：有效数据在通信参数数据块中的起始地址。

对于上述两个数据块，在程序中至少每个变频器都要调用一次。

4. 数据块

(1) 通信参数数据块（DBPA）

DBPA 与参与通信的变频器数目有关，每个变频器需要 5 个字，另外数据块本身有 4 个保留字。

(2) 过程参数数据块（DBND）

DBND 为每一个参与通信的变频器提供如下通信接口：

- 1) 同每个变频器相关的通信数据。
- 2) 当前 PKW 任务的缓冲区。
- 3) PPO 有效数据的发送缓冲区。
- 4) PPO 有效数据的接收缓冲区。

实例 7. S7-300/400 基于 PROFIBUS-DP 与 6SE70 系列变频器通信

1. PROFIBUS-DP 与主站 PLC 的接口

传动装置通过 PROFIBUS-DP 与主站 PLC 的通信是经过通信模块 CBP 板来实现的，带有 DP 口的 S7-300 和 400PLC 也可以通过 CPU 上的 DP 口来实现通信。采用 RS-485 接口及支持 9.6kbit/s ~ 12Mbit/s 波特率数据传输，数据传输的结构如图 5-16 所示，其中数据的报文头/尾主要是用来规定数据的功能码、传输长度、奇偶校验、发送应答等内容。主/从站之间的数据读写的过程如图 5-17 所示。核心的部分是参数接口（PKW）和过程数据（PZD），PKW 和 PZD 共有五种结构形式，即：PPO1、PPO2、PPO3、PPO4、PPO5，其传输的字节长度及结构形式各不相同。在对 PLC 和变频器进行通信方式配置时，要对 PPO 进行选择。每一种类型的结构形式如下：

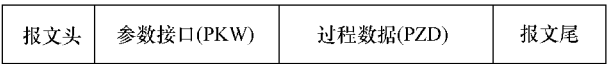


图 5-16 数据传输的结构

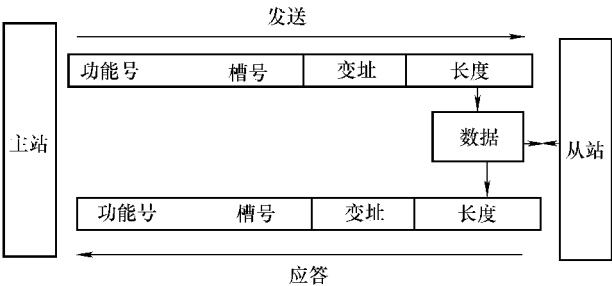


图 5-17 主/从站之间的数据读写的过程

PPO14PKW + 2PZD（共有 6 个字组成）

PPO24PKW + 6PZD（共有 10 个字组成）

PPO32PZD (共有 2 个字组成)

PPO46PZD (共有 6 个字组成)

PPO54PKW + 10PZD (共有 14 个字组成)

参数接口 (PKW) 由参数 ID 号 (PKE)、变址数 (IND)、参数值 (PWE) 三部分组成。过程数据 (PZD) 由控制字 (STW)、状态字 (ZSW)、主给定 (Mainsetpoint)、实际反馈值 (Mainactualvalue) 等组成。另外, 要了解掌握控制字和状态字每一位的具体含义, 并熟悉西门子变频器参数的具体应用, 在通信参数设置时需要具体定义。

2. 实现通信的软、硬件要求

(1) 硬件要求

- 1) 133MHz 以上且内存不小于 16MB 的编程器。
- 2) 西门子 S7 - 300/400 系列 PLC, RAM 不小于 12kB, 并带有 PROFIBUS - DP 接口, 或是 S7 - 400PLC (RAM 不小于 12kB) 配 CP443 - 5 的通信板。
- 3) 带有 CBP 通信模块和带有 CU2/SC 的 VC 板的变频器。

(2) 软件要求

- 1) Win95 或 WinNT (V4.0 以上)。
- 2) STEP7 (V3.0 以上)。
- 3) 安装 DVA - S7 - SPS7。

3. 传动参数的设置

P053 = 3 (参数使能)

P090 = 1 (CBP 板在 2#槽)

P918 = 3 (从站地址)

P554.1 = 3001 (控制字 PZD1)

P443.1 = 3002 (主给定 PZD2)

P694.1 = 968 (状态字 PZD1)

P694.2 = 218 (实际值 PZD2)

4. PROFIBUS - DP 的 siemens6SE70 控制系统结构

PROFIBUS - DP 网的总线拓扑结构如图 5-18 所示。PLC (SIMATIC S7 - 300 或 S7 - 400 系列) 作为一级 DP 主站, 它负责在预定的信息周期内循环与从站交换信息, 发送控制信息, 读取从站的状态等。组态软件 WinCC 作为二级 DP 主站, 用于系统操作与监视等, 6SE70 变频器加上 CBP2 通信板 (PROFIBUS - DP 通信模块) 后作为从站。

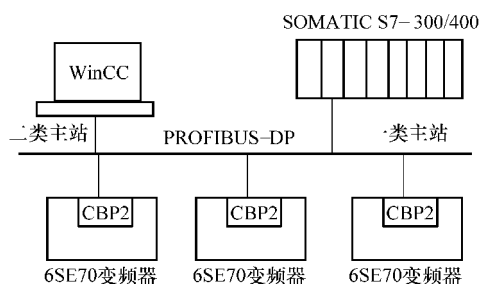


图 5-18 PROFIBUS - DP 网的总线拓扑结构

CBP2 通信板是 6SE70 变频器的通信处理器，它负责控制 6SE70 变频器与 SIMATIC S7 – 300 之间的通信。6SE70 变频器接入 PROFIBUS – DP 网中接受控制，必须要与 CBP2 配合使用。在 6SE70 变频器上有固定的插槽来放置 CBP2。CBP2 通信板将从 PROFIBUS – DP 网中接收到的过程数据存入双向 RAM 中，双向 RAM 中的每一个字都被编址，可通过被编址参数排序，写入控制字、设置值或读出实际值、诊断信息等参量。

采用 SIMATIC S7 – 300 系列的 CPU315 – 2DP 作为 DP 主站，CPU315 – 2DP 系统本身具有 PROFIBUS – DP 接口，无需另外的通信接口单元。在编程软件 STEP7 中完成硬件网络的组态，为 6SE70 变频器分配网络地址，该地址必须与变频器内部参数设定的地址相同，在组织块（OB）中选用 sfc14" DPrd_dat" sfc15" DPwr_dat" 系统功能块向变频器的 CBP2 模块接收/发送过程数据。PLC 与 6SE70 变频器之间的通信如图 5-19 所示。PLC 向变频器发送的控制字各位的定义见表 5-10。

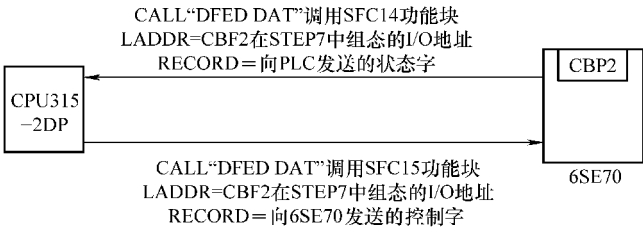


图 5-19 PLC 与 6SE70 变频器之间的通信

表 5-10 PLC 向变频器发送的控制字各位的定义

位数	描述	运行条件	位数	描述	运行条件
Bit0	开/关 1 命令	低信号和 P100 = 3、4	Bit8	点动 1 开机命令	低信号
Bit1	关机 OFF2 命令	低信号	Bit9	点动 2 开机命令	低信号
Bit2	关机 OFF3 命令	低信号	Bit10	PLC 来的开机命令	高信号，只在接收命令后处理数据
Bit3	逆变器使能命令	低信号	Bit11	顺时针旋转命令	高信号
Bit4	斜坡函数发生器封锁命令	低信号在运行（014）状态	Bit12	逆时针旋转命令	高信号
Bit5	斜坡函数发生器保持命令	低信号在运行（014）状态	Bit13	电动电位计增加命令	高信号
Bit6	设定值使能命令	高信号及建立励磁时间（P602）终了	Bit14	电动电位计减少命令	高信号
Bit7	确认命令	在故障状态（007）从 L—>H 上升沿	Bit15	外部故障 1 命令	低信号

工业组态软件 WinCC 提供各种 PLC 的驱动程序。本例要建立一个 PROFIBUS – DP 的二级主站，所以选择支持 S7 协议的通信驱动程序 SIMATIC S7 protocolsuite，在其中的“PROFIBUS – DP”下连接一台 S7 – 300 PLC，设置参数必须与 PLC 中的设置相同。通过以上步骤，即完成了对整个变频器控制系统 PROFIBUS – DP 网的组态与通信。

5. 硬件组态

在 STEP7 软件中创建一个项目，在硬件组态该项目下建一个 PROFIBUS – DP 网络，

6SE70 系列变频器在 PROFIBUSDP - > SIMOVERT 文件夹里进行组态, 并设定好通信的地址范围。

6. 建立通信 DB

一般读写数据都做在一个 DB 中, 且最好与硬件组态设定的 I/O 地址范围划分相同大小的区域, 以便于建立对应关系和管理。读变频器数据的 12 个字节在 DB0 ~ DB11 中, 写给变频器的 12 个字节数据放在 DB12 ~ DB23 中。接下来还可以存放诸如通信的错误代码和与变频器有关的其他计算数据。

7. PLC 与传动变频器的通信程序

要实现通信功能, 正确的程序编写是非常重要的, 下面将以西门子的 S7 - 416PLC 和 6SE70 变频器为例来介绍通信程序的编写。

(1) 基本配置和定义

主站 Master 为 CPU - 416 - 2DP。

从站 Slave 为 6SE70 传动装置, PROFIBUS - DP 地址是 3。

输入地址: IW256 (2WordsPZD)。

输出地址: QW256 (2WordsPZD)。

PPO 类型: 3。

总线接口: RS - 485。

(2) 使用的功能块

OB1Maincycle (主循环)

SFC14DPRD - DAT (读数据系统功能块)

SFC15DPWR - DAT (写数据系统功能块)

DB100 数据存取 (DBW0 - DBW4 是读出, DBW5 - DBW8 是写入)

MW200MW210 (通信状态显示)

(3) 程序编写

OB1

NETWORK1: 读出数据

CALLSFC14

LADDRW#16#100

RET - VALMW200

RECORDP#DB100. DBX0. 0BYTE4

NETWORK2: 显示数据

LDB100. DBW0

TMW50

NOP0

NETWORK3: 写入数据

LW#16#EFFF

TDB100. DBW5

NETWORK4: 发送数据

CALLSFC15

```
LADDRW#16#100
RECORDP#DB100.DBX5.0BYTE4
RET-VALMW210
```

把程序存储编译下装，检查传动装置的参数设置后，即可上电进行调试。

8. 变频器参数设置

变频器的简单参数设置见表 5-11。

表 5-11 变频器的简单参数设置

参数号	参数值	注译	参数号	参数值	注译
P60	3	快速参数设置	P383		电动机热时间常数
P71	380V	进线电压	P368	6	设定控制命令来源：PROFIBUS
P95	10	电动机类型：同步/异步电动机 IEC（国际标准）	P370	1	启动快速参数设置
			P60	0	返回用户菜单
P100	1	控制方式：U/f 控制	P60	4	电子板设置菜单
P101	380V	铭牌上电动机额定电压	P711.1		起始通信诊断
P102		铭牌上电动机额定电流	P712.1	4	通信方式
P104		铭牌上电动机功率因数	P918.1		PROFIBUS 地址
P107	50Hz	铭牌上电动机额定频率	P60	1	返回参数菜单
P108		铭牌上电动机额定转速	P734.1	32	装置状态字
P109		铭牌上电动机极对数	P734.2	20	电动机运行频率
P382		电动机冷却方式			

对于写变频器的数据是与变频器的 k3001 ~ k3016 建立对应关系，读变频器的数据则是与变频器的参数 P734 建立对应关系。即 DB15.DBW12 ~ DB15.DBW22 对应 P734 的 W01 ~ W06，DB15.DBW0 ~ DB15.DBW11 对应 k3001 ~ k3012。PLC 读取变频器的数据可以通过设置参数 P734 的值来实现。PLC 写给变频器的数据存放在变频器数据 k3001 ~ k3012 中，在变频器的参数设置里可以进行调用，从而建立了彼此的对应关系。

这样，变频器与 PLC 的连接已经基本建立，就可以编写程序通过 PLC 来控制变频器的起、停、速度给定等各项功能，以满足工艺给定要求。同时，也可以读取变频器数据通过上位机进行显示，达到在线监视和诊断的目的。

实例 8. MMV 系列变频器的远程控制及数据通信

1. 硬件接口

MMV 系列变频器的通信采用半双工方式，所以微处理器的串行通信接口选用半双工的电平转换芯片（TTL→RS-485），本系统采用的是 MAXIM 公司的 MAX485。选择的通信波特率在通信可靠的前提下，越高实时性越好，但对微处理器系统的要求越高。本应用系统的波特率设为 4800bit/s。通信接口电路原理图如图 5-20 所示。

2. 通信协议

MMV 系列变频器采用的是西门子 USS 通信协议，它是西门子所有传动产品的通用通信协议。USS 总线上的每个传动装置都有一个从站号，通过串行接口的 USS 总线最多可接 30 台变频器。

(1) USS 通信协议

西门子变频器都带有一个 RS - 485 通信口, PLC 作为主站, 最多允许 31 个变频器作为通信链路中的从站, 根据各变频器的地址或者采用广播方式, 可以访问需要通信的变频器。只有主站才能发出通信请求报文, 报文中的地址字符指定要传输数据的从站, 从站只有在接到主站的请求报文后才可以向从站发送数据, 从站之间不能直接进行数据交换。在使用 USS 协议之前, 需要先安装西门子的指令库。USS 协议指令在 STEP7 - MICRO/WIN32 指令树的库文件夹中, STEP7 - MICRO/WIN32 指令库提供 14 个子程序、3 个中断程序和 8 条指令来支持 USS 协议。调用一条指令时, 将会自动地增加一个或几个子程序。USS 协议使用 CPU 的下列资源:

1) USS 协议占用 PLC 的通信端口 0 或 1。使用 USS - INIT 指令可以选择 PLC 的端口是使用 USS 协议还是 PPI 协议, 选择 USS 协议后 PLC 的相应端口不能再做其他用途, 包括与 STEP7 - MICRO/WIN32 的通信, 只有通过执行另外一条 USS 指令或将 PLC - CPU 的模式开关拨到 RUN 或 STOP 状态, 才能进行 PPI 通信。当 PLC 与变频器的通信中断时, 变频器将停止运行, 所以在本例中选择 CPU226, 因为它有两个通信端口, 当第一个端口用于 USS 通信时, 第二个端口可以用于程序监控。USS 指令要占用 2300 ~ 3600 字节的程序存储空间和 400 个字节的变量存储区间。

2) 变频器的通信与 CPU 的扫描是异步的, 完成一次变频器的通信通常需要几个 CPU 的扫描周期。通信时间和链路上变频器的台数、波特率和扫描周期有关。本例中通信的波特率设定为 19200, 变频器的台数为 3 台, 经实际调试检测, 通信时间大约为 50ms。

使用 USS 协议的步骤:

1) 安装指令库后在 STEP7 - MICRO/WIN32 指令树的/指令/库/USSPROTOOL 文件夹中将出现 8 条指令, 用它门来控制变频器的运行和变频器参数的读写操作。这些子程序是西门子公司开发的, 用户不需要关注这些指令的内部结构, 只需要在程序中调用即可。

2) 调用 USS - INIT 初始化改变 USS 的通信参数, 只需要调用一次即可。在用户程序中每一个被激活的变频器只能用一条 USS - DRIVE - CTRL 指令, 可以任意使用 USS - RPM - X 或 USS - WPM - X 指令, 但是每次只能激活其中的一条指令。

3) 为 USS 指令库分配 V 存储区。在用户程序中调用 USS 指令后, 用鼠标点击指令树中的程序块图标, 在弹出的菜单中执行库内存命令, 为 USS 指令库使用的 397 个字节的 V 存储区指定起始地址。

4) 用变频器的操作面板设置变频器的通信参数, 使之与用户程序中所用的波特率和从站地址相一致。

5) 连接 CPU 和变频器之间的通信电缆, 为了提高抗干扰能力最好采用屏蔽电缆。

在使用 USS 协议时, 变频器的相关参数设定如下 (以 MM440 为例):

P0003 = 3: 允许访问变频器的所有参数。

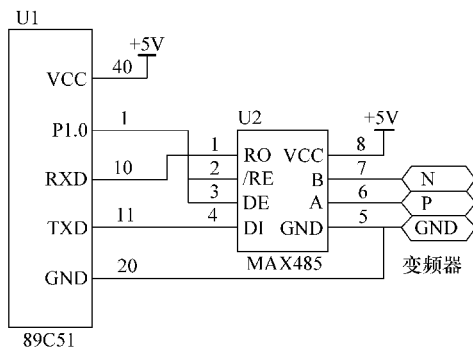


图 5-20 通信接口电路原理图

P0970 = 1: 允许变频器通过参数复位。

P0700 = 5: 变频器的控制方式选择为通信方式。

P2010 [2 > = 6]: 变频器的 USS 波特率选择为 9600。

P2011 [0 > = 11]: 变频器的 USS 地址 0 ~ 31。

(2) 通信执行过程

在微处理器与变频器的通信过程中, 始终由微处理器给变频器发送报文, 变频器接收报文并发送反馈报文, 但不能主动向微处理器发送报文。根据微处理器对变频器的两种操作, 有两种通信过程。

1) 写操作。写操作是微处理器向变频器写参数, 控制变频器的运行。其过程如下: 微处理器发报文→变频器接收报文→变频器发送反馈报文→微处理器接收报文。

2) 读操作。读操作是微处理器从变频器读出参数, 监视变频器的状态。其过程如下: 微处理器发报文中相关参数为所要查询的变频器的运行参数, 这里主要是变频器的运行频率、旋转方向、电动机转速、故障状态、电动机电流值等。

(3) 报文格式

MMV 通信的所有数据报文都由 14 个字节组成, 用 16 进制数表示。每个数据报文都是标准的异步报文, 格式为: 1 个起始位、8 个数据位、一个偶校验位和一个停止位。微处理器到变频器的报文格式为

STX LGE ADR PKE IND VAL STW HSW BCC

其中: STX 为报文的首字节, 单字节, 值为 02H; LGE 为报文长度, 单字节, 值为 0CH; ADR 为变频器地址, 单字节; PKE 用来控制变频器的参数设定, 双字节; IND 在 MMV 中不用, 双字节, 设为 0; VAL 为 PKE 中参数所设定的值, 双字节; STW 为变频器的控制字, 用来控制变频器的运行, 双字节; HSW 用来设定变频器的运行频率, 通过系统参数 P095 设置, 4000H 代表 100%, 亦可代表实际频率值, 双字节; BBC 为报文校验值, 由前面所有字节的异或构成, 单字节。

STW 控制字的结构图如图 5-21 所示, 其中位 13、14 未被使用, 设为 0。

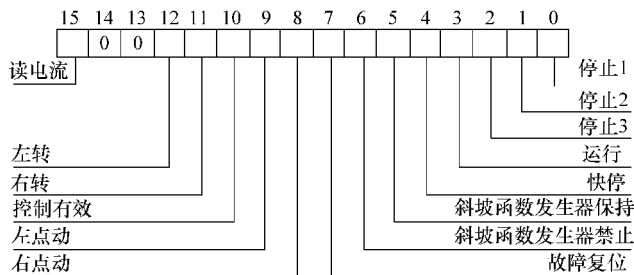


图 5-21 STW 控制字的结构图

变频器到微处理器的报文格式为:

STX LGE ADR PKE IND VAL ZSW HIW BCC

其中: ZSW 为变频器的当前状态, 双字节; HIW 为变频器的输出频率, 双字节。其余同微处理器到变频器的报文格式中的定义。

ZSW 为变频器状态字，其结构如图 5-22 所示。其中位 8 未被使用，总返回 1，位 13、14、15 未被使用，总返回 0。微处理器在发送报文后，超过时间 $(1.5 \times 11 \times 14/\text{波特率})$ 未收到应答报文，说明变频器未收到报文，应再次重发该报文。

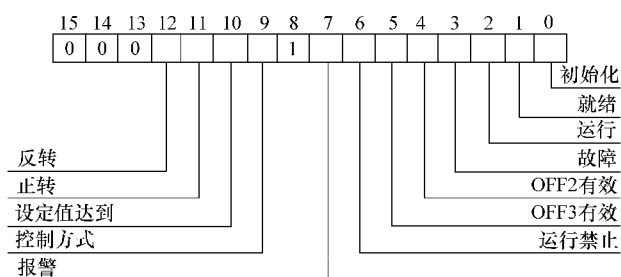


图 5-22 ZSW 变频器状态字结构

3. 通信程序设计

微处理器与变频器通信时，微处理器始终处于主动地位。软件要实现两个功能：设置变频器的运行参数和读取变频器的运行状态参数。功能模块有：通信初始化、变频器故障复位、变频器关断、减速停车、立即停车、快速制动停车、按设定频率、方向运行等。

程序主要由发送报文和接收报文子程序组成，报文初始化后，每个功能模块只是改变相应的报文参数，调用发送报文子程序 SendMessage 实现相应功能。变频器参数读取为先发送参数查询程序 SPWMQuery (intPEK1; intPEK2)，等待 10ms 后查询接收变频器发送来的报文。变频器通信流程图如图 5-23 所示。

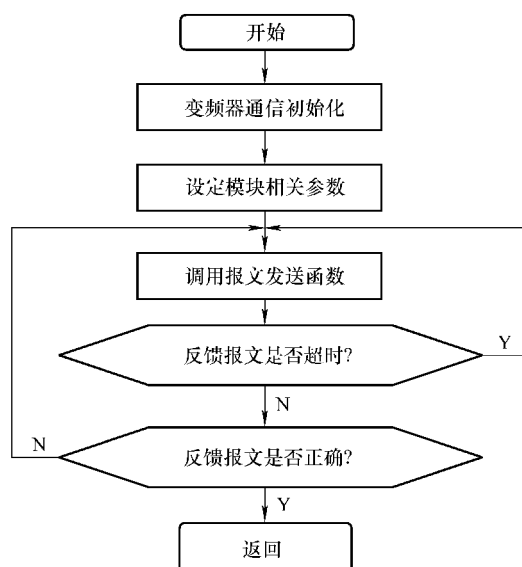


图 5-23 变频器通信流程图

实例 9. ECO 系列变频器的远程监控机数据通信

由于变频器本身所带的显示面板比较简单，而且在数据的处理、计算、保存等方面存在

着弱点,因此在一定程度上影响了它在复杂控制中的应用。然而,变频器与计算机相结合可以弥补这些缺陷,通过微机控制变频器,可增强变频器对数据处理、故障报警等方面的功能,达到比较好的控制效果。因此,利用微机与变频器之间的通信功能实现远距离控制,已经成为当今变频器控制的一种发展趋势。

1. MIDIMASTERECO 变频器简介

MIDIMASTERECO 变频器是西门子公司生产的 ECO 系列变频器之一。它可以通过多种方式实现对电动机的控制,即可以通过面板上的按键实现本地控制,也可以通过输入/输出端子或面板上的 RS-485D 接口实现远程控制。

MIDIMASTERECO 变频器有三种参数:实值参数(参数值具有实际意义,如 P003)、限制条件的参数(参数与所设定的数值不相关,只代表一定的功能选择,如 P199)和只读参数(参数值由厂家设定,只给用户提供的信息,如 P111)。三种参数模式有:显示模式、基本模式和专家模式。在实现工控机与变频器通信之前,必须先设置变频器的相关参数。其主要相关参数如下:

1) P199:此参数值决定是否对专家参数进行访问。0 为基本参数方式下的参数可修改;1 为除可修改基本参数方式下的参数外,专家参数也可修改。实际应用中,设置此参数为 1。

2) P091:此参数值决定了串行通信的从站地址,作为主、从机通信的识别码。选择范围为 0~30。

3) P092:串行通信的波特率。3 为 1200 波特率,4 为 2400 波特率,5 为 4800 波特率,6 为 9600 波特率,7 为 19200 波特率。在应用中,选择 6,即通信波特率为 9600。

4) P910:通过串行接口设置变频器为本地控制或 USS 控制。0 为本地控制,1 为远程控制(及参数值设置),2 为本地控制(频率由 USS 控制),3 为 SS 控制(频率由本地控制),4 为本地控制(参数由 USS 访问读写,并能实行故障复位)。当通过前面板的 RS-485D 接口与工控机通信时,此参数设为 1。

5) P080~P085:分别设置这些参数为电动机铭牌上的额定功率因数、频率、转速、电流、电压及功率值。

6) P094:串行口额定系统设定,参数范围为 0~650,默认值为 50。

7) 其余参数选择其默认值。

MIDIMASTERECO 变频器与上位机有两种通信方式:一是通过面板上的 RS-485D 接口及 RS-232/RS-485 转换器与上位机的 RS-232 串口相连,实现变频器的完全控制,包括起/停、频率设定和参数设置等;二是通过输入、输出接线端子,经 RS-232/RS-485 转换器与上位机的 RS-232 串口相连。

2. 变频器的串口通信协议

MIDIMASTERECO 变频器与工控机的通信协议采用西门子 USS 协议,它是一种西门子所有传动产品通用的通信协议。此协议采用主、从式结构,通信时上位机作为主站向变频器发送报文,变频器作为从站只是对主站发来的报文(即指令)进行处理并执行相应动作,同时回应并发送响应的报文。所有主/从之间的报文都由 14 个字节组成,每个数据报文都是标准的异步报文格式,包括:1 个起始位、8 个数据位、一个偶校验和一个停止位。上位机与变频器之间的数据传输是以 ASCII 码的形式进行传输的。

所有从主站发送到从站的报文必须在 1.5s 最短时间内发完,否则,此报文将被从站忽

略。从站在收到有效报文 20ms 内发送应答，若主站在这段时间内未收到应答，主站将重新发送此报文。

(1) USS 协议的报文格式

数据报文的结构如下：

主站到从站的报文格式 A

STX LGE ADR PKE IDN VAL STW HSW BCC

从站到主站的报文格式 B

STX LGE ADR PKE IDN VAL ZSW HIW BCC

STX 是单字节 ASC II 码，STX 字符（值为 02H）用来表示一个报文的开始。

LGE 是单字节区域，表示这个报文中发送的有效字节数。对于 MIDIMASTERECO 变频器，此值为 0CH。

ADR 是单字节区域，表示变频器的地址，取值范围为 0 ~ 30。

PKE 是双字节区域，用来控制变频器的运行参数设定。

IDN 是双字节区域，ECO 变频器不使用它，取值 0。

VAL 是双字节区域，包含了 PKE 区域中所指定的参数的值。

STW 是双字节区域，用来控制变频器的运行。

ZSW 是双字节区域，表示变频器的当前状态。

HSW 是双字节区域，用来设定变频器的频率值。它以值 16384（4000H）代表满频 100% 输出，最大满频值为 32767，即 200% 的输出频率。当取值 32768 ~ 65535 时，表示反向的输出频率从 0% ~ 200% 变化，电动机为反转。输出频率的计算公式为

输出频率 = (HSW × 设定频率值) / 16384

HIW 是双字节区域，表示变频器的输出频率。其定义与 HSW 是一致的。

BCC 是单字节区域，用作报文的校验，对报文中该区域以前的所有字节进行异或校验。若变频器收到带有错误结果的报文，它将放弃此报文并拒绝发出应答。

(2) 应用举例

设变频器 5#（地址码为 05H）以满频的 50% 输出频率运行，则以上各参数的值如下：

STX LGE ADR PKE IDN VAL STW HSW BCC

020C05000000000000C7F20005E

要使变频器能够在远程控制方式下正常工作，除了进行基本参数的设置以外，还应通过面板按键设置以下与串行通信相关的参数。参数设定与说明见表 5-12。

表 5-12 参数设定与说明

参数	设定值	功能说明
P091	5	设定从站变频器地址为 5
P092	6	设置 RS - 485 串行接口的波特率为 9600
P094	50.00 [Hz]	通过串行接口以百分比形式传送到
变频器的设定值		
P095	0	USS 的兼容性，当为 0 时，0.1Hz 分辨率兼容
P910	1	设定变频器为串行接口的远程控制方式

3. 上位机远程控制的实现方法

在计算机的串行通信中，常用的通信方式有三种：直接读写串口、利用 WindowsAPI 函数读写串口和利用串口通信控件 MSComm 操作串口。其中，直接读写串口即通过调用 `-inp` 和 `-out` 函数直接读写串口；利用 WindowsAPI 函数读写串口即通过调用 API 函数中的 `CreateFile`、`ReadFile`、`WriteFile` 等函数操作串口。使用这两种方法进行编程比较复杂，且不直观。而通过通信控件 MSComm 只需通过改变 MSComm 控件的属性设置和编写相应的初始化程序，就能在 Windows 环境下简单地实现不同用户的串行通信要求，从而达到远程控制的目的。

(1) MSComm 控件

PowerBuilder7.0 是一种面向对象的、具有可视图形界面的、快速的交互式开发工具，它支持多种关系数据库系统，具有强大的数据库功能，用它制作上位机监控程序可实现大批量数据的采集和存储，常用于大型系统的开发。在 PB7.0 中引入 MSComm 控件的具体方法是：进入 PB7.0 编程环境下，制作一通信接收窗口，选择菜单 `Controls→OLE→InsertControl→MicrosoftCommunicationsControl`，再单击“OK”完成。如果在“InsertControl”中找不到“MicrosoftCommunicationsControl”控件，单击“RegisterNew”按钮，引入 MSComm.ocx 即可。

(2) MSComm 的常用属性

MSComm 控件的主要属性见表 5-13。在使用 MSComm 控件时，为避免产生错误，初始化工作必须做好：首先，根据所用的串行口设置好端口号，并将端口打开；其次，设置好 Settings 工作，这包括：波特率、奇偶校验、数据位、停止位等，最重要的是波特率；最后，设置读取数据的类型、读取的字符数，以及产生 OnComm 事件前所要接收的字符数。InputLen 属性的默认值是 0。设置 InputLen 为 0 时，使用 Input 将使 MSComm 控件读取接收缓冲区中全部的内容；设置 Rthreshold 为 1，接收缓冲区收到每一个字符都会使 MSComm 控件产生 OnComm 事件。为了让通信事件接收到字符立即发生，本程序将其属性值设为 1。InputMode 设为默认值 0（文本型）。

表 5-13 MSComm 控件的主要属性

属性	描 述
CommPort	设置并返回通信端口号
Settings	以字符串的形式设置并返回波特率、奇偶校验、数据位、停止位
PortOpen	设置并返回通信端口的状态
Input	从接收缓冲区返回和删除字符
Output	向传输缓冲区写一个字符串
CommEvent	是否产生通信事件
InputMode	设置或返回 Input 属性取回的数据的类型
InputLen	设置或返回 Input 属性从缓冲区读取的字符数
Rthreshold	设置在触发 OnComm 事件之前接收缓冲区允许有的字符数

第 6 章 西门子变频器故障信息及故障处理实例

6.1 西门子变频器的故障信息

1. MM430 系列变频器的故障代码及解决对策

MM430 系列变频器的故障代码及解决对策见表 6-1。

表 6-1 MM430 系列变频器的故障代码及解决对策

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0001	过电流	电动机的功率（P0307）与变频器的功率（P0206）不对应 电动机电缆太长 电动机的导线短路 有接地故障	检查以下各项： 1. 电动机的功率（P0307）必须与变频器的功率（P0206）相对应 2. 电缆的长度不得超过允许的最大值 3. 电动机的电缆和电动机内部不得有短路或接地故障 4. 输入变频器的电动机参数必须与实际使用的电动机参数相对应 5. 输入变频器的定子电阻值（P0350）必须正确无误 6. 电动机的冷却风道必须通畅，电动机不得过载 7. 增加斜坡时间 8. 减少“转矩提升”的数值
F0002	过电压	禁止直流回路电压控制器（P1240=0） 直流回路的电压（r0026）超过了跳闸电平（P2172） 由于供电电源电压过高，或者电动机处于再生制动方式下引起过电压 斜坡下降过快，或者电动机由大惯量负载带动旋转而处于再生制动状态下	检查以下各项： 1. 电源电压（P0210）必须在变频器铭牌规定的范围以内 2. 直流回路电压控制器必须有效（P1240），而且正确进行了参数化 3. 斜坡下降时间（P1121）必须与负载的惯量相匹配 4. 要求的制动功率必须在规定的限定值以内 注意：负载的惯量越大需要的斜坡时间越长 变频器应接入制动电阻
F0003	欠电压	供电电源故障 冲击负载超过了规定的限定值	检查以下各项： 1. 电源电压（P0210）必须在变频器铭牌规定的范围以内 2. 检查电源是否短时掉电或有瞬时电压降低 3. 使能动态缓冲（P1240=2）

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0004	变频器过温	冷却风量不足 环境温度过高	检查以下各项: 1. 负载的情况必须与工作/停止周期相适应 2. 变频器运行时冷却风机必须正常运转 3. 调制脉冲的频率必须设定为默认值 4. 环境温度可能高于变频器的允许值
F0005	变频器 I^2t 过热保护	变频器过载 工作/停止间隙周期时间不符合要求 电动机功率 (P0307) 超过变频器的负载能力 (P0206)	检查以下各项: 1. 负载的工作/停止间隙周期时间不得超过指定的允许值 2. 电动机的功率 (P0307) 必须与变频器的功率 (P0206) 相匹配
F0011	电动机过温	电动机过载	检查以下各项: 1. 负载的工作/间隙周期必须正确 2. 标称的电动机温度超限值 (P0626 ~ P0628) 设置必须正确 3. 电动机温度报警电平 (P0604) 必须匹配 如果 P0601 = 0 或 1, 应检查以下各项: ① 检查铭牌数据是否正确 (如果不正确进行快速调试) ② 采用电动机参数自动检测 (P1910 = 1) 的方法, 可以得到准确的等效电路数据 ③ 检查电动机的重量 (P0344) 是否合理, 必要时加以修改 4. 如果使用的电动机不是西门子的标准电动机, 请通过参数 P0626, P0627, P0628 修改过温保护的数据 如果 P0601 = 2, 检查以下各项: ① 检查参数 r0035 中显示的温度是否合理 ② 检查温度传感器是否是 KTY84 (不支持其他的传感器)
F0012	变频器温度信号丢失	变频器 (散热器) 的温度传感器断线	检查变频器 (散热器) 的温度传感器的接线
F0015	电动机温度信号丢失	电动机的温度传感器开路或短路 如果检测到信号已经丢失, 温度监控开关便切换为监控电动机的温度模型	检查电动机的温度传感器的接线
F0020	电源断相	如果三相输入电源缺相, 便出现故障, 但变频器的脉冲仍然允许输出, 变频器仍然可以带负载	检查输入电源是否正常
F0021	接地故障	如果相电流的总和超过变频器额定电流的 5% 时将引起这一故障	检查变频器、电缆、电动机对地绝缘

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0022	功率组件故障	下列情况将引起硬件故障 (P0947 = 22 和 P0949 = 1): 1. 直流回路过电流 (IGBT 短路) 2. 制动斩波器短路 3. 有接地故障 4. I/O 板没有正确地插入 由于所有这些故障只是由功率组件的一个故障信号来表示, 因此, 不能确定实际上是哪一个组件出现了故障 当 r0947 = 22 和故障值 r0949 = 12 或 13 或 14 (根据 UCE 而定) 时, 检测 UCE 故障	检查 IGBT 检查制动斩波器 检查变频器、电缆、电动机对地绝缘 检查 I/O 板是否匹配 I/O 板必须完全插入 检查 UCE 单元
F0023	输出故障	输出的一相断线时出现这一故障	检查输出电缆
F0024	整流器过温	通风风量不足 冷却风机没有运行 环境温度过高	检查以下各项: 1. 变频器运行时冷却风机必须处于运转状态 2. 脉冲频率必须设定为默认值 3. 环境温度可能高于变频器允许的运行温度
F0030	冷却风机故障	风机不工作	1. 在装有操作面板选件 (AOP 或 BOP) 时, 故障不能被屏蔽 2. 更换新风机
F0035	在重试再起 动后自动再起 动故障	试图自动再起动的次数超过 P1211 确定的数值	检查 P1211 参数设置是否正确
F0041	电动机参数 自动检测故障	电动机参数自动检测故障 报警值 = 0: 负载消失 报警值 = 1: 进行自动检测时已达到电流限制的电平 报警值 = 2: 自动检测得出的定子电阻小于 0.1% 或大于 100% 报警值 = 3: 自动检测得出的转子电阻小于 0.1% 或大于 100% 报警值 = 4: 自动检测得出的定子电抗小于 50% 或大于 500% 报警值 = 5: 自动检测得出的电源电抗小于 50% 或大于 500% 报警值 = 6: 自动检测得出的转子时间常数小于 10ms 或大于 5s 报警值 = 7: 自动检测得出的总漏抗小于 5% 或大于 50% 报警值 = 8: 自动检测得出的定子漏抗小于 25% 或大于 250% 报警值 = 9: 自动检测得出的转子漏感小于 25% 或大于 250%	0: 检查电动机是否与变频器正确连接 1 ~ 9、20、30、40: 检查电动机参数 P304 ~ 311 是否正确 检查电动机的接线应该是哪种形式 (星形, 三角形)

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0041	电动机参数自动检测故障	报警值 = 20: 自动检测得出的 IG-BT 通态电压小于 0.5V 或大于 10V 报警值 = 30: 电流控制器达到了电压限制值 报警值 = 40: 自动检测得出的数据组自相矛盾, 至少有一个自动检测数据错误 基于电抗 Z_b 的百分值 = $U_{mot, nom} / \sqrt{3} / I_{mot, nom}$	0: 检查电动机是否与变频器正确连接 1 ~ 9、20、30、40: 检查电动机参数 P304 ~ 311 是否正确 检查电动机的接线应该是哪种形式 (星形, 三角形)
F0042	速度控制优化功能故障	速度控制优化功能 (P1960) 故障 故障值 = 0: 在规定时间内不能达到稳态速度故障值 = 1: 读数不合乎逻辑	检查速度控制优化功能参数设置是否正确
F0051	参数 EEPROM 故障	存储参数时出现读/写错误	工厂复位并重新参数化
F0052	功率组件故障	读取功率组件的参数时出错, 或数据非法	检查硬件
F0053	I/O EEPROM 故障	读 I/O EEPROM 信息时出错, 或数据非法	1. 检查数据 2. 更换 I/O 模块
F0054	I/O 板错误	连接的 I/O 板不对, I/O 板检测不出识别号, 检测不到数据	1. 检查数据 2. 更换 I/O 模板
F0060	Asic 超时	内部通信故障	检查内部通信软件, 检查变频器
F0070	CB 设定值故障	在通信报文结束时, 不能从 CB (通信板) 接收设定值	检查 CB 板和通信对象
F0071	USS (BOP - 链接) 设定值故障	在通信报文结束时, 不能从 USS 得到设定值	检查 USS 主站
F0072	USS (COM 链接) 设定值故障	在通信报文结束时, 不能从 USS 得到设定值	检查 USS 主站
F0080	ADC 输入信号丢失	断线 信号超出限定值	检查接线及信号
F0085	外部故障	由端子输入信号触发的外部故障	封锁触发故障的端子输入信号
F0090	编码器反馈信号丢失	从编码器来的信号丢失	1. 检查编码器的安装固定情况, 设定 P0400 = 0 并选择 SLVC 控制方式 (P1300 = 20 或 22) 2. 如果装有编码器, 应检查编码器的选型是否正确 (检查 P0400 的编码器的设置值) 3. 检查编码器与变频器之间的接线 4. 检查编码器应无故障 (选择 P1300 = 0, 在一定的速度下运行, 检查 r0061 中的编码器反馈信号) 5. 增加编码器反馈信号消失的门限值 (r0061)

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0101	功率组件溢出	软件出错或处理器故障	运行自测试程序
F0221	PID 反馈信号低于最小值	PID 反馈信号低于 P2268 设置的最小值	改变 P2268 的设置值或调整反馈增益系数
F0222	PID 反馈信号高于最大值	PID 反馈信号超过 P2267 设置的最大值	改变 P2267 的设置值或调整反馈增益系数
F0450	BIST 测试故障	故障值 1. 有些功率部件的测试有故障 故障值 2. 有些控制板的测试有故障 故障值 4. 有些功能测试有故障 故障值 8. 有些 I/O 模块测试有故障 (仅指 MM420 变频器) 故障值 16. 上电检测时内部 RAM 有故障	1. 变频器可以运行, 但有的功能不能正确工作 2. 检查硬件
F0452	检测出传动皮带有故障	电动机的负载状态表明传动皮带故障或传动机构有故障	检查下列各项: 1. 驱动链有无断裂、卡死或堵塞现象 2. 如果使用了外接速度传感器, 检查外接速度传感器是否正确地工作 检查参数 P2192 (与允许偏差相对应的延迟时间) 的数值必须正确无误 3. 如果采用转矩控制, 以下参数的数值必须正确无误: P2182 (频率门限值 f1) P2183 (频率门限值 f2) P2184 (频率门限值 f3) P2185 (转矩上限值 1) P2186 (转矩下限值 1) P2187 (转矩上限值 2) P2188 (转矩下限值 2) P2189 (转矩上限值 3) P2190 (转矩下限值 3) P2192 (与允许偏差对应的延迟时间)
A0501	电流限幅	电动机的功率与变频器的功率不匹配 电动机的连接导线太长 接地故障	检查以下各项: 1. 电动机的功率必须与变频器功率相对应 2. 电缆的长度不得超过最大允许值 3. 电动机电缆和电动机内部不得有短路或接地故障 4. 输入变频器的电动机参数必须与实际使用的电动机一致 5. 定子电阻值必须正确无误 6. 电动机的冷却风道是否堵塞, 电动机是否过载 增加斜坡上升时间 减少“转矩提升”的数值

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
A0502	过电压限幅	达到了过电压限幅值 斜坡下降时如果直流回路控制器无效 (P1240 = 0) 就可能出现这一报警信号	1. 电源电压 (P0210) 必须在铭牌数据限定的数值以内 2. 使能直流回路电压控制器 (P1240 = 0), 并正确地进行参数化 3. 斜坡下降时间 (P1121) 必须与负载的惯性相匹配 4. 要求的制动功率必须在规定的限度以内
A0503	欠电压限幅	供电电源故障 供电电源电压 (P0210) 和与之相应的直流回路电压 (u0026) 低于规定的限定值 (P2172)	1. 电源电压 (P0210) 必须在铭牌数据限定的数值以内 2. 对于瞬间的掉电或电压下降必须是不敏感的 3. 使能动态缓冲 (P1240 = 2)
A0504	变频器过温	变频器散热器的温度 (P0614) 超过了报警电平, 将使调制脉冲的开关频率降低或输出频率降低 (取决于 P0610 的参数化)	检查以下各项: 1. 环境温度必须在规定的范围内 2. 负载状态和“工作—停止”周期时间必须适当 3. 变频器运行时冷却风机必须运行 4. 脉冲频率 (P1800) 必须设定为默认值
A0505	变频器 I ² t 过温	如果进行了参数化 (P0290), 超过报警电平 (P0294) 时, 输出频率或脉冲频率将降低	1. 检查“工作—停止”周期的工作时间应在规定范围内 2. 电动机的功率 (P0307) 必须与变频器的功率相匹配
A0506	变频器的“工作—停止”周期	散热器温度与 IGBT 的结温超过了报警的限定值	检查“工作—停止”周期和冲击负载应在规定范围内
A0511	电动机 I ² t 过温	电动机过载 在负载的“工作—停止”周期中, 工作时间太长	无论是哪种过温, 应检查以下各项: 1. 负载的工作/停机周期必须正确 2. 电动机的过温参数 (P0626—P0628) 必须正确 3. 电动机的温度报警电平 (P0604) 必须匹配 如果 P0601 = 0 或 1, 应检查以下各项: ① 铭牌数据是否正确 (如果不执行快速调试) ② 等效回路的准确数据可以通过电动机参数自动检测 (P1910 = 1) 来得到电动机的重量 (P0344) 是否可靠, 必要时应进行修改 ③ 如果使用的电动机不是西门子的标准电动机, 应通过参数 P0626, P0627, P0628 改变过温的标准值 如果 P0601 = 2, 请检查以下各项: u0035 显示的温度值是否可靠, 传感器是否是 KTY84 (不支持其他的传感器)

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
A0512	电动机温度信号丢失	至电动机温度传感器的信号线断线 如果已检查出信号线断线，温度监控开关应切换到采用电动机的温度模型进行监控	检查电动机温度传感器接线
A520	整流器过温	整流器的散热器温度超出报警值	应检查以下各项： 1. 环境温度必须在允许限值以内 2. 负载状态和“工作—停止”周期时间必须适当 3. 变频器运行时，冷却风机必须正常转动
A521	运行环境过温	运行环境温度超出报警值	应检查以下各项： 1. 环境温度必须在允许限值以内 2. 变频器运行时，冷却风机必须正常转动 3. 冷却风机的进风口不允许有任何阻塞
A523	输出故障	输出的一相断线	可以对报警信号加以屏蔽
A0535	制动电阻发热	参数设置不正确	1. 增加工作/停止周期 P1237 2. 增加斜坡下降时间 P1121
A0541	电动机数据自动检测已激活	已选择电动机数据的自动检测 (P1910) 功能，或检测正在进行	检查自动检测参数设置
A0542	激活速度控制的优化功能	速度控制优化功能 (P1960) 已选定或已投入运行	检查速度控制优化功能参数设置
A0590	编码器反馈信号丢失报警	从编码器来的反馈信号丢失，变频器切换到无传感器矢量控制方式运行	停止变频器，然后检查以下各项： 1. 检查编码器的安装情况 如果没有安装编码器，应设定 0400 = 0，并选择 SLVC 运行方式 (P1300 = 20 或 22) 2. 如果装有编码器，请检查编码器的选型是否正确 (检查参数 P0400 的设定) 3. 检查变频器与编码器之间的接线 4. 检查编码器有无故障 (选择 P1300 = 0，使变频器在某一固定速度下运行，检查 R0061 的编码器反馈信号) 5. 增加编码器信号丢失的门限值 (P0492)
A0600	RTOS 超出正常范围	超出内部时间限制范围	检查参数设置是否正确
A0700	CB 报警 1, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看“CB 用户手册”
A0701	CB 报警 2, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看“CB 用户手册”

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
A0702	CB 报警 3, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0703	CB 报警 4, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0704	CB 报警 5, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0705	CB 报警 6, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0706	CB 报警 7, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0707	CB 报警 8, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0708	CB 报警 9, 详情请参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0709	CB 报警 10, 详情参看 CB 手册	CB (通信板) 特有故障	参看 “CB 用户手册”
A0710	CB 通信 错误	变频器与 CB (通信板) 通信 中断	检查 CB 硬件
A0711	CB 组态 错误	CB (通信板) 报告有组态错误	检查 CB 的参数
A0910	直流回路最 大电压 U_{dmax} 控 制器未激活	直流回路最大电压 U_{dmax} 控制器未激活, 因为控制器不能把直流回路电压 (r0026) 保持在 (P2172) 规定的范围内 如果电源电压 (P0210) 一直太高, 就可能出现这一报警信号 如果电动机由负载带动旋转, 使电动机处于再生制动方式下运行, 就可能出现这一报警信号 在斜坡下降时, 如果负载的惯量特别大, 就可能出现这一报警信号	检查以下各项: 1. 输入电源电压 (P0210) 必须在允许范围内 2. 负载必须匹配

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
A0911	直流回路最大电压 U_{dc-max} 控制器已激活	直流回路最大电压 U_{dc-max} 控制器已激活 因此,斜坡下降时间将自动增加,从而自动将直流回路电压 (r0026) 保持在限定值 (P2172) 以内	
A0912	直流回路最小电压 U_{dc-min} 控制器已激活	如果直流回路电压 (r0026) 降低到最低允许电压 (P2172) 以下,直流回路最小电压 U_{dc-min} 控制器将被激活 电动机的动能受到直流回路电压缓冲作用的吸收,从而使驱动装置减速短时的掉电并不一定会导致欠电压跳闸	检查以下各项: 1. 检查电压 (P0210) 必须在允许范围 2. 检查制动单元
A0920	ADC 参数设定不正确	ADC 的参数不应设定为相同的值,因为,这样将产生不合乎逻辑的结果 故障值=0: 参数设定与输出相同 故障值=1: 参数设定与输入相同 故障值=2: 参数设定输入不符合 ADC 的类型	检查 ADC 的参数的设定
A0921	DAC 参数设定不正确	DAC 的参数不应设定为相同的值,因为,这样将产生不合乎逻辑的结果 故障值=0: 参数设定与输出相同 故障值=1: 参数设定与输入相同 故障值=2: 参数设定输出不符合 DAC 的类型	ADC 的参数不应设定
A0922	变频器没有负载	变频器没有负载 有些功能不能像正常负载情况下那样工作	检查负载
A0923	同时请求正向和反向点动	已有向前点动和向后点动 (P1055/P1056) 的请求信号 这将使 RFC 的输出频率稳定在它的当前值	检查点动参数设置是否正确,不要同时按下正向点动和反向点动按钮

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
A0952	检测到传动皮带故障	电动机的负载状态表明皮带有故障或机械有故障	检查以下各项： 1. 驱动装置的传动系统有无断裂、卡死或堵塞现象 2. 外接的速度传感器（如果采用速度反馈的话）工作是否正常 P0409（额定速度下每分钟脉冲数）、P2191（回线频率差）和 P2192（与允许偏差相对应的延迟时间）的数值必须正确无误 3. 如果使用转矩控制功能，应检查以下参数的数值必须正确无误： P2182（频率门限值 f1） P2183（频率门限值 f2） P2184（频率门限值 f3） P2185（转矩上限值 1） P2186（转矩下限值 1） P2187（转矩上限值 2） P2188（转矩下限值 2） P2189（转矩上限值 3） P2190（转矩下限值 3）和 P2192（与允许偏差相对应的延迟时间） 4. 必要时加润滑

2. MM440 系列西门子品牌变频器故障代码及解决对策

MM440 系列西门子品牌变频器故障代码及解决对策见表 6-2。

表 6-2 MM440 系列西门子品牌变频器故障代码及解决对策

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0001	过电流	电动机功率（P0307）与变频器的功率（r0206）不匹配 电动机的导线短路 有接地故障	检查以下各项情况： 1. 电动机功率（P0307）与变频器的功率（r0206）是否匹配 2. 电缆的长度不得超过允许的最大值 3. 电动机的电缆和电动机内部不得有短路或接地故障 4. 输入变频器的电动机参数必须与实际使用的电动机参数相符合 5. 输入变频器的定子电阻值（P0350）必须正确无误 6. 电动机的冷却风道必须通畅，电动机不得过载 7. 增加斜坡上升时间（P1120） 8. 减少“转矩提升”的强度（P1312）

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0002	过电压	直流回路的电压 (r0026) 超过了跳闸电平 (2172)	检查以下各项情况: 1. 电源电压 (P0210) 必须在变频器铭牌规定的范围以内 2. 直流回路电压控制器必须投入工作 (P1240), 而且正确进行了参数化 3. 斜坡下降时间 (P1121) 必须与负载的转动惯量相匹配 4. 实际要求的制动功率必须在规定的限定值以内
F0003	欠电压	供电电源故障 冲击负载超过了规定的限定值	检查以下各项: 1. 供电电源电压 (P0210) 必须在变频器铭牌规定的范围以内 2. 检查供电电源是否短时掉电, 或有短时的电压降低
F0004	变频器过温	变频器运行时冷却风量不足 环境温度太高	检查以下各项情况: 1. 变频器运行时冷却风机必须正常运转, 调制脉冲的频率必须设定为默认值 2. 检查环境温度是否太高, 是否超过了变频器的允许值
F0005	变频器 I ² t 过温	变频器过载 变频器负载工作周期时间太长 电动机功率 (P0307) 超过了变频器的功率 (r0206)	检查以下各项情况: 1. 负载的工作周期时间必须在规定的限制值以内 2. 电动机功率 (P0307) 必须与变频器的功率 (r0206) 相匹配
F0011	电动机 I ² t 过温	电动机过载	检查以下各项情况: 1. 负载过大或负载的工作周期时间太长 2. 标称的电动机温度超限值 (P0626 - P0628) 必须正确 3. 电动机 I²t 过温报警电平 (P0604) 必须与电动机的实际过温情况相匹配
F0012	变频器温度信号丢失	变频器 (散热器) 的温度传感器断线	检查变频器 (散热器) 的温度传感器接线
F0015	电动机温度信号丢失	电动机的温度传感器开路或短路, 如果检测到温度信号已经丢失, 温度监控开关便切换为监控电动机的温度模型	检查电动机的温度传感器接线
F0020	电源断相	如果三相输入电源缺相, 便出现故障, 但变频器的脉冲仍然允许输出, 变频器仍然可以带负载	检查输入电源是否正常
F0021	接地故障	如果三相电流的总和超过变频器额定电流的 5% 时, 便出现这一故障	检查变频器、电缆、电动机对地绝缘

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0022	功率组件故障	下列情况下将引起硬件故障 (r0947 = 22 和 r0949 = 1) : (1) 直流回路过电流 (= IGBT 短路) (2) 制动斩波器短路 (3) 接地故障 (4) I/O 板插入不正确	检查以下各项情况: 1. 检查 I/O 板是否完全插入插座中 2. 如果在变频器的输出侧或 IGBT 中有接地故障或短路故障时, 断开电动机电缆就能确定是哪种故障 3. 在所有外部接线都已断开 (电源接线除外), 而变频器仍然出现永久性故障的情况下, 可以断定变频器一定存在缺陷, 应该对变频器进行检修 4. 偶尔发生的 F0022 故障: 突然的负载变化或机械阻滞 5. 斜坡时间很短 6. 采用无传感器矢量控制功能时参数优化运行的很差 7. 安装有制动电阻时, 制动电阻的阻值太低
F0023	输出故障	输出的一相断线	检查输出电缆
F0024	整流器过温	通风风量不足 冷却风机没有运行 运行环境的温度过高	检查以下各项情况: 1. 变频器运行时冷却风机必须处于运转状态 2. 脉冲频率必须设定为默认值 3. 环境温度可能高于变频器运行的允许值
F0030	冷却风机故障	风机不工作	检查以下各项情况: 1. 在装有操作面板选项 AOP 或 BOP 时, 故障不能被屏蔽 2. 更换新风机
F0035	在重试再启动时自动再起故障	试图制动再起动的次数超过了 P1211 确定的数值	检查参数设置是否正确
F0041	电动机参数自动检测故障	电动机参数自动检测故障 报警值 = 0: 负载消失 报警值 = 1: 进行自动检测时已达到电流限制值的电平 报警值 = 2: 自动检测得出的定子电阻小于 0.1% 或大于 100% 报警值 = 3: 自动检测得出的转子电阻小于 0.1% 或大于 100% 报警值 = 4: 自动检测得出的定子电抗小于 50% 或大于 500%	检查以下各项的情况: 0: 检查电动机是否与变频器正确连接 1 ~ 9、20、30、- 40: 检查电动机参数 P0304、P0311 是否正确 检查电动机的接线应该是哪种形式 (星形, 三角形)

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0041	电动机参数自动检测故障	报警值=5: 自动检测得出的电源电抗小于50%或大于500% 报警值=6: 自动检测得出的转子时间常数小于10ms或大于5s 报警值=7: 自动检测得出的总漏抗小于5%或大于50% 报警值=8: 自动检测得出的定子漏抗小于25%或大于250% 报警值=9: 自动检测得出的转子漏感小于25%或大于250% 报警值=20: 自动检测得出的IGBT通态电压小于0.5V或大于10V 报警值=30: 电流控制器达到了电压限制值 报警值=40: 自动检测得出的数据组自相矛盾, 至少有一个自动检测得出的数据错误 基于阻抗 Z_b 的百分值 = $U_{mot, nom} / \sqrt{3} / I_{mot, nom}$	检查以下各项的情况: 0: 检查电动机是否与变频器正确连接 1 ~ 9、20、30、-40: 检查电动机参数P0304、P0311是否正确 检查电动机的接线应该是哪种形式(星形, 三角形)
F0042	速度控制优化功能故障	电动机数据自动检测故障 故障报警值=0: 在规定的时间内不能达到稳定速度 故障报警值=1: 读数不合乎逻辑	检查电动机数据输入是否正确
F0051	参数EEPROM故障	在访问EEPROM时发生读出或写入故障	检查以下各项情况: 1. 复位为工厂的默认设置值, 并重新参数化 2. 对变频器进行检修
F0052	功率组件故障	读取功率组件的参数时出错, 或数据非法	对变频器进行检修
F0055	BOP - EEPROM故障	在利用BOP复制参数, 向BOP的EEPROM存储参数时, 发生读出或写入故障	1. 复位为工厂的默认设置值, 并重新参数化 2. 更换BOP
F0056	变频器没有安装BOP	在变频器没有安装BOP的情况下试图运行参数的复制	在变频器上安装BOP并重新进行参数的复制
F0057	BOP故障	使用空白的BOP复制参数 使用非法的BOP复制参数	向BOP下载参数 更换BOP

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
F0058	BOP 存储的信息不兼容	试图当 BOP 安装在其他型号的变频器上进行参数的复制	从这一型号的变频器上向 BOP 下载参数
F0060	Asic 超时	内部通信故障	如果故障持续出现, 对变频器进行检修
F0072	USS 设定值故障	在通信报文结束时, 不能从 USS 得到设定值	检查 USS 通信的主站
F0085	外部故障	由端子输入信号触发的外部故障	封锁触发故障的端子输入信号
F0100	监视器 (Watch-dog) 复位	软件出错	运行自测试程序
F0101	功率组件溢出	软件出错或变频器的处理器故障	运行自测试程序
F0450	BIST 测试故障	故障值 r0949 = 1: 有些功率部件有故障 故障值 r0949 = 2: 有些控制板有故障 故障值 r0949 = 4: 有些功能有故障 故障值 r0949 = 8: 有些 I/O 模块有故障 (仅指 MM420) 故障值 r0949 = 16: 变频器开机上电检测时内部 RAM 有故障	变频器可以运行, 但有的功能不能正常工作 对变频器进行检修
A0501	电流限幅	电动机的功率与变频器的功率不匹配 电动机的连接导线太长 存在接地故障	检查以下各项情况: 1. 电动机的功率 (P0307) 必须与变频器的功率 (r0206) 相匹配 2. 电缆的长度不得超过最大允许值 3. 电动机电缆和电动机内部不得有短路或接地故障 4. 输入变频器的电动机参数必须与实际使用的电动机一致 5. 定子电阻值 (P0350) 必须正确无误 6. 电动机的冷却风道是否堵塞, 电动机是否过载 7. 增加斜坡上升时间 (P1120) 8. 减少“转矩提升”的数值 (P1312)
A0502	过电压限幅	电压达到了过电压的限幅值 如果 U_{dc} 控制器没有激活 (P1240 = 0), 这一报警信息可能在斜坡下降期间出现	如果这一报警信息一直显示, 应检查变频器的输入电源电压
A0503	欠电压限幅	供电电源故障 供电电源电压和直流回路电压 (r0026) 低于规定的限幅值	检查变频器的输入电源电压

(续)

故障代码	故障现象/类型	故障原因	解决对策
A0505	变频器的 I^2t 过温	变频器的 I^2t 超过了报警电平, 如果进行参数化 (P0610 = 1), 将降低变频器允许的输出电流	检查负载状态和“工作—停止”周期时间必须在规定的限制值以内
A0511	电动机的 I^2t 过温	电动机过载 电动机的工作周期时间太长	检查以下各项情况: 1. P0611 (电动机的 I^2t 时间常数) 的数值应设置适当 2. P0614 (电动机的 I^2t 过载报警电平) 的数值应设置适当
A0600	RTOS 超出限制范围报警	超出内部的时间限制范围	检查参数设置是否正确
A0910	U_{dc-max} 控制器未激活	输入电源电压持续过高 电动机由负载带动旋转, 使电动机处于再生制动方式下运行, 就可能出现这一报警信号 在斜坡下降时, 如果负载的转动惯量特别大, 就可能出现这一报警信号	检查以下各项情况: 1. 输入电源电压必须在允许范围以内 2. 负载必须匹配
A0911	U_{dc-max} 控制器已激活	直流回路最大电压 U_{dc-max} 控制器已激活, 因此, 斜坡下降时间将自动增加, 从而自动将直流回路电压 (r0026) 保持在限定值 (P2172) 以内	检查以下各项情况: 1. 电源电压不应超过铭牌上所标示的数值 2. 斜坡下降时间 (P1121) 必须与负载的惯量相匹配
A0923	同时要求正向点动和反向点动	同时要求正向点动和反向点动, 斜坡函数发生器 (RFG) 的输出频率将停留在其当前值不动	检查点动参数设置是否正确, 不要同时按下正向点动和反向点动按钮

6.2 西门子变频器的故障检修实例

故障实例 1

故障现象: 一台 6SE48 系列变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 “powersupplyfailure” 故障信息。

故障分析与处理: 显示 “powersupplyfailure” 故障信息一般是变频器的直流控制电压的供电电源出现故障, 可能有以下几种原因:

1) 电源板故障。即电源和信号检测板有问题, 这又分为两种情况: 一种情况是直流电压超过限制值, 正常所供给的直流电压有一定的上、下限, P24V 不能低于 +18V, P15V 为 +15V, N15V 为 -15V, 三者的绝对值均不能低于 13V, 否则电子线路板会因无合适的直流电压而不能正常工作。这块电源板上有整流滤波等大功率环节, 因此使用时间长了以后, 容

易产生过热而损坏；另一种情况是开关电源的故障，首先用替换法检测信号检测板，若故障依旧，检查电源板各点电压，若电压异常，用替换法检查电源板。

2) 电容器容量发生变化。变频器经过一段时间的运行后，3300 μ F 的电容器有一定程度的老化，电容里的液体泄漏，导致变频器的储能有限。一般运行 5~8 年后才开始有此类问题，这时需要对电容进行检测，发现一定数量的电容容量降低后，必须进行更换。在电容的更换过程中，也容易出现两个问题：一是电容和电源板的间隙较近，中间有安装孔，电容较易通过安装孔对电源板放电而引起故障；二是电容安装螺钉容易起毛刺，如果安装不牢固，也容易引起电容放电，不能正常开机。

故障实例 2

故障现象：一台 6SE48 系列变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 “inveteru” or “invetervorw” 故障信息。

故障分析与处理：显示该故障信息，一般为逆变模块中的一个开关管的峰值电流 I_M 大于 3 倍的额定电流，或者逆变模块的一相驱动电路有故障。这种故障发生后，可引起变频器输出端发生短路，也可因不正确的设定，导致电动机振动明显。检修时一般有两种情况：

1) 驱动板故障。西门子变频器进行脉宽调制时，使脉冲系列的占空比按正弦规律变化。调制波为正弦波，载波为双极性的等腰三角波，调制波和载波的交点决定了逆变桥输出相电压的脉冲系列。驱动板包括一个分辨率可达 0.001Hz，最大频率为 500Hz 的数字频率发生器和一个生成三相正弦波系统的脉宽调制器，这个调制器在恒定脉冲频率 8kHz 下异步运行。它产生的电压脉冲交替地导通和关断同一桥臂的两个开关功率器件。驱动板发生故障，就不能正常地产生电压脉冲，对此可用替换法检查驱动板是否正常。

2) 逆变模块故障。西门子变频器采用的逆变器件是 IGBT，IGBT 的控制特点是输入阻抗高，栅极电流很小，故驱动功率小，只能工作在开关状态，不能工作在放大状态。它的开关频率可达到很高，但抗静电性能较差。IGBT 是否出故障，可以用万用表欧姆挡进行测量判断。具体的步骤如下：

① 断开变频器电源。

② 断开所控制的电动机。

③ 用万用表测量输出端和 DC 连接端 A、D 的电阻值，通过改变万用表的极性测量两次，若变频器的 IGBT 完好，则应是：从 U_2 到 A 为低阻值，反之为高阻值；从 U_2 到 D 为高阻值，反之为低阻值。其他相也是如此，当 IGBT 断路时，两次都是高阻值，若短路时都是低阻值。

故障实例 3

故障现象：一台 6SE48 系列变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 “pre - charging” 故障信息。

故障分析与处理：显示该故障信息的原因是变频器上电起动后，DC 直流电压充电有一个时间上的监控，在此期间若发生不允许的情况，则预充电停止。出现这种故障时检修预充电元件，测量预充电电阻阻值，并检查控制预充电的继电器是否能正常吸合。检修时分四种情况：

1) 检查直流电路部分是否短路。将电源隔离，测量 A 和 D 之间的电阻值，因有续流二极管的并入，需注意万用表的极性。如果发现短路，将电容断开后，再测量 A 和 D 之间的

电阻值,看是否是直流电路部分短路,还是变频器的某相故障。

2) 检查整流桥。将元件断开电源,手动接通交流接触器 K1,再在电源端测量 U1、V1、W1 对 A 和 D 的电阻值,即测量整流桥的二极管是否正常。

3) 能耗电阻。断开负载电阻,检查能耗电阻是否正常。

4) 开关电源的变压器。检查变压器是否短路。

故障实例 4

故障现象:一台 6SE48 系列变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“pulsedresistor”故障信息。

故障分析与处理:显示该故障信息为能耗电阻过载,产生的原因有 3 个方面:再生制动电压过高,制动功率过高或制动时间过短。能耗电阻是一个附加元件,通常在负载是大惯性或位能负载时,设置有能耗制动单元,它的作用主要是在电源开起、关断状态或在加载状态时,动态地限制 D、A 线上的过电压。该变频器的能耗电阻选用了 $7.5\Omega/30\text{kW}$ 的电阻。若变频器在使用多年后,由于变频器起停次数较多,引起电阻发热,阻值可能有所下降。检查发现变频器的能耗电阻的阻值约为 7.1Ω ,判断为能耗电阻减小而导致上述故障从而不能正常开机。改用同功率的阻值约在 8Ω 的电阻,变频器上电运行正常。在逆变器的 IGBT 部分有故障时,引起再生反馈电流过大,也会引起能耗电阻过载故障。

故障实例 5

故障现象:一台 6SE48 系列变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“overtem - perature”故障信息。

故障分析与处理:显示该故障信息的原因是因为变频器的温度过高。变频器的发热主要是逆变器件引起的,逆变器件也是变频器中最重要而又最脆弱的部件,所以用来测温的温度传感器 (NTC) 也装在逆变器件上。当温度超过 60°C 时,变频器通过一个信号继电器来预报警;当达到 70°C 时,变频器自动停机,来进行自我保护。过热一般由以下五种情况引起:

1) 环境温度高。变频器安装地点的环境温度高,对此可将变频器的入风口加冷风管道,来帮助变频器散热。

2) 风扇故障。变频器的冷却风机是一个 24V 的直流电动机,若出现风机轴承损坏或线圈烧坏,风机不转,即可引起变频器过热。

3) 散热片太脏。在变频器的逆变器的背后装有铝片散热装置,运行时间长以后,由于静电的作用,外面会覆盖灰尘,严重影响散热器的效果。所以要定时吹扫和清理。

4) 负载过载。变频器所带负载长时间过载,引起发热,这时要检查电动机、传动机构和所带负载。

5) 温度传感器故障。温度传感器的阻值随着温度升高而降低,可用替换法检测温度传感器是否正常。

故障实例 6

故障现象:一台 6SE48 系列西门子变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“ground-fault”故障信息。

故障分析与处理:显示该故障信息一般为变频器的输出端接地,或者因为电缆太长,对地产生一个太大的电容而引起。接地故障有以下几种情况:

1) 所带电动机接地。电动机在运转过程中,由于轴承或线圈发热的原因,使电动机线

圈的某相接地或绝缘性能变差,造成接地故障。这时需对电动机进行检修。

2) 所接电缆接地。连接电动机和变频器的电缆破损或过热引起绝缘性能变差,也容易引起接地故障。

3) 变频器内部故障。在变频器长时间运行后,内部线路板绝缘性能变差,也会引起对地绝缘电阻偏小,这时需对变频器线路板做绝缘处理,断电后喷绝缘漆,可消除此故障。

故障实例7

故障现象:一台6SE70系列变频器上电自检完成后,内部继电器K3吸一下就跳。

故障分析与处理:在变频器上电时观察发现连接X9的7点与9点闭合一下马上断开(K3的常开点外接主电路接触器线圈),测量各点输出电压正常,断电测量电流检测板A1的第4脚与第6脚之间的电阻值为 2140Ω (正常电阻值为 3200Ω),更换电流检测板后,变频器上电运行正常。

故障实例8

故障现象:一台SAMCO-I变频器停机时过电压跳闸。

故障分析与处理:变频器的设置参数很多,如果个别参数设置不当,会导致变频器不能正常工作。过电压出现在停机时,主要原因是减速时间太短(若无制动电阻及制动单元),因电动机转速大于同步转速,转子电动势和电流增加,使电动机处于发电状态,回馈的能量通过逆变单元中与开关管并联的二极管至直流环节,使直流母线电压升高。在工艺允许的前提下,调整减速时间参数后,故障可消除。

故障实例9

故障现象:一台6SC3716-6FG03-Z变频器的操作控制面板PMU显示屏显示“126FUSEBLOWN”或“337BLOWNFUSEINV2”故障信息。

故障分析与处理:6SC3716-6FG03-Z变频器的主电路原理简图如图6-1所示。在图6-1中,A1与A2,A3与A4,A6与A7电路结构均完全相同。故障检查或维修前,需先切断电源,将变频器的输入变压器进线侧的高压柜断路器分断后摇出,并将变频器A1、A2进线柜主开关断开,且需等电容放电完毕后(断电8min),方可打开柜门进行维修,切忌停机后立即进行检查。因变频器额定运行时,其直流母排电压可达到1000V左右,且滤波电容为电解电容,数量达120个,单个容量为 $6800\mu\text{F}$,储存了大量的电能,停机后需待电容模块前的电压平衡电阻将其放电,电压降低后(其放电时间为8min),方可开柜进行检查。

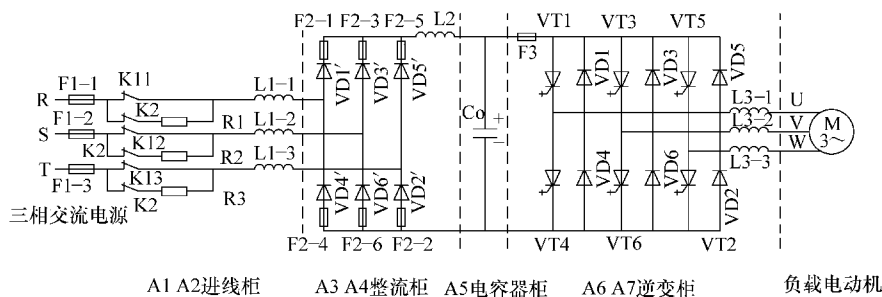


图 6-1 变频器的主电路原理简图

显示“126FUSEBLOWN”或“337BLOWNFUSEINV2”故障信息一般为逆变直流输入快

熔两端的电压值超过 20V 或快熔熔断或安装不牢, 导致接触电阻过大。检查 A6、A7 柜中的 F3, 发现快熔 F3 已熔断, 在检查逆变单元正常后, 更换快熔 F3, 静态检查变频器正常后, 变频器上电运行正常。

故障实例 10

故障现象: 一台 6SC3716 - 6FG03 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“332BLOWNFUSERECT2”故障信息。

故障分析与处理: 显示“332BLOWNFUSERECT2”故障信息一般为 A3、A4 柜整流模块中至少有一个快熔已经熔断, 致使其相应的快熔监视器输出动作, 停机并显示相应故障信息。此时应首先仔细检查 A3、A4 柜中整流模块的 F2 - 1、F2 - 2、F2 - 3、F2 - 4、F2 - 5、F2 - 6 快熔是否烧毁, 同时还需检查以下项目:

1) 对整流模块中整流二极管 VD1'、VD2'、VD3'、VD4'、VD5'、VD6' 进行检查, 用万用表的二极管挡仔细测量上述二极管的正向、反向电阻值, 看二极管有无反向击穿, 如若发现反向电阻值变小或接近零, 应对其进行更换。

2) 仔细检查整流后的直流电路有无短路或异常, 直流回路中的正、负极母排间绝缘板有无绝缘击穿、老化、烧焦等痕迹, 正、负极母排尖角及转变处有无拉弧短路, 母排是否因长期发热变形或短路电流的热效应致使母排碰壳或对地短路。

3) 仔细检查 A5 柜中的各电容有无发热、变形、鼓泡, 其顶部橡胶安全阀有无破裂。

4) 仔细检查快熔两端连接是否牢固, 快熔监视器输入、输出线接头插入是否牢固。

5) 仔细检查控制柜中的线路板各插头连接是否可靠, 有无松动, 线路板中的熔断器有无烧毁, 必要时更换。

故障实例 11

故障现象: 一台西门子变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“125INVOVERCURRENT”、“329OVERCURRENTINV2”故障信息。

故障分析与处理: 当变频器一相或多相输出电流在 15ms 内连续或两次超过设定过电流值的允许次数时, 显示此故障信息。此时应认真对以下项目进行检查:

1) A6 柜、A7 柜电流检测部分, 即输出电抗器 L3 - 1、L3 - 2、L3 - 3 的极性是否接反。

2) 输出电抗器 L3 - 1、L3 - 2、L3 - 3 至控制柜中的线路板之间的连接线是否牢固, 插头有无松动。

3) 对控制柜中的元器件进行系统地检查。

故障实例 12

故障现象: 一台西门子 6SC3716 - 6FG03 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“129Ud > max”、“335Ud2 > max. VALUE”故障信息。

故障分析与处理: 显示 129 故障信息表示主电路电容滤波部分直流母线电压已超过其最大电压值。显示 335 故障信息表示逆变部分直流母线电压已超过其最大电压值。此时应对以下项目进行检查:

1) 检查取样反馈回路有无故障。

2) 检查变频器内部相应参数设置, 电动机最大转矩是否设置太高, 如果太高, 进行相应调整。

3) 用万用表检查输入电源电压, 看输入电压是否在允许范围内, 是否存在输入电压过

高的问题，如输入电压长期过高，可通过调整变压器高压侧分接开关抽头的位置来改变输出电压。

4) 电网电压是否稳定，是否存在瞬时高压的可能。相当一部分故障报警是由瞬时高压所造成的。

故障实例 13

故障现象：一台西门子 6SC3716 - 6FG03 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“137INV. OVERTEMP”、“340OVERTEMP. INV. 2”故障信息。

故障分析与处理：显示 137 故障信息表示整流柜内温度开关或逆变柜冷却风机温度检测电路板输出继电器动作时间超过 4min。显示 340 故障信息表示逆变柜内温度开关或整流柜、逆变柜冷却风机温度检测电路板输出继电器动作超过 4min。此时应对以下项目进行仔细检查：

- 1) 冷却风机三相电源连接是否正常，接头是否松脱，电动机有无反转。
- 2) 冷却风机转动时，机械噪声是否过大，冷却风机转速是否偏慢。如果出现此种情况，停机后用手试转，看其轴承转动是否灵活，有无机械卡死或杂音，如存在此种情况，及时更换轴承。
- 3) 环境温度是否过高（高于 40℃），房间门窗是否过于严实，致使房间整体通风量不够，热量不易散发。此时应注意加强通风，改善周围环境温度，有条件的可采用墙侧底部进风，房屋顶部排风的方式，以加强空气对流。
- 4) 整流柜、逆变柜内温度开关老化，致使其误动作，应检查更换。
- 5) 整流柜或逆变柜冷却风机温度检测电路板损坏，应检查更换。
- 6) 整流柜或逆变柜冷却风机温度检测元件老化，致使冷却风机温度检测电路板误动作，应检查更换。

故障实例 14

故障现象：一台西门子 6SC3716 - 6FG03 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“132PRECHARGET > max”故障信息。

故障分析与处理：显示该故障信息的原因是在允许的预充电时间（可通过 S50 中的 P393 子程序进行设定）内直流母线电压没有达到预充电电压的设定值（此值与额定输入电压有关）。此时应对以下项目进行检查：

- 1) 仔细检查 A1、A2 柜内的预充电接触器 K2 和预充电电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 是否完好，电气连接是否正常。
- 2) 整流部分有无故障。
- 3) 直流部分有无短路或松脱。
- 4) 设定的额定电压是否高于实际输入电压，或电网电压波动致使电压偏低，输入电源电压已低于设定额定电压 10% 以上。如额定电压设定不对，需对 S43 中的 P545 重新设定；如电网电压暂时偏低，需待电网恢复正常并且稳定后方可开机。
- 5) 检查预充电控制电路板是否损坏，若损坏应更换。

故障实例 15

故障现象：一台西门子 6SC3716 - 6FG03 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示“133M - CONTACTOR”故障信息。

故障分析与处理：显示该故障信息表示主接触器或风扇合闸指令发出以后，控制线路无法检测到主接触器或风扇合闸的反馈信号。此时主要检查以下项目：

- 1) 进线柜 A1、A2 中的主接触器 K11、K12、K13 是否合闸，有无故障。或合闸后，其所有控制触头接触是否良好。
- 2) 相应的控制线或反馈线是否有电气开路现象。
- 3) 控制柜 A8 内的 IST 电路板中的 X42 插头 3、4 端连接是否牢固。
- 4) 控制柜 A8 内的 IST 模块是否损坏，若损坏应更换。

故障实例 16

故障现象：一台西门子变频器不能与 PROFIBUS - DP 通信，变频器上的红灯一直亮。

故障分析与处理：首先检查变频器与 PROFIBUS - DP 相关的参数：P0700、P0719、P0918、P1000，若都设定正确，再对网线或网卡进行检查，检查网线正常，采用替换法替换网卡后，变频器与 PROFIBUS - DP 通信正常。

故障实例 17

故障现象：一台 MM430 型 7.5kW 变频器工作电源“打嗝”，操作面板无显示。

故障分析与处理：MM430 变频器的安装结构比较特殊，三块线路板与散热板环绕成四方形，外嵌壳体。拆开线路板的连接，线路板为四层板，检修电路的难度较大。从开关电源电路入手，先用排除法将负载电路逐一切除，开关电源还是不能良好起振，说明“打嗝”不是由负载过重而引起。查振荡与稳压回路也无异常。最后查出为开关管截止分流回路的两只 200V 稳压管击穿损坏。一般的分流（也称反峰电压吸收）回路，是采用一只二极管和阻容并联电路串联后，再与开关变压器一次绕组并联的，其二极管接法相似于一般线圈回路的续流二极管接法，作用也是在开关管趋于截止期间，将一次绕组回路的电能快速释放，以使开关管更快地截止。但该电路是从 P+ 端串联两只正向连接的 200V 稳压管，再串联两只阻值为 360k Ω 的热敏电阻到开关管的漏极，其回路也是并联在一次绕组上。当开关管趋于截止，一次绕组中电流的急剧减小引起绕组反电动势的急剧上升，与电源电压相叠加高于 P+ 电压 400V 以上时，此保护回路击穿导通，将此能量泄放回电源。当反电动势能量较小时，流过两只热敏电阻的电流较小，其温升也较小，阻值较大，对能量的泄放也较慢。当反电动势能量较大时，随泄放电流的增加，电阻温升上升，阻值减小，又加快了能量的泄放。采用 4 只 110V 稳压管代用，开关电源恢复正常，变频器上电运行工作正常。

故障实例 18

故障现象：一台西门子 MM440 型 200kW 变频器上电后，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [-----] 故障信息。

故障分析与处理：西门子 MM440 型 200kW 变频器上电显示 [-----] 故障信息，一般是因为主控板出问题，原因是在安装的过程中没有严格遵循 EMC 规范，强、弱电缆没有分开布线，接地不良并且没有使用屏蔽线，致使主控板的某些元件（如贴片电容、电阻等）或 I/O 口损坏，但也有个别问题出在电源板上。用替换法替换一块主控板后，检查变频器外部布线正常，变频器上电后运行正常。

故障实例 19

故障现象：一台 MM4/MM3 变频器上电后，操作控制面板 PMU 显示屏显示正常，一运行即显示过电流[F0001]（MM4）[F002]（MM3）故障信息，即使空载也一样。

故障分析与处理：MM4/MM3 变频器上电运行操作控制面板 PMU 显示屏显示该故障信息，说明 IGBT 模块损坏或驱动板有问题，需对 IGBT 模块和驱动电路进行检查。经检查为 IGBT 模块损坏，这种故障的原因一般是因为变频器多次过载或电源电压波动较大（特别是偏低）使得变频器脉动电流过大，主控板 CPU 来不及反应而造成的。更换 IGBT 模块后，检查驱动电路无异常，变频器上电运行正常。

故障实例 20

故障现象：一台 MM3 型 30kW 变频器在使用的过程中经常“无故”停机，再次开机可能又是正常的。

故障分析与处理：在对变频器主电路检查发现上电后主接触器吸合不正常，有时会掉电或抖动。结合故障现象分析故障原因为主接触器控制回路故障，在对主接触器控制回路检查时发现由变频器内开关电源引出到主接触器线圈电源的滤波电容漏电造成电压偏低，这时如果供电电源电压偏高还问题不大，如果供电电压偏低就会使接触器吸合不正常造成无故停机。更换此滤波电容后，变频器上电运行正常。

故障实例 21

故障现象：一台 MM4 型 22kW 变频器上电后，操作控制面板 PMU 显示屏显示正常，一给运行信号就显示出 [P----] 或 [----] 故障信息。

故障分析与处理：在对变频器进行检查时发现冷却风扇的转速不正常，把风扇停掉后，变频器又会显示 [F0030]，并发出报警信号，显示 [F0021、F0001、A0501] 故障信息。结合故障现象分析故障原因为风扇供电回路故障。在故障查找中先给变频器运行信号然后再把风扇接上去就不显示 [P----] 故障信息，但是，接上一个风扇时，风扇的转速是正常的，输出三相也正常，第二个风扇再接上时风扇的转速明显不正常。进一步确认故障部位为风扇电源板。经对风扇电源板检查发现由变频器内开关电源引出来的电源回路的滤波电容漏电造成风扇电源电压降低，更换此滤波电容后，变频器上电运行正常。

故障实例 22

故障现象：一台 75kW 的 MM440 变频器，安装好以后开始时运行正常，半个多小时后电动机停转，可是变频器的运转信号并没有丢失却仍在保持，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [A0922] 故障信息（变频器没有负载）。

故障分析与处理：测量变频器三相输出端无电压输出，将变频器手动停止，再次运行又恢复正常。正常时面板显示的输出电流是 40 ~ 60A。过了二十多分钟同样的故障现象出现，这时面板显示的输出电流只有 0.6A 左右。经分析判断是驱动板上的电流检测单元出了问题，用替换法更换驱动板后，变频器上电运行正常。

故障实例 23

故障现象：一台 M420 变频器在运行过程中，经常突然停机，重新启动，又能运行。

故障分析与处理：检查变频器的参数设置都正确，怀疑 PROFIBUS - DP 线路有问题，重新换一根 PROFIBUS - DP 导线，故障仍然存在。接上编程器查看变频器起动条件，所有的起动点都不可能断开，只有从站 PLC 与主站 PLC 通信之间的起动点可能断。经过观察，从站 PLC 与主站 PLC 通信之间的起动点在很短的时间内出现断了又恢复正常的现象，对此增加一个断电延时继电器后，变频器上电后运行正常。

故障实例 24

故障现象：一台 MM3 变频器上电后，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F231] 或 [F002] 故障信息。

故障分析与处理：西门子 MM3 变频器上电后面板显示 [F231] 或 [F002] 故障信息一般有两种可能：常见的是由于电源驱动板有故障，也有少部分是因为主控板故障引起的。采用替换法先替换电源驱动板，变频器上电后面板仍显示 [F231] 或 [F002] 故障信息，判断故障肯定在主控板，替换主控板后，变频器上电运行正常。

故障实例 25

故障现象：一台 MDV 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F231] 故障信息。

故障分析与处理：可先拆下变频器与电动机的连线（U、V、W）后起动变频器，如果正常，则是外部的问题，如果故障依旧，一般为模块或驱动电路故障，应对模块和驱动电路进行全面检查。

其常见故障是驱动电路损坏造成输出模块损坏，其主要原因是：光电隔离器 4506 输出的上拉电阻损坏短路，使得 4506 的输入无论是高电位还是低电位，输出送到 T95 的信号始终是高电位。变频器运行时，造成同一桥臂两个开关元件同时导通而损坏逆变模块。

西门子 MDV 变频器从 15 ~ 37kW 的变频器的驱动板是通用的，45 ~ 90kW 的驱动板是一样的，其驱动电路一般用 HCNW4506 型驱动光耦，这个光耦的故障率比较高，同时还有其周边的二极管、晶体管，如：TG92、Z2Y2Y4 等，如果损坏或性能不好，都会影响到逆变模块。

故障实例 26

故障现象：一台 MM4 变频器上电后，操作控制面板 PMU 显示屏无显示，面板的绿灯不亮，黄灯快闪。

故障分析与处理：这种故障现象说明变频器整流和开关电源工作基本正常，问题可能在开关电源的某一路整流二极管击穿或开路，用万用表测量开关电源的几路整流二极管，确认故障二极管后更换一个同规格的整流二极管后，变频器上电后运行正常。引起这种故障的原因一般是整流二极管的耐压偏低，电源脉冲冲击造成二极管击穿。

故障实例 27

故障现象：一台 MM4 变频器有时操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F0022、F0001、A0501] 故障信息不定，敲击机壳或动一动面板和主板时能恢复正常。

故障分析与处理：这种故障现象一般属于接插件或焊接点接触不良的问题，首先检查各部位接插件的接触是否良好，可对接插件进行重新插接。再检查线路板上的电子元器件的焊接质量，对怀疑有焊接质量问题的部位进行补焊，通常可以排除故障。

故障实例 28

故障现象：一台 MM440 型 200kW 变频器，由于负载惯量较大，起动转矩大，设备起动时频率只能上升到 5Hz 左右就再也上不去，并且报警，显示故障代码 [F0001]。

故障分析与处理：首先对变频器硬件进行检查，没有发现问题，再对设置的参数做进一步检查，发现参数设置不当，因控制方式采用矢量控制方式，在正确设定电动机的参数，建立电动机模型后，起动变频器运行一切正常。

故障实例 29

故障现象：一台 MM440 变频器上电后，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F0001] 故障信息，并跳停。

故障分析与处理：针对过电流故障应首先区分过电流跳闸是由负载的原因还是由变频器的原因引起的，如果通过变频器的故障历史记录查询到跳闸时的电流超过了变频器的额定电流或者电子热继电器的设定值，而三相电压和电流是平衡的，则应考虑是否过载或负载突变，如电动机堵转等。在负载惯性较大的场合，可适当延长加速时间。若跳闸时的电流在变频器的额定电流或者电子热继电器的设定值范围内，可判定 IGBT 模块或相关部分发生故障。

如果是减速时 IGBT 模块过电流或是变频器对地短路跳闸，一般是逆变桥的上半桥的模块或其驱动电路部分发生故障，而加速时 IGBT 模块过电流则是下半桥的 IGBT 模块或其驱动电路部分发生故障。因故障表现为上电后过电流跳闸，故对下半桥的 IGBT 模块或其驱动电路进行检查。首先通过测量变频器主回路端子输出三相 U、V、W 分别与直流侧的 P、N 端子之间的正、反向电阻来判断 IGBT 模块是否损坏，检查判断 IGBT 模块已损坏。再对驱动电路进行检查，驱动电路工作正常。更换下半桥的 IGBT 模块后，变频器上电后运行正常。

故障实例 30

故障现象：一台 MM420/MM440 变频器的 AOP 操作控制面板仅能存储一组参数。

故障分析与处理：变频器选型手册中介绍 AOP 操作控制面板中能存储 10 组参数，但在用 AOP 面板做第二台变频器参数的备份时，显示“存储容量不足”。造成这种现象的原因可能是设计时 AOP 面板中的内存不够。对此类问题的解决办法如下：

- 1) 在菜单中选择“语言”项；
- 2) 在“语言”项中选择一种不使用的语言；
- 3) 按 Fn + Δ 键选择删除，经提示后按 P 键确认。

这样，AOP 面板就可存储 10 组参数。

故障实例 31

故障现象：一台西门子 MIDIMASTERVector (22kW) 变频器在调试中，起动后操作控制面板 PMU 显示屏显示过电流故障信息，并跳停。

故障分析与处理：经检查发现由于工艺设计变更，电动机的实际功率为 30kW，存在变频器和电动机容量不匹配的现象。首先将变频器的控制模式选为矢量控制，在输入电动机参数后，变频器自动将电动机的额定电流 60A 限定在 45A，因电动机铭牌上无功率因数数值，按变频器手册的要求，将其设定为 0，在做自动辨识 (P088 = 1) 后起动电动机时，变频器过电流跳闸。再将变频器控制模式改为 U/f 控制，情况依旧。为此对设定的电动机参数进行检查，发现功率因数为 1.1，将其改为 0.85 后，变频器上电后运行正常。

因变频器和电动机容量不匹配，变频器依据在输入电动机参数进行计算时会产生不正确的结果，在遇到这种情况而暂时无法解决匹配问题时，一定要在变频器自动辨识电动机后，检查是否存在不合适的参数。

故障实例 32

故障现象：一台 6SE7036 变频器起动后运行一段时间后跳闸，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F023] (逆变器超出极限温度) 故障信息。

故障分析与处理：首先检查冷却风机电源熔断器，发现冷却风机电源熔断器熔断。因为冷却风机电源熔断器已熔断导致冷却风机不工作，从而使变频器温度过高而跳闸。在对冷却风机电源回路检查无异常后，更换冷却风机熔断器后，变频器上电后运行正常。

故障实例 33

故障现象：两台 440 变频器（5.5kW）实现同步运转，其中一台 5.5kW 变频器在运行中操作控制面板 PMU 显示屏经常显示 [F0011 或 A0511] 故障信息，并跳停。

故障分析与处理：变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F0011 或 A0511] 故障信息表示电动机过载，脱开电动机皮带用手盘动电动机及设备，没有异常沉重现象，将两台变频器拖动的电动机互换，发现还是原来那台变频器报警，从而确定故障出在变频器。对故障变频器拆机检查发现电流检查电路传感器故障，更换传感器后，变频器上电后运行正常。

故障实例 34

故障现象：一台 6SE7023-4TA61-Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [008] 故障信息。

故障分析与处理：首先检测 15V 电压（正常为 15V），若没有 15V 电压，K1 已经闭合，再检测 Q3 发射极，若有 15V 电压，基极电压正常，可初步判断为 Q3 损坏。更换 Q3 后送电，起动变频器运行一切正常。

故障实例 35

故障现象：一台 6SE7022-4TA61-Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [008] 报警。

故障分析与处理：根据故障现象初步判断故障在 CUV C 板。更换 CUV C 板后，变频器运行正常，说明故障在 CUV C。检测 CUV C 板发现 R652 和 R658 损坏，更换 R652 和 R658 后送电，起动变频器运行一切正常。

故障实例 36

故障现象：一台 6SE7036 变频器电源侧失电后，再次上电，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F008] 故障信息。

故障分析与处理：6SE7036 变频器在电源侧失电后，再次上电，变频器控制面板则显示 [F008] 故障信息，对此故障信息在恢复供电后，按 P 键复位即可。

故障实例 37

故障现象：一台西门子变频器起动自检完毕，开机操作控制面板 PMU 显示屏显示 [008] 故障信息。

故障分析与处理：显示 [008] 故障信息是起动封锁，一般，故障复位以后，要将“使能”、“ON/OFF1”置 0，如果仍然在 [008] 状态，要检查系统的“OFF2”是否置 0；或硬件的“紧急停车”端子是否开路；或功率定义错了（例如功率定义应为 43，结果定义成 36）。若上述检查正常，则检查比较状态字参数是否有问题，如果状态字正常，应检查变频器电路板。检查触发板 A21 集成电路 9 脚外接的 7.5kΩ 电阻，变值为 298kΩ。更换新电阻后，变频器上电运行正常。

故障实例 38

故障现象：一台 6SE7023-4TC61-E 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [008] 故障信息。

故障分析与处理：检查底板电源 N3 正常，N2 第 20 脚输出电压为 14.50V（稍微偏低，正常值为 15.30V），N5 第 2 脚电压为 5.6V。在测量时，电源发出“滋滋”响声，查为第 1 脚处外接 100k Ω 电阻、CUVC 板连接器 X239A 第 20 脚接 3.3k Ω 电阻烧坏，更换后，变频器上电运行正常。

故障实例 39

故障现象：一台 6SE7021 - OTA61 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F008] 故障信息，复位后显示 [009] 开机准备，变频器启动，加入给定频率 20s 后，显示 [F008] 故障信息。

故障分析与处理：检测集成块 N1（TL084）3 脚的电阻 R209 由 4.7 Ω 变值为 888k Ω ，14 脚电阻 R203 由 4.7 Ω 变值为 185k Ω 。更换新电阻后，变频器上电运行正常。

故障实例 40

故障现象：变频器上电自检完后，变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F008] 故障信息，复位后显示 [009]，但不能启动。

故障分析与处理：检查触发电路部分的晶体管 V17（5C）集电极电阻 R152，阻值为 1.69k Ω ，正常时的电阻值应为 1.275k Ω （4 只 5.1k Ω 贴片电阻并联），其中一只电阻烧坏。更换一只新电阻后，变频器上电运行正常。

故障实例 41

故障现象：变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F008] 故障信息，变频器上电自检，显示 [009] 开机准备状态，但是随后显示 [F008] 故障信息不能启动。

故障分析与处理：检查底板电压、电流检测部分，在线测量 R56 的阻值为 4.3k Ω ，正常值为 900 Ω ，用热风枪拆下测量阻值为 1M Ω ，说明已经烧坏。更换新电阻后，变频器上电运行正常。

故障实例 42

故障现象：变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [008] 故障信息。

故障分析与处理：检查触发板 A21 的集成块，9 脚外接 7.5k Ω 电阻，变值为 298k Ω 。更换新电阻后，变频器上电运行正常。

故障实例 43

故障现象：变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [008] 故障信息，不能复位。

故障分析与处理：将变频器重新初始化，输入参数，显示 [009] 开机准备状态。变频器带负载上电，加入给定频率，输出正常。5min 后，K3 继电器带外接主接触器出现断续的掉电声，停电检查变频器，更换一块新 CUVC 板，开机后变频器故障依旧。停电检查变频器主板，检测到 N5（MC33167T）集成块时，电源发出“滋滋”声，断电，用万用表电阻挡检查，发现接 1 脚的 100k Ω 电阻烧坏。底板控制 K3 继电器晶体管 V12 基极电阻变值为 4k Ω ，正常值应为 2.2k Ω 。更换损坏的贴片电阻后，变频器上电运行正常。

故障实例 44

故障现象：一台 6SE70 系列变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F011] 故障信息。

故障分析与处理：检查电压检测集成电路 N1（TL084）7 脚外接 47 Ω 电阻变为 15 Ω ，V2（IRF520）G 极保护电阻由正常阻值 10 Ω 变为 340k Ω 。更换两故障电阻后，变频器上电

运行正常。

故障实例 45

故障现象：一台 6SE70 系列变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F011] 故障信息，并跳停，且变频器有焦糊味。

故障分析与处理：测量 N2 第 20 脚输出电压只有 5.1V，1 脚输出电压为 16.5V。检查发现 N2 第 9 脚接 1k Ω 电阻烧坏，N5 第 1 脚接 100k Ω 电阻变为 20M Ω ，3 脚外接 10 Ω 电阻变为 2M Ω ，触发板 A22 第 3 脚与第 4 脚接 4.7k Ω 电阻烧坏。更换损坏电阻后，变频器上电检测 N2 各引脚电压正常，恢复接线后，变频器上电运行正常。

故障实例 46

故障现象：一台 6SE7023-4TA61-Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F011] 故障信息。

故障分析与处理：首先更换 CUV C 板后，故障依旧，说明问题在底板。因互感器的检测信号是经 AL 再通过 TL084 给 CUV C，如果该信号大于设置的电流将会停止电动机运行，并发出报警信息。用万用表电阻档测 TL084 周边电阻发现 7 脚输出电阻 R44 (47 Ω) 变为无穷大致使信号阻断。更换新电阻后，变频器上电运行一切正常。

故障实例 47

故障现象：一台 6SE7023-8TA61-Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F011] 报警信息。

故障分析与处理：更换 CUV C 板后，变频器运行一切正常，说明故障在 CUV C 板。用万用表检查 CUV C 板，将万用表黑表笔接触 2，红表笔接触 1，测其阻值偏大，正常值应为 2.91k Ω ，再查 R521、R523、R526 阻值也变大。更换故障电阻后，变频器上电运行一切正常。

故障实例 48

故障现象：一台 MM440 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F0001] 故障。

故障分析与处理：MM440 变频器通常在使用一段时间后，由于现场环境的原因（粉尘、腐蚀、潮湿等）会出现上电报 [F0001] 故障，按 Fn 键不能复位的现象。[F0001] 是变频器过电流，结合变频器在没有起动、运行的情况下显示过电流信息，分析有以下几点可能（首先将电动机脱开，排除电动机短路、接地故障的可能）：

- 1) IGBT 损坏。这种故障最好判断，用普通万用表做静态阻值测量就能大致确定。
- 2) 接插件腐蚀、氧化，接触不好。这种故障也不难判断，只要将变频器上电，将接插件重新插拔几次，并且在上电的情况下，一边动一边按 Fn 键，看能否复位，如果偶尔出现过能复位的情况，则极有可能是接插件接触问题所致。
- 3) 电路板上元器件损坏、变值。这种情形是在排除以上两种可能的情况下做出的怀疑，既然是过电流，当然要从电流检测电路单元查起。

按照上述分析，首先检测 IGBT 模块，将负载侧 U、V、W 端的导线拆除，使用二极管测试挡，红表笔接 P（集电极 C_1 ），黑表笔依次测 U、V、W，万用表显示数值；将表笔反过来，黑表笔接 P，红表笔测 U、V、W，万用表显示数值。再将红表笔接 N（发射极 E_2 ），黑表笔测 U、V、W，万用表显示数值；黑表笔接 P，红表笔测 U、V、W，万用表显示数值。若万用表显示的数值是各相之间的正、反向特性差别较大，初步判断为 IGBT 模块损坏。更换新的 IGBT 模块后，对驱动电路进行检查正常，变频器上电运行正常。

故障实例 49

故障现象：一台 6SE7016 - 1TA61 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F002] 故障信息。

故障分析与处理：首先检查母线直流电压正常，说明底板电压检测系统出现故障。经检测直流母线电压经电阻串联通过 TL084 传输信号给 CUVc 板，如果检测电压低于参数 P071 所设置的数值将会停止电动机的运行，并发出报警信息。用万用表电压挡测 TL084 端无电压（正常值为 2.38V），再用电阻挡测串联的 30 个电阻发现有两个电阻因腐蚀已经断路，致使信号无法传递。更换电阻后，变频器上电运行一切正常。

故障实例 50

故障现象：一台 6SE7022 - 6TA61 - E 变频器上电初始运行正常，10s 后就跳闸，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F006] 故障信息。

故障分析与处理：检查变频器底板，测量各点电压正常，未发现问题。将 IGBT 模块、触发电路板 A21、晶体管 V17、各个管脚重新焊接后，变频器上电运行正常。

故障实例 51

故障现象：一台 6SE70 变频器驱动 600V、1200kW 电动机，拖动三缸单作用泥浆泵，缸套直径为 170mm。当泥浆泵压力达到 20MPa 以上时，泵冲开始下降，接着报故障 [F015]（电动机已堵转或失步）故障信息，变频器停机，复位后试验多次都是这一过程。

故障分析与处理：按照先软件后硬件的检查方法，先查看参数数据，发现 P493.1 选择读入转矩上限连接器的 BICO 参数是 K3003，正确的应是 K3004，连接器选择错误。改正后，变频器上电带载工作正常。

故障实例 52

故障现象：一台 6SE70 变频器有时工作正常，有时停机报错，操作控制面板 PMU 显示屏显示 [F023] 故障信息。

故障分析与处理：变频器显示 [F023] 故障信息为逆变器超过极限温度。检查变频器周围温度不高，冷却风机运转正常，也没有过载现象。于是先检查温度传感器，拆下温度传感器，用万用表测两端的压降，两个方向都是 0.86V 左右均正常。为了验证传感器好坏，把它装在另外一台变频器上，工作正常，判断问题是在信号处理回路中。检查所关联的回路，所有贴片电阻 R1，R2，R3 阻值都正常，从另外一台变频器上换过来一块 CPU 板，变频器上电运行没有发现问题。试把电容 C1 换掉，变频器上电显示正常，变频器带载运行正常。

故障实例 53

故障现象：一台 6SE7023 - 4TA61 - Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏显示 [E] 故障信息。

故障分析与处理：根据故障现象初步判断故障在 CUVc 板。更换 CUVc 板后送电开机，仍显示 [E] 报警，说明故障不在 CUVc 板而在底板。对底板进行检测，用万用表测底板各电压，发现 15V 明显偏低，查 8 脚软起动电压是 0.5V（正常值为 3.85V），经查 5V 正常，Q2 触发电压正常，初步判断为 Q2 有故障。更换 Q2 后 8 脚软起动电压恢复正常，15V 输出正常，恢复变频器接线，输入参数，变频器上电运行正常。

故障实例 54 ~ 60

故障现象：一台西门子 6SE7016 - 1TA61 - Z 变频器操作控制面板 PMU 显示屏显示 [E] 故障信息，按 P 键及重新停、送电均无效。

实例 54 故障分析与处理：根据故障现象初步判断故障在 CUV C 板，更换 CUV C 板送电开机，一切正常，说明故障就在 CUV C 板。检测与 CUV C 板相关的 3 个 $1\text{k}\Omega$ 电阻，有一个已经变值，换新后，变频器上电运行正常。

实例 55 故障分析与处理：根据故障现象初步判断故障在 CUV C 板，更换 CUV C 板送电开机，一切正常，用万用表电阻挡测 1, 2 点 (5V 电源端) 阻值为 320Ω (正常为 486Ω)，判断电路有短路的地方。经查 D5 击穿，更换 D5 后 (焊接一定要仔细，不要有人为的短路或断路产生)，变频器上电运行正常。

实例 56 故障分析与处理：根据故障现象初步判断故障在 CUV C 板，将变频器原 CUV C 板上的 CBT 通信板拆下，装在新 CUV C 板上，变频器装好 CUV C 板，起动后，显示屏仍显示 [E] 报警。拆下 CUV C 板检查发现 CBT 通信板上的贴片电阻烧坏。更换新的 CBT 通信板后，变频器上电运行正常。

实例 57 故障分析与处理：变频器显示 [E] 故障的原因一般为控制电源部分故障。首先检查外接 DC24V 电源，在对变频器控制电源部分检查时发现外接 DC24V 电源电压不正常。在更换外接 DC24V 电源后，变频器上电运行正常。

实例 58 故障分析与处理：检查外接 DC24V 电源正常，变频器显示 [E] 报警信息，则故障在 CUV C 板。可用替换法做进一步检查，替换一块新 CUV C 板后，变频器上电后仍显示 [E] 报警，则故障不在 CUV C 板而在底板。6SE7016-1TA61-Z 变频器底板的集成块 N2、N3 的相关电路如图 6-2、图 6-3 所示。

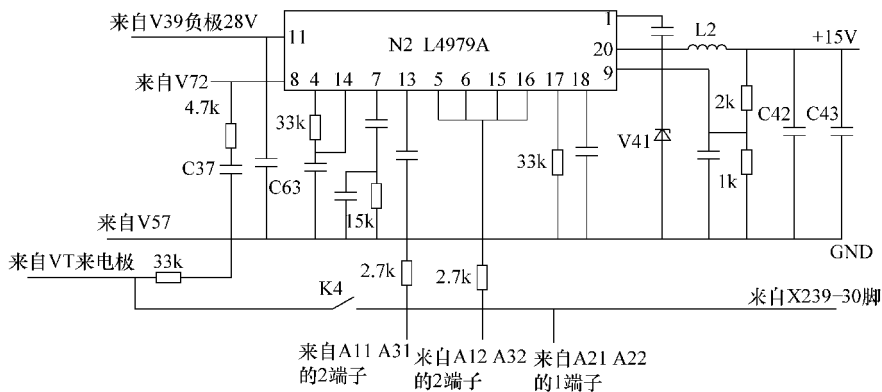


图 6-2 集成块 N2 的相关电路

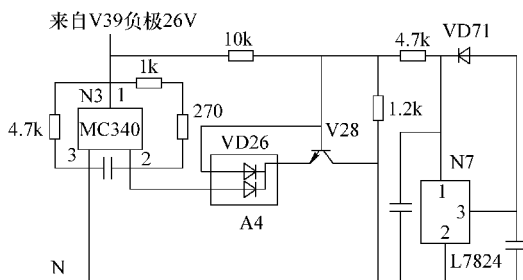


图 6-3 集成块 N3 的相关电路

用万用表检测集成块 N3 基准电压不正常，集成块 N2 的 20 脚输出电压仅为 0.1V，正常

值应为15V。检查集成块N2的脚为11.3V，8脚为0.20V，11脚电源输入为27.5V（正常）。与表6-3所示的N2集成块L4979各引脚电压数据对比，确认N2的1脚、8脚、20脚电压都不正常。

测集成块N3的1脚电压为0.31V，2脚电压为1.8V，与表6-4所示的N3集成块MC340各引脚电压数据对比，N3的1脚、2脚电压值也都偏低。

表 6-3 N2 集成块 L4979 各引脚电压数据

引脚	1	2	3	4	7	8	9	10
电压/V	26.7	3.1	15	5.1	4	3.85	5	0.8
引脚	11	12	13	14	17	18	19	20
电压/V	27.7	0.45	5	12	10.5	2.3	0.3	15

表 6-4 N3 集成块 MC340 各引脚电压数据

引脚	1	2	3
电压/V	2.15	501	0

拆下N3集成块（MC340），测2脚与3脚之间的电阻为84Ω。更换一块新N3集成块MC340后，测各引脚电压，1脚为2.1V，2脚为5.1V。测N2集成块各脚电压也都恢复正常。集成块N3输出电压不正常，引起N2集成块各脚电压也出现偏移。恢复变频器接线，输入参数，变频器上电后运行正常。

实例 59 故障分析与处理：用万用表测底板N2、N3集成块各脚电压，N3的1脚、N2的8脚电压都偏低，测V28晶体管的基极偏置电阻4.7kΩ已变值为150kΩ。更换新贴片电阻，测N2、N3各脚电压正常，给变频器上电，变频器运行正常。因V28基极偏置电阻变值，导致V28晶体管截止，造成N2、N3集成块不能正常工作。

实例 60 故障分析与处理：检查底板电源块N2（L4974A）第1脚的开机电压为11.32V，正常值为26.7V；第20脚输出电压为0.117V，正常值为15.31V；基准电压块N3（MC340）第1脚电压为0.315V，正常值为2.1V；第2脚的电压值在1.5~1.8V范围内变化，而正常值为5.1V。检查继电器K4，线圈电路串联两支二极管V16、V15，电阻值分别为3.67Ω和5.5Ω，已经短路，V28（5C）晶体管基极电阻由正常值4.7kΩ变为150kΩ，已经烧坏。更换新的电阻和二极管后，变频器上电运行正常。

故障实例 61

故障现象：一台西门子6SE7021-0TA61-Z变频器的操作控制面板PMU显示屏显示[E]故障信息。

故障分析与处理：查底板15V电压不正常，电压低，并发现底板有明显的过热现象，断开15V负载后，电压恢复正常，显然故障在其负载。经查为后部MOS管短路造成，将MOS管和与之并联的稳压管更换后，电压恢复，起动变频器上电运行正常。

故障实例 62

故障现象：一台6SE70系列变频器的操作控制面板PMU显示屏无显示。

故障分析与处理：结合图6-4所示X9端子与继电器K4的相关电路，检查与K4继电器线圈并联的续流二极管V20，与K4线圈串接二极管V16击穿短路。进一步检测发现N7集

成块 L7824 损坏，N4 集成块 UC3844AN 的 1 脚对地电阻为 500Ω（正常值应为 15kΩ）。更换同型号二极管、N4 集成块（UC3844AN）、N7 集成块（L7824）后，再根据表 6-5 所列的 N4 集成块 UC3844AN 各引脚电压数据、表 6-6 所列的 N7 集成块 L7824 各引脚电压数据，测试 N4、N7 各引脚电压均正常，恢复接线，变频器上电运行正常。

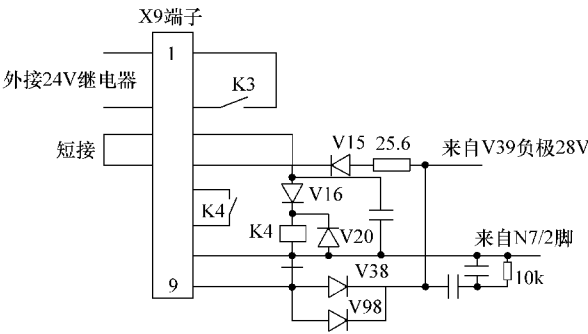


图 6-4 X9 端子与继电器 K4 的相关电路

表 6-5 N4 集成块 UC3844AN 各引脚电压数据

引脚	1	2	3	4	5	6	7	8
电压/V	1.7	2.48	0	1.83	0	1.8	16	4.97

表 6-6 N7 集成块 L7824 各引脚电压数据

引脚	1	2	3
电压/V	27.5	0	23.5

故障实例 63 ~ 76

故障现象：一台 6SE7016-1TA61-Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏黑屏。

实例 63 故障分析与处理：检查底板 V34 场效应晶体管 K2225，发现栅极保护贴片电阻 24Ω 变值为 500kΩ，已损坏。检测 N2 集成块的 20 脚无电压，1 脚为 11.3V，N3 集成块 MC340 的 1 脚为 4V，2 脚为 3.3V。用热风枪将 N3 集成块 MC340 拆下测量 1 脚与 3 脚之间的阻值变为 9kΩ，正常应为 500kΩ。更换新的 N3 集成块 MC340 和 24Ω 贴片电阻。上电测试 N2、N3 集成块各引脚电压均正常。恢复接线，变频器上电运行正常。变频器操作控制面板 PMU 显示屏黑屏故障，大部分与底板 V34 电源管控制极 24Ω 保护贴片电阻变值有直接关系，变值后的电阻值一般在 500kΩ~1MΩ 之间，有的电阻值变为无穷大。

实例 64 故障分析与处理：检查底板，测量 K4 继电器线圈并联续流二极管 V20，与 K4 线圈串接二极管 V16 击穿短路，测 N7 电源块 L7824 损坏，N4 集成块 UC3844AN 的 1 脚对地电阻为 500Ω，正常值应为 15kΩ。更换同型号二极管两只、N4 集成块 UC3844AN、N7 电源块 L7824 后，测试各点电压正常，变频器上电运行正常。

实例 65 故障分析与处理：检查底板，测量 N4 集成块 UC3844AN 的 4 与 8 脚之间的 7.5kΩ 电阻烧坏，V34 场效应晶体管 K2225 栅极限流电阻 R133 变值为 720kΩ。用热风枪将贴片电阻拆下，更换新贴片电阻。上电测试各点电压均正常。恢复接线，变频器上电运行正常。

实例 66 故障分析与处理：检查底板，测量 V34 场效应晶体管 K2225，发现栅极保护贴片电阻 24Ω 变值为 $430k\Omega$ ，电源变压器 T6 二次绕组之间经 V58 串联连接的 5 只相并联的 100Ω 电阻的阻值为 33Ω ，拆下测 100Ω 电阻的其中一只已变值为 $10M\Omega$ ，另一只电阻变值为 $1M\Omega$ 。更换 24Ω 、 100Ω 电阻，变频器上电运行正常。

实例 67 故障分析与处理：检查底板，25A 正、负熔断器 F1、F2 全部熔断，测量 IGBT 模块输出端 U 相与 V 相之间的电阻值为 11Ω ，已经短路（正常阻值应该为 $210k\Omega$ ），IGBT 模块触发部分的触发板 A12、A32、A22 的 3 脚与 4 脚和 7 脚、5 脚、8 脚的电阻值变为 1.9Ω ，已经短路。更换同型号六单元 IGBT 模块（型号为 BSM15G120DN12）与触发电路板 A12、A32、A22 后，恢复接线，变频器上电，测量各个电源输出电压正常，IGBT 模块 6 个触发电路脚电压为 $-5.1V$ ，变频器上电运行正常。

实例 68 故障分析与处理：检查底板电源部分，查 N4（UC3844）PWM 脉宽调制集成块，测量外接 4 脚振荡电阻原为 7.5Ω ，现在变为 $420k\Omega$ 。更换振荡电阻后，变频器上电运行正常。

实例 69 故障分析与处理：检查底板，主开关电源开关管 V34（K2225）栅极限流电阻 R133（ 100Ω 和 24Ω ）烧坏，测量 N4（3844）PWM 集成块，3 脚过电流保护外接电阻由正常时的 100Ω 变为 $400k\Omega$ ，更换后，变频器上电运行正常。

实例 70 故障分析与处理：检查底板开关电源，脉宽调制集成块 N4，测量第 4 脚与第 8 脚振荡电阻由正常时的 $7.5k\Omega$ 变为 $420k\Omega$ ，第 6 脚输出电阻 R133 由正常时的 100Ω 变为 300Ω ，电压检测部分 N1（TL084）第 14 脚输出外接电阻 R203 由正常时的 47Ω 变为 $544k\Omega$ ，触发板 11 脚接的电阻 R226 由正常时的 9Ω （两支 18Ω 电阻并联）变为 144Ω ，第 4 脚 R214 由正常时的 18.5Ω 变为 21Ω ，第 3 脚接电阻 R126 由正常时的 9Ω 变为 18.3Ω ，第 1 脚接电阻 R116 由正常时的 9Ω 变为 12.6Ω 。将上面的电阻重新更换后，变频器上电运行正常。

实例 71 故障分析与处理：检查底板开关电源，开关管 V34（K2255）场效应晶体管栅极 2000Ω 限流电阻烧坏，V28（5C）晶体管 $10k\Omega$ 和 $1.2k\Omega$ 基极电阻均烧坏，N3 基准电压块 MC340 的第 1 脚接 1000Ω 电阻烧坏。更换新电阻后，变频器上电运行正常。

实例 72 故障分析与处理：检查底板开关电源，开关管 V34（K2255）和漏极电阻 R400（ 10Ω ）烧坏，其他正常。更换后，插好 CUV C 板，变频器上电，显示 [008] 开机封锁，重新初始化，输入参数后，变频器上电运行正常。

实例 73 故障分析与处理：变频器上电听到开关电源“滋滋”声音很大，测量各输出点电压，集成块 N2 的 20 脚输出电压稍微偏低为 $14.95V$ ，正常值为 $15.30V$ ，其他各点输出电压正常。停电，测量电流检测板 A1，发现 4 脚与 7 脚之间电阻值为 2.84Ω ，正常值约为 $3.1k\Omega$ 。更换一块电流检测板 A1 后，变频器上电显示 [F029]，测量 A1 的 1 脚与 4 脚之间的电阻值为无穷大，正常值为 25Ω 。拆下 U 相电流互感器 T4，测量 T4 与电流检测板 A1 的 1 脚、4 脚并接的线圈电阻，阻值为无限大，线圈断路（线圈的正常阻值为 25Ω ）。更换新的电流互感器 T4 后，变频器上电运行正常。

实例 74 故障分析与处理：变频器上电自检完成后，内部继电器 K3 吸一下就跳，连接 X9 的 7 点与 9 点闭合一下马上断开（K3 的常开点外接主电路接触器线圈）。测量各点输出电压正常，断电测量电流检测板 A1 的第 4 脚与第 6 脚之间的电阻值为 2140Ω ，正常电阻值

为 3200Ω 。更换电流检测板后，变频器上电运行正常。

实例 75 故障分析与处理：检查底板、二次电源逆变开关管 V2（IRF520）的栅极限流电阻由原正常阻值 10Ω 变为 $590k\Omega$ ，拆下测量为 $11M\Omega$ 。更换后，变频器上电运行正常。

实例 76 故障分析与处理：用外接 24V 电源试机，屏幕显示正常，再用万用表测低压交流输出，无电压说明故障在电源处。测 UC3844 的 6 脚脉冲输出正常，到 Q36 栅极没有电压，测量 R321 由 28Ω 变为无穷大。更换 R321 后，变频器上电运行正常。

故障实例 77

故障现象：一台 6SE7023-4TA61-Z 变频器的操作控制面板 PMU 显示屏无显示。

故障分析与处理：检测 IGBT 内部短路，造成内部熔断器的熔体熔断而失去电源。更换 IGBT 后，检测驱动电路正常，变频器上电运行正常。

故障实例 78

故障现象：一台 ECO 变频器 R、S、T 三相输入短路，操作控制面板 PMU 显示屏无显示。

故障分析与处理：拆开机器就发现有严重的短路现象，整流模块和 IGBT 模块爆裂，短路造成的黑色积炭喷得到处都是，主回路两个继电器也爆开，主控板暂时没有发现问题，但驱动部分烧了好几处。另外，储能大电容一部分都已发涨，电容板上的两颗大螺钉接触处全部烧焦，这就是 ECO 变频器的通病，因为所有电流都是要经过这两颗螺钉，一旦螺钉生锈，很容易引起电容的充放电不良，这样电容发热，漏电，发涨到最后就会损坏重要器件。为了防止再次接触不良打火，在螺钉上焊接几股粗铜线，以确保接触可靠。更换损坏器件后，变频器上电运行正常。

故障实例 79

故障现象：一台西门子变频器的操作控制面板 PMU 显示屏无显示。

故障分析与处理：初步判断为变频器开关电源故障。此变频器的开关电源采用脉宽调制集成电路 UC2844，首先将电源板取出与 IGBT 分离以避免因电源故障造成 IGBT 损坏，找到电源板输入 DC560V 的正、负极，上电后测量 UC2844 的脉冲输出端有断续脉冲，UC2844 的电源端 11 脚、12 脚有（80→10）锯齿波。因此可以判断 UC2844 是好的，是 UC2844 的供电不正常。UC2844 起振后补充供电是靠变压器有一组电压反馈以维持 UC2844 正常持续脉冲输出。测量开关管集成电极有一脉冲与驱动脉冲互为反相，证明开关管是好的。因此故障原因有可能是二次负载短路或是反馈绕组至 UC2844 电源端一路不正常。检查负载后发现有一整流管短路，更换整流管后，变频器上电运行正常。

参考文献

- [1] 周志敏. 中压变频器发展技术与方向综述 [J]. 冶金动力, 2002 (1) .
- [2] 周志敏. 中压变频器拓扑结构 [J]. 今日电气, 2003 (2) .
- [3] 周志敏. 变频调速系统应用中的问题分析 [J]. 工控与变频, 2004 (5) .
- [4] 周志敏. 变频器在小区恒压供水系统中应用 [J]. 工控与变频, 2003 (11) .
- [5] 周志敏. 变频系统抗干扰技术 [J]. 工控与变频, 2003 (3) .
- [6] 周志敏. 变频调速系统设计中问题分析 [J]. 能源技术, 2002 (2) .
- [7] 周志敏. MICO340 变频器构成电梯控制系统特性分析 [J]. 能源技术, 2002 (3) .
- [8] 周志敏. 中压变频器主流技术发展动态 [J]. 能源技术, 2002 (5) .
- [9] 周志敏. 变频调速系统抗干扰设计 [J]. 变频器世界, 2004 (10) .
- [10] 周志敏. 中压变频主流技术发展动向 [J]. 机床电器, 2001 (2) .
- [11] 周志敏. 变频器控制算法的分析与应用 [J]. 变频器世界, 1999 (3) .
- [12] 周志敏. 变频器在烧结配料自动化中的应用 [J]. 变频器世界, 1999 (4) .
- [13] 周志敏. 推广交流变频技术与可持续发展战略 [J]. 变频器世界, 1999 (5) .
- [14] 周志敏. 变频器运行中谐波的产生与抑制 [J]. 变频器世界, 1999 (10) .
- [15] 周志敏. 变频器在建筑电气传动领域市场展望 [J]. 变频器世界, 1999 (9) .
- [16] 周志敏. FR - A240E 变频器在方坯连铸机高效改造中应用 [J]. 变频器世界, 2000 (7) .
- [17] 周志敏. 中压变频技术动态与市场展望 [J]. 电源技术应用, 2002 (11) .
- [18] 周志敏. 变频器控制方式及应用选型 [J]. 电源技术应用, 2002 (9) .
- [19] 周志敏. 中压变频器的发展与应用 [J]. 电子元器件应用, 2002 (7) .
- [20] 周志敏, 周纪海, 等. 变频器——工程应用电路. 电磁兼容. 故障诊断 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [21] 周志敏, 周纪海, 等. 变频电源实用技术——设计与应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [22] 周志敏, 周纪海, 等. 变频调速系统设计与维护技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [23] 周志敏, 周纪海, 等. 变频器使用与维修技术问答 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [24] 周志敏, 周纪海, 等. 变频调试系统工程设计与调试 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [25] 周志敏, 纪爱华. 变频器维修入门与故障检修 168 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.

零起点学自动化技术丛书

序号	书 名	书 号	定价	出版时间	条形码
1	零起点学西门子 S7-300/400 PLC	38359-8	59.8	201207	
2	零起点学西门子 S7-200 PLC	37423-7	39.8	201205	
3	零起点学西门子变频器应用	36363-7	43	201203	
4	零起点学 Linux 系统管理	37309-4	29.8	201203	
5	零起点学 Proteus 单片机仿真技术 (含 1CD)	36904-2	38	201203	
6	零起点学维修电工技术	36361-3	30	201202	

罗克韦尔自动化技术丛书

序号	书 名	书 号	定价	出版时间	条形码
1	AB 变频器及其控制技术	37125-0	34	201205	
2	PAC 编程基本教程	36030-8	85	201201	
3	Control Logix 系统在给水处理行业中的应用	35490-1	45	201111	
4	Control Logix 系统在污水处理行业中的应用	35489-5	45	201110	
5	MicroLogix 核心控制系统	31237-6	59	201202	
6	Control Logix 系统水泥行业自动化应用培训教程	26077-6	39	200912	
7	Control Logix 系统电力行业自动化应用培训教程	24127-0	58	200901	
8	Control Logix 系统实用手册	23037-3	58	201203	
9	循序渐进 CMS 机器控制系统	25797-4	47	200901	
10	深入浅出 NetLinx 网络构架	24983-2	30	200901	

电气自动化新技术丛书

书 名	书 号	定价	出版时间	条形码
SPWM 变频调速应用技术 (第 4 版)	35988-3	58	201201	
通用变频器及其应用 (第 3 版)	35756-8	68	201201	
变频调速 SVPWM 技术的原理、算术与应用	31903-0	38	201104	
高性能变频调速及其典型控制系统	30268-1	49	201106	
大容量异步电动机双馈调速系统	26963-2	47	200906	
电压型 PWM 整流器的非线性控制	25144-6	27	200901	
高压大功率变频调速技术	19218-3	30	200710	
现场总线技术及其应用 (第 2 版)	14269-0	47	200808	
谐波抑制和无功功率补偿 (第 2 版)	06298-1	29	201101	
电气传动的脉宽调制控制技术 (第 2 版)	04453-3	22	200402	
图解触摸屏工程应用技巧	37041-3	49.8	201203	

图书团购联系人：李红勇

电 话：010-88379766

E-mail: dgdzcmp@sina.com

地址:北京市百万庄大街22号
邮政编码:100037

电话服务

社服务中心:010-88361066

销售一部:010-68326294

销售二部:010-88379649

读者购书热线:010-88379203

网络服务

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

上架指导: 工业技术 / 工业自动化技术 / 变频器

ISBN 978-7-111-42282-2

策划编辑◎林春泉/封面设计◎赵颖喆

ISBN 978-7-111-42282-2



9 787111 422822 >

定价: 33.00元