

TUJIE BIANPINQI
KONGZHI JI YINGYONG

图解 变频器控制及应用

李方园 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图解 变频器控制及应用

李方园 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书从变频器初学者的角度出发,按照项目与任务并重的原则对变频器行业中的主流型号(如三菱 A700 等)进行了操作、应用和维护的阐述,并对每个工程项目给出了具体的硬件接线和参数设置。本书通过图解的方式,对各种变频器操作步骤、工程应用和故障实例一一进行解答,具有很强的实践指导意义,读者能学有所用。

本书深入浅出、图文并茂,适合广大变频器工程和设计人员,中、高级电工及相关院校的电气、自动化、机电一体化、应用电子技术等专业学生自学与参考。

图书在版编目(CIP)数据

图解变频器控制及应用/李方园编著. —北京:中国电力出版社, 2012. 4

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2854 - 9

I. ①图… II. ①李… III. ①变频器 - 图解 IV. ①TN773 - 64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 056463 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 5 月第一版 2012 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.625 印张 357 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

图解变频器控制及应用

随着电力电子技术、计算机技术以及自动控制技术的迅速发展,电气传动技术正面临一场历史性的革命。经过近半个世纪的发展,近代交流传动逐渐成为电气传动的主流,而异步电动机调速系统中,效率最高、性能最好的是变频调速系统,因此对变频调速的研究是当前电气传动研究中最活跃、最有实际应用价值的工作,变频器产业的潜力非常巨大。本书将以变频器控制为主线,探讨变频调速系统在各行业中的应用案例,通过详细介绍案例让读者进一步了解变频器的工作原理、系统组成以及为广大的变频器使用者进行变频自动化应用开拓视野提供最新的资讯,同时结合介绍变频器的主电路、驱动电路和开关电源等,为变频器维修者提供了详细的应用案例。

本书从变频器初学者的角度出发,按照项目与任务并重的原则对变频器行业中的主流型号(如三菱 A700)进行了操作、应用和维护的阐述,并对每个工程项目给出了具体的硬件接线和参数设置。通过图解的方式,对各种变频器的操作步骤、工程应用和故障实例进行了一一解答,具有较大的现实指导意义,使读者能所读即所用。

本书共分五章,第一章介绍了变频器的工作原理与结构,并从控制方式、频率给定方式、运转指令方式、起动制动方式等方面进行展开和阐述;第二章介绍了三菱 A700 变频器的基本操作,如运行模式、参数设置、PID 控制、节能计算、开环矢量调试、制动单元连接、直流供电、转矩控制;第三章阐述了三菱变频器的通信控制,以 RS485、ModbusRTU、CC-Link、PROFIBUS 为例进行案例分析;第四章通过冶金辊道传动、损纸皮带机、塑料挤出机等工程案例的描述,介绍了变频器的工程应用与设计;第五章介绍了变频器典型故障诊断,包括输出缺相、输入缺相、过载、过热等实际问题的解决方式。

本书在编写过程中,得到了张永惠教授及李永东教授的大力支持,还得到了三菱电机自动化(上海)有限公司、宁波中华纸业有限公司、宁波钢铁有限公司和常州米高电子科技有限公司等厂家相关人员的帮助并提供了相当多的典型案例和维护经验。在编写中曾参考和引用了国内外许多专家、学者最新发表的论文和著作等资料,另外,陈亚玲、叶明、陈贤富、沈阿宝、陈亚珠、李伟庄、章富科、方定桂、刘军毅、戴琴、王永行和刘伟红等参与了资料整理、文字录入和校对工作,在此一并致谢。

编者

2012 年 2 月

目 录

图解变频器控制及应用

前言

第一章 变频器的工作原理与结构	1
第一节 变频器概述	1
第二节 变频器的控制方式	6
第三节 变频器的频率给定方式	18
第四节 变频器的运转指令方式	23
第五节 变频器的起动制动方式	29
第六节 变频器的运行方式	36
第七节 变频器的适应负载方式	44
第二章 三菱 A700 变频器的基本操作	52
第一节 三菱 A700 变频器的初步认识	52
第二节 变频器运行模式与参数设置	58
第三节 变频器 A700 I/O 端子的熟悉	63
第四节 针对特殊负载的变频器参数设置与接线	71
第五节 A700 变频 PID 控制线路设计	78
第六节 变频器 A700 的节能计算	81
第七节 变频器 A700 的开环矢量调试	87
第八节 主轴变频器与制动单元及电阻的连接	91
第九节 变频器 A700 的直流供电方式	94
第十节 变频器 A700 矢量控制与转矩控制	97
第三章 三菱变频器的通信控制	103
第一节 三菱变频器通信的基本概念	103
第二节 基于 RS485 的 A700 变频器通信	111
第三节 基于 ModbusRTU 的 A700 变频器通信	124
第四节 三菱变频器通过 CC - Link 进行通信	132
第五节 PLC 与三菱 A700 变频器的 PROFIBUS 通信	153
第四章 变频器的工程应用与设计	164
第一节 三菱 A700 变频器在冶金辊道中的工程应用	164

第二节	三菱 A700 变频器在损纸皮带机中的工程应用	168
第三节	三菱 A700 变频器在塑料挤出机中的工程应用	171
第四节	三菱 185kW 变频柜的工程设计	175
第五章	变频器典型故障诊断	186
第一节	水泵变频器输出缺相的处理	186
第二节	锅炉鼓风机变频器输入缺相的处理	189
第三节	轧机变频器过载的处理	193
第四节	卷染机变频器散热器过热故障	196
附录 A	三菱 A700 变频器参数总表	200
附录 B	三菱变频器故障原因及其对策	213
参考文献		228

变频器的的工作原理与结构



项目导读

随着电力电子技术、计算机技术以及自动控制技术的迅速发展,电气传动技术正面临一场历史性的革命。经过近半个世纪的发展,近代交流传动逐渐成为电气传动的主流,而异步电动机调速系统中,效率最高、性能最好的是变频调速系统,因此对变频调速的研究是当前电气传动研究中最活跃、最有实际应用价值的工作,变频器产业的潜力非常巨大。

变频器在实际控制中的几个要点:

(1) 变频器的四种控制方式,即 U/f 控制方式(开环 U/f 控制和闭环 U/f 控制)、无速度传感器矢量控制方式[矢量控制(VC)的一种]、闭环矢量控制方式[速度传感器矢量控制(VC)的一种]和转矩控制方式[矢量控制(VC)或直接转矩控制(DTC)]等。

(2) 使用变频器的目的是通过改变变频器的输出频率,即改变变频器驱动电动机的供电频率从而改变电动机的转速。改变供电频率的关键是必须向变频器提供改变频率的信号,即“频率给定信号”。变频器常见的频率给定方式主要有操作器键盘给定、接点信号给定、模拟信号给定、脉冲信号给定和通信方式给定等。

(3) 变频器的运转指令方式是指如何控制变频器的基本运行功能,这些功能包括起动、停止、正转与反转、正向电动与反向点动、复位等。它有操作器键盘控制、端子控制和通信控制三种。这些运转指令方式必须按照实际的需要进行选择设置,同时也可以根据功能进行相互之间的方式切换。

第一节 变频器概述

交流变频调速技术是强弱电混合、机电一体的综合性技术,既要处理巨大电能的转换(整流、逆变),又要处理信息的收集、变换和传输,因此它的共性技术分成功率转换和弱电控制两大部分。前者要解决与高压大电流有关的技术和新型电力电子器件的应用技术问题,后者要解决基于现代控制理论的控制策略和智能控制策略的硬、软件开发问题。

一、变频器的简介

交流电机不论三相异步电动机还是三相同步电动机,它们的转速 n 公式为

$$n_0 = 60f/p \text{ (同步电动机)} \quad (1-1)$$

$$n = n_0(1-s) = (1-s)60f/p \text{ (异步电动机)} \quad (1-2)$$

式中 f ——频率;

p ——极对数；

s ——转差率，0~3% 或 0~6%。

由式(1-1)和式(1-2)可见，只要设法改变三相交流电动机的供电频率 f ，就能改变电动机的转速 n ，这比改变极对数 p 或转差率 s 两个参数简单得多。

变频器就是把工频电源(50Hz 或 60Hz)变换成各种频率的交流电源，以实现电动机的变速运行的设备。

图1-1所示为三菱D700系列和西门子MM440变频器外观。

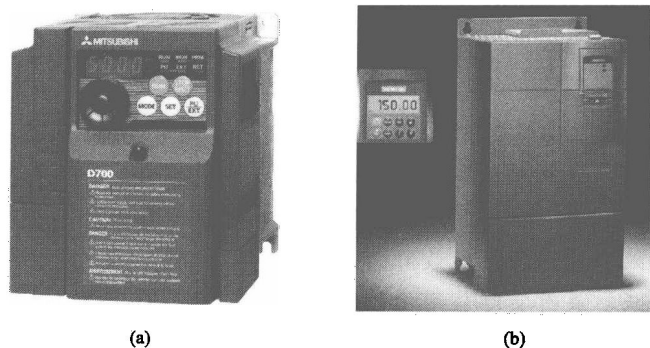


图1-1 变频器外观

(a) 三菱D700；(b) 西门子MM440

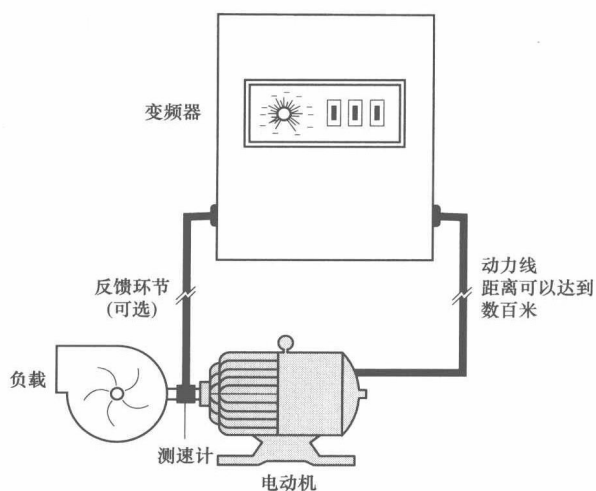


图1-2 变频器在水泵中的应用

图1-2所示为变频器应用在水泵中的示意。通过变频器可以随意调节水泵的转速，从而得到用户所需要的流量，这种接线方式非常简洁，而且水泵用电动机几乎不用更换，所以变频器应用后电动机的节能效果大大提升。

二、变频器的主回路

1. 基本结构

通用变频器，一般都是采用交—直—交的方式组成，其基本构造如图1-3所示。

通用变频器的主回路包括整流部分、直流环节、逆变部分、制动或回馈环节等。

(1) 整流部分。通常又被称为电网侧交流部分，是把三相或单相交流电整流成直流电。常见的低压整流部分是由二极管构成的不可控三相桥式电路或由晶闸管构成的三相可控桥式电路。

(2) 直流环节。由于逆变器的负载是异步电动机，属于感性负载，因此在中间直流部分与电动机之间总会有无功功率的交换，这种无功能量的交换一般都需要中间直流环节的储能元件（如电容或电感）来缓冲。

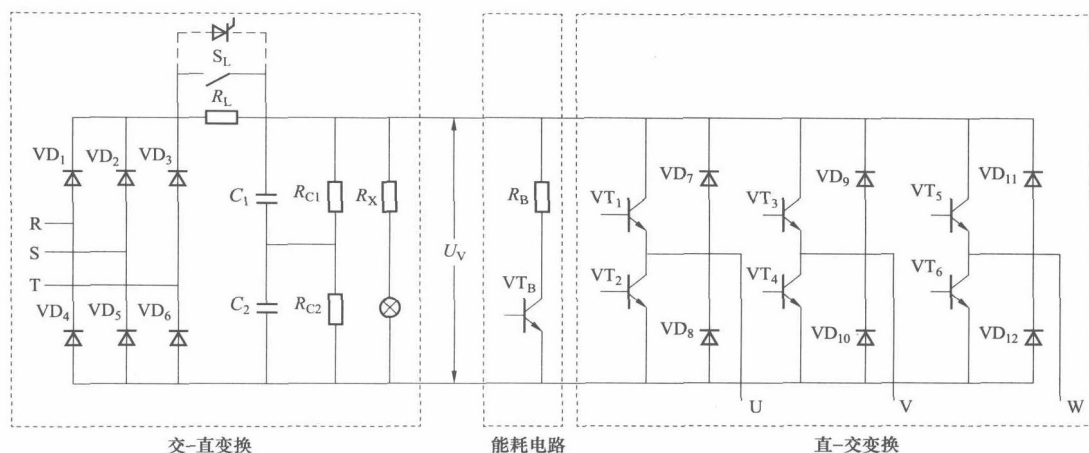


图 1-3 通用变频器的基本构造

(3) 逆变部分。通常又被称为负载侧变流部分，它通过不同的拓扑结构实现逆变元件的规律性关断和导通，从而得到任意频率的三相交流电输出。常见的逆变部分是由六个半导体主开关器件组成的三相桥式逆变电路。

(4) 制动或回馈环节。由于制动形成的再生能量在电动机侧容易聚集到变频器的直流环节形成直流母线电压的泵升，需及时通过制动环节将能量以热能形式释放或者通过回馈环节转换到交流电网中去。

制动环节在不同的变频器中有不同的实现方式，通常小功率变频器都内置制动环节，即内置制动单元，有时还内置短时工作制的标配制动电阻；中功率段的变频器可以内置制动环节，但属于标配或选配有需根据不同品牌变频器的选型手册而定；大功率段的变频器其制动环节大多为外置。回馈环节则大多属于变频器的外置回路。

2. IGBT 器件

变频器一般采用 IGBT 来作逆变半导体器件，图 1-4 所示为三菱 IGBT 的外观。

如图 1-5 所示，IGBT 原理上是由 GTR 与 MOSFET 组成的达林顿结构，一个由 MOSFET 驱动的厚基区 PNP 晶体管， R_N 为晶体管基区内的调制电阻。IGBT 的驱动原理与电力 MOSFET 基本相同，是一个场控器件，通断由栅射极电压 U_{GE} 决定。



图 1-4 三菱 IGBT 外观

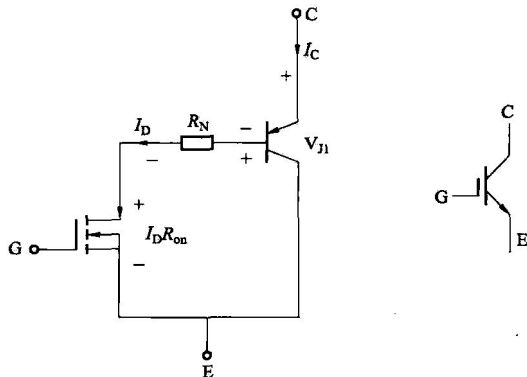


图 1-5 IGBT 原理

(1) 导通。 U_{GE} 大于开启电压 $U_{GE(th)}$ 时, MOSFET 内形成沟道, 为晶体管提供基极电流, IGBT 导通。

(2) 导通压降。电导调制效应使电阻 R_N 减小, 使通态压降小。

(3) 关断。栅射极间施加反压或不加信号时, MOSFET 内的沟道消失, 晶体管的基极电流被切断, IGBT 关断。

IGBT 的优点有高输入阻抗; 电压控制、驱动功率小; 开关频率高; 饱和压降低; 电压、电流容量较大, 安全工作频率宽。

三、变频器的控制电路

变频器的控制回路包括变频器的核心软件算法电路、检测传感电路、控制信号的输入/输出电路、驱动电路和保护电路组成。

现在以通用变频器为例来介绍控制回路, 如图 1-6 所示, 它包括以下几个部分。

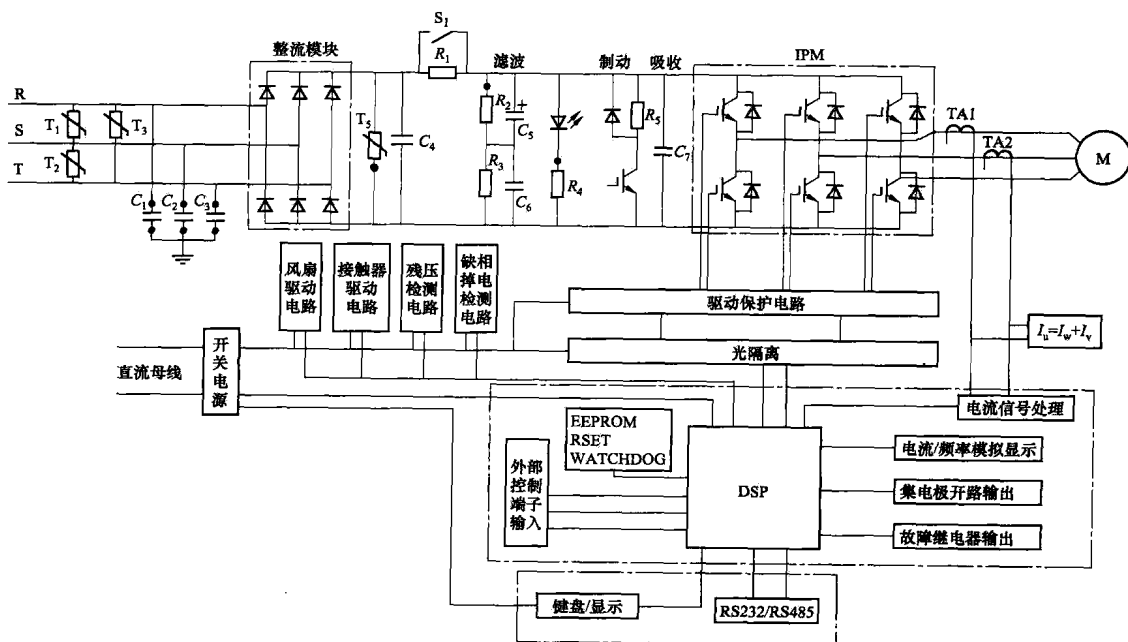


图 1-6 通用变频器控制回路

1. 开关电源

变频器的辅助电源采用开关电源, 具有体积小、效率高等优点。电源输入为变频器主回路直流母线电压或将交流 380V 整流。通过脉冲变压器的隔离变换和变压器二次侧的整流滤波可得到多路输出直流电压。其中 +15V、-15V、+5V 共地, $\pm 15V$ 给电流传感器和运放等模拟电路供电, +5V 给 DSP 及外围数字电路供电。相互隔离的四组或六组 +15V 电源给 IPM 驱动电路供电。+24V 给继电器和直流风机供电。

2. DSP (数字信号处理器)

TD 系列变频器采用的 DSP 为 TMS320F240, 主要完成电流、电压、温度采样、六路 PWM 输出, 各种故障报警输入, 电流电压频率设定信号输入和电机控制算法的运算等功能。

3. 输入/输出端子

变频器控制电路输入/输出端子包括以下几项:

(1) 输入多功能选择端子、正反转端子和复位端子等。

(2) 继电器输出端子和开路集电极输出多功能端子等。

(3) 模拟量输入端子, 包括外接模拟量信号用的电源 (12V、10V 或 5V) 及模拟电压频率设定输入和模拟电流频率设定输入。

(4) 模拟量输出端子, 包括输出频率模拟量和输出电流模拟量等, 用户可以选择 0 ~ 1mA 直流电流表或 0 ~ 10V 的直流电压表, 显示输出频率和输出电流, 当然也可以通过功能码参数进行选择输出信号。

4. SCI 口

TMS320F240 支持标准的异步串口通信, 通信波特率可达 625kbit/s。具有多机通信功能, 通过一上位机可实现多台变频器的远程控制和运行状态监视功能。

5. 操作面板部分

DSP 通过 SPI 口, 与操作面板上相连, 完成按键信号的输入和显示数据输出等功能。



知识小贴士

20 世纪 60 年代以后, 电力电子器件经历了 SCR (晶闸管)、GTO (门极可关断晶闸管)、BJT (双极型功率晶体管)、MOSFET (金属氧化物场效应管)、SIT (静电感应晶体管)、SITH (静电感应晶闸管)、MGT (MOS 控制晶体管)、MCT (MOS 控制晶闸管)、IGBT (绝缘栅双极型晶体管)、HVIGBT (耐高压绝缘栅双极型晶闸管) 的发展过程, 器件的更新促进了电力电子变换技术的不断发展。

20 世纪 70 年代开始, 脉宽调制变压变频 (PWM - VVVF) 调速研究引起了人们的高度重视, 图 1-7 所示为 PWM - VVVF 调速方式原理。

20 世纪 80 年代, 作为变频技术核心的 PWM 模式优化问题吸引着人们的浓厚兴趣, 并得出诸多优化模式, 其中以鞍形波 PWM 模式效果最佳, 即在相电压 U_{a1} 调制信号中叠加三次谐波 U_{a3} , 使之成为鞍形波 U_r , 输出相电压中也含三次谐波, 且三相的三次谐波相位相同。合成线电压时, 三次谐波相互抵消, 线电压为正弦波。如图 1-8 所示, 鞍形波的基波分量幅值大。

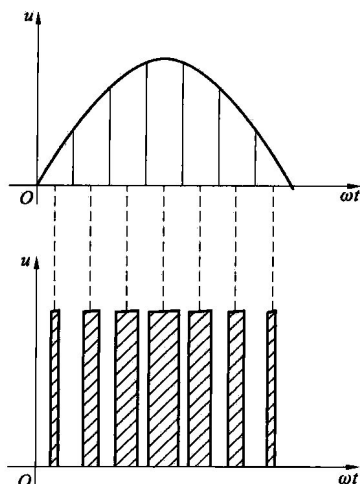


图 1-7 PWM - VVVF 调速方式

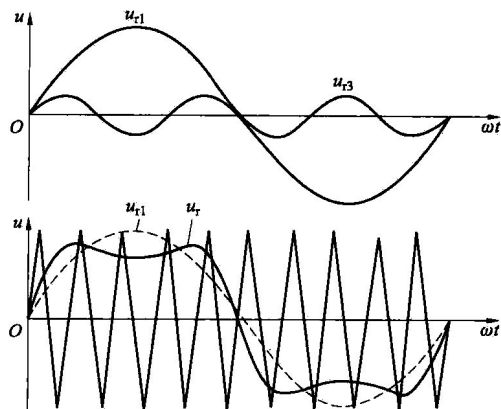


图 1-8 鞍形波 PWM 模式

20 世纪 80 年代后半期开始, 美国、日本、德国、英国等发达国家的 VVVF 变频器已投入市场并获得了广泛应用。

1993 年我国变频器市场容量不足 4 亿元, 到 1999 年已达到 28 亿元, 近几年已接近 150 亿~200 亿元规模。随着市场的扩大和用户需求的多样化, 国内市场上的变频器产品功能不断完善, 集成度和系统化程度越来越高, 操作更加方便, 同时也出现了某些行业的专用变频器产品。

另外, 变频器的应用领域也在不断扩大, 以中低压变频器来看, 从工厂的生产加工设备到中央空调、从重型机械到轻纺行业、从 0.4kW 的小功率到上千千瓦大功率电机都已广泛使用, 取得了显著的经济效益。

第二节 变频器的控制方式

通常意义上讲的低压变频器, 其输出电压一般为 220~650V、输出功率为 0.2~400kW、工作频率为 0~800Hz, 变频器的主电路采用交—直—交电路。根据不同的变频控制理论, 其模式主要有 $U/f=C$ 的正弦脉宽调制模式、矢量控制 (VC) 模式和直接转矩控制 (DTC) 模式三种。

针对以上三种控制模式理论, 可以发展为几种不同的变频器控制方式, 即 U/f 控制方式 (开环 U/f 控制和闭环 U/f 控制)、无速度传感器矢量控制方式 [矢量控制 (VC) 的一种]、闭环矢量控制方式 [即有速度传感器矢量控制 (VC) 的一种] 和转矩控制方式 [矢量控制 (VC) 或直接转矩控制 (DTC)] 等。这些控制方式在变频器通电运行前必须首先设置。

一、 U/f 控制方式

(一) 基本概念

变频器 U/f 控制的基本思想是 $U/f=C$, 因此定义在频率为 f_x 时, U_x 的表达式为

$$U_x/f_x = C$$

式中 C ——常数, 压频比系数。

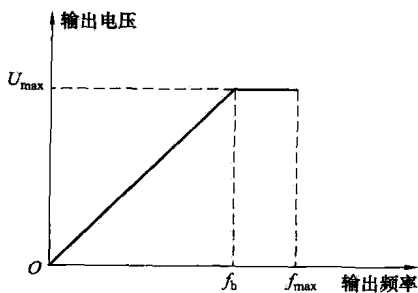


图 1-9 基本运行 U/f 曲线

图 1-9 所示为变频器的基本运行 U/f 曲线。

如图 1-9 所示, 当电动机的运行频率高于一定值时, 变频器的输出电压不再随频率的上升而上升, 我们就将该特定值称之为基本运行频率, 用 f_b 表示。也就是说, 基本运行频率是指变频器输出最高电压时对应的最小频率。在通常情况下, 基本运行频率是电动机的额定频率, 如电动机铭牌上标识的 50Hz 或 60Hz。同时与基本运行频率对应的变频器输出电压称之为最大输出电压, 用 U_{max} 表示。

当电动机的运行频率超过基本运行频率 f_b 后, U/f 不再是一个常数, 而是随着输出频率的上升而减少, 电动机磁通也因此减少, 变成“弱磁调速”状态。

基本运行频率是决定变频器的逆变波形占空比的一个设置参数, 当设定该值后, 变频器 CPU 将基本运行频率值和运行频率进行运算后, 调整变频器输出波形的占空比来达到调整输出电压的目的。因此, 在一般情况下, 不要随意改变基本运行频率的参数设置, 如确有必

要，一定要根据电动机的参数特性来适当设值，否则，容易造成变频器过热、过流等现象。

(二) 预定义的 U/f 曲线和用户自定义 U/f 曲线

由于电动机负载的多样性和不确定性，因此很多变频器厂商都推出了预定义的 U/f 曲线和用户自定义的任意 U/f 曲线。

预定义的 U/f 曲线是指变频器内部已经为用户定义的各种不同类型的曲线。如某 A 变频器有三种特定曲线，如图 1-10 (a) 所示，曲线 1 为 2 次幂降转矩特性、曲线 2 为 1.7 次幂降转矩特性、曲线 3 为 1.2 次幂降转矩特性。某 B 变频器有 4 种定义的曲线，如图 1-10 (b) 所示，其定义的方式是在电动机额定频率一半（即 $50\% f_N$ ）时的输出电压是电动机额定电压的 30% 时（即 $30\% U_N$ ）为曲线 1，35% U_N 时为曲线 2，40% U_N 时为曲线 3， U_N 时为曲线 4。这些预定义的 U/f 曲线非常适合在可变速矩（如典型的风机和泵类负载）中使用，用户可以根据负载特性进行调整，以达到最优的节能效果。

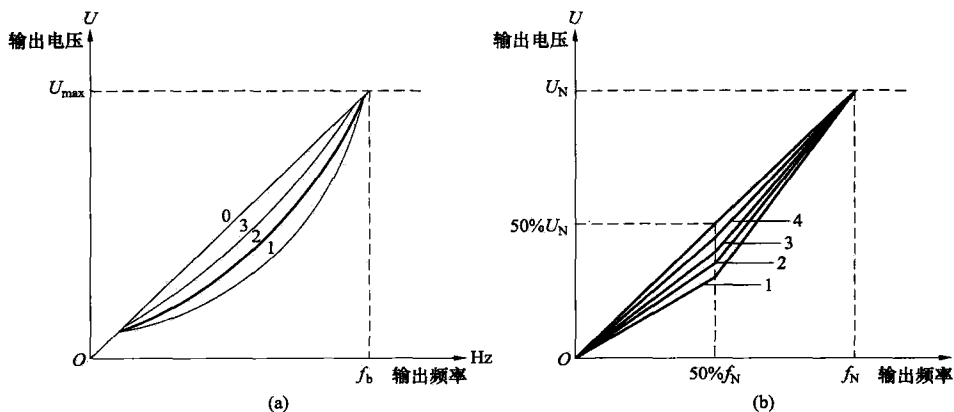


图 1-10 预定义 U/f 曲线

(a) A 变频器；(b) B 变频器

对于其他特殊的负载，如同步电动机，则可以通过设置用户自定义 U/f 曲线的几个参数，来得到任意 U/f 曲线，从而可以适应这些负载的特殊要求和特定功能。自定义 U/f 曲线一般都通过折线设定，典型的有三段折线和两段折线。

以三段折线设定为例，如图 1-11 所示， f 通常为变频器的基本运行频率，在某些变频器中定义为电动机的额定频率， U 通常为变频器的最大输出电压，在某些变频器中定义为电动机的额定电压。如果最大输出电压等于额定电压或者基本运行频率等于额定频率，则两者数值一样；如果两者之间数值不相等，就必须根据变频器的用户手册来确定具体的数据。图 1-11 中给出了三个中间坐标数值，即 (f_1, U_1) 、 (f_2, U_2) 、 (f_3, U_3) ，用户只需填入相应的电压值或电压百分比以及频率值或频率百分比即可。如果将其中的两点重合就可以看成是二段折线设定。

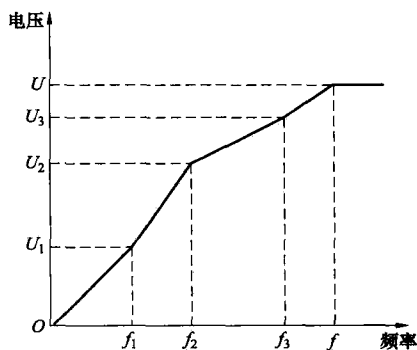


图 1-11 用户自定义 U/f 曲线

虽然用户自定义 U/f 曲线是可以任意设定，但是一旦数值设定不当，就会造成意外故障。比如说

低频时转矩提升电压过高,造成电动机起动时低频抖动,所以 U/f 曲线特性必须以满足电动机的运行为前提条件。

(三) U/f 曲线转矩补偿

变频器在起动或极低速运行时,根据 U/f 曲线,电动机在低频时对应输出的电压较低,

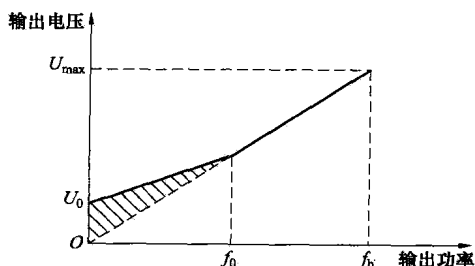


图 1-12 转矩补偿

转矩受定子电阻压降的影响比较显著,这就导致励磁不足而使电动机不能获得足够的旋转力,因此需要对转矩进行补充,这称为转矩补偿。通常的做法是对输出电压做一些提升补偿,以补偿定子电阻上电压降引起的输出转矩损失,从而改善电动机的输出转矩。

如图 1-12 所示, U_0 表示手动转矩提升电压、 $U_{\max}$ 表示最大输出电压、 f_0 表示转矩提升的截止频率、 f_b 表示基本运行频率。

转矩补偿可以根据变频器的参数设置选择手动和自动,如手动设置则允许用户 U_0 在 $0 \sim 30\% U_{\max}$ 任意设定,如自动设置则是变频器根据电动机起动过程中的转矩情况进行自动补偿,其参数是随着负载变化而更改的。

(四) 闭环 U/f 控制

闭环 U/f 控制就是在 U/f 控制方式下,设置转速反馈环节。测速装置可以是旋转编码器,也可以是光电开关,安装方式比较自由,既可以安装在电动机轴上,也可以安装在其他相关联的位置。同样,不带转速反馈的 U/f 控制,称之为开环 U/f 控制。

闭环 U/f 控制速度反馈信号可以选用一相或者两相信号,一相信号如接近开关、旋转编码器的 A 相或 B 相。旋转编码器是一种测量旋转角度的测量器件,它集机、光、电技术于一体,通过光电转换,将角位移转换成相应的电脉冲或数字信号输出。旋转编码器通常采用两个相位差 90° 的方波编码方式,其旋转方向由两个波形的相位差决定。旋转编码器有很多种型号,通常的速度反馈则选用增量型编码器,电动机的运动速度由一定时间内编码器所产生的脉冲信号决定。脉冲信号输出即可与变频器的 PG 接口相连接,就可以得到测量。编码器精度由旋转一周产生的方波数决定,当旋转一周可产生 2000 个方波时,每一个方波周期表示为 $360^\circ/2000$,其最大的响应频率达到 100kHz 左右。

图 1-13 所示为旋转编码器 PG 与变频器组成的闭环 U/f 控制。PS +/PS - 为编码器的工作电源, A + 信号为 A 相信号或 B 相信号,本控制方式采用一相反馈。

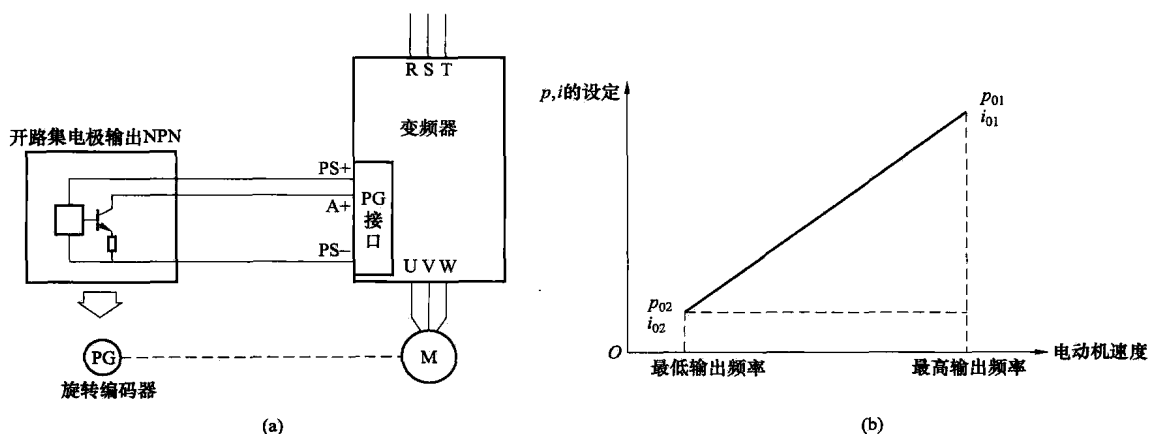
闭环 U/f 控制为了获得良好的速度控制性能,还必须设置比例增益 P 值和积分时间 I 值,图 1-13 (b) 所示为参数设置情况。

1. 闭环 U/f 控制调整参数的原则

(1) 最低输出频率的增益调整。用最低输出频率控制电动机运行,在此状态下,在无振动的范围内增大设定 P_{02} 值,减小设定 I_{02} 值。监视变频器的输出电流,并且确认达到变频器额定电流 50% 以下的输出电流,超过 50% 时,减小 P_{02} 值,增大 I_{02} 值。

(2) 最高输出频率的调整。用最高输出频率控制电动机运行,在此状态下,在无振动的范围内增大设定 P_{01} 值,减小设定 I_{01} 值。

(3) 增益的微调。在增益细微调整时,可以边观察速度波形边微调。在加速完成发生

图 1-13 闭环 U/f 控制接线和速度增益示意

(a) PG 接口示意; (b) 速度增益曲线

上冲超调时, 减小 P_{01} 值, 增大 I_{01} 值, 在加速停止发生下冲超调时, 减小 P_{02} 值, 增大 I_{02} 值。

2. 带 PG 闭环 U/f 控制系统的注意事项

(1) 一般编码器为 $5 \sim 36V$ 工作电源, 因此必须要选用合适的 PG 接口电源, 确保编码器正常工作。

(2) 编码器的工作方式有许多种, 包括集电极开路、推挽式和线驱动, 集电极开路还分 NPN 或 PNP, 因此在选配合适 PG 接口的基础上, 还必须选用正确的接线方式和跳线方式 (NPN 或 PNP 方式)。

(3) 编码器与变频器的距离一般以不超过 100m 为宜, 必须采用屏蔽和抗干扰处理。

(4) 闭环 U/f 控制多用于简易速度控制, 且安装位置可以不在电动机轴端; 因此在参数设置上必须加以区别, 设定转速计算值必须折算到电动机侧。

(5) 转速的设定和反馈一般都以转/分 (r/min) 为单位, 一般而言设定值在面板上可以数字输入, 若是用模拟信号作为给定量时, 模拟给定最大值对应于电动机的同步转速。

二、无速度传感器矢量控制方式

(一) 基本概念

在高性能的异步电动机矢量控制系统中, 转速的闭环控制环节一般是必不可少的。通常采用旋转编码器等速度传感器来进行转速检测, 并反馈转速信号。但是, 由于速度传感器的安装会给系统带来一些缺陷, 如系统的成本大大增加; 精度越高的编码器价格也越贵; 编码器在电动机轴上的安装存在同心度的问题, 安装不当将影响测速的精度; 电动机轴上的体积增大, 而且给电动机的维护带来一定困难, 同时破坏了异步电动机的简单坚固的特点; 在恶劣的环境下, 编码器工作的精度易受环境的影响。而无速度传感器的控制系统无需检测硬件, 免去了速度传感器带来的种种麻烦, 提高了系统的可靠性, 降低了系统的成本; 另一方面, 使得系统的体积小、质量轻, 而且减少了电动机与控制器的连线。因此, 无速度传感器的矢量控制方式在工程应用中变得非常必要。

无速度传感器的矢量控制方式是基于磁场定向控制理论发展而来的。实现精确的磁场定向矢量控制需要在异步电动机内安装磁通检测装置, 要在异步电动机内安装磁通检测装置是很困难的, 但人们发现, 即使不在异步电动机中直接安装磁通检测装置, 也可以在通用变频

器内部得到与磁通相应的量，并由此得到了无速度传感器的矢量控制方式。它的基本控制思想是根据输入电动机的铭牌参数，按照一定的关系式分别对作为基本控制量的励磁电流（或者磁通）和转矩电流进行检测，并通过控制电动机定子绕组上的电压频率，使励磁电流（或者磁通）和转矩电流的指令值和检测值达到一致并输出转矩，从而实现矢量控制。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被控异步电动机的准确参数，因此需要在使用时准确地输入异步电动机的参数，并对拖动的电动机进行调谐整定，否则难以达到理想的控制效果。

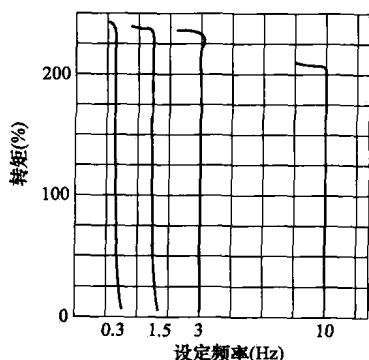


图 1-14 无速度传感器矢量控制方式起动转矩特性

无速度传感器矢量控制方式的基本技术指标定义是速度控制精度 $\pm 0.5\%$ ，速度控制范围 1:100，转矩控制响应小于 200ms，起动转矩大于 150%/0.5Hz。其中起动转矩指标，根据不同品牌的变频器其性能有所高低，大致在 150%~250%。如图 1-14 所示为某变频器无速度传感器矢量控制方式下的起动转矩特性，在 0.3Hz 极低速下能达到 150% 以上的转矩。

有时为了描述上的方便，也把无速度传感器的矢量控制方式称为开环矢量控制或无 PG 反馈矢量控制。

(二) 电动机参数的调谐整定

由于电动机磁通模型的建立必须依赖于电动机参数，因此选择无速度传感器矢量控制时，第一次运行前必须首先对电动机进行参数的调谐整定。目前新型矢量控制通用变频器已经具备异步电动机参数自动调谐、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调谐后存储在相应的参数组中，并根据调谐结果调整控制算法中的有关数值。

自动调谐（因在电动机旋转情况下进行，又称旋转式调谐）的步骤一般是这样的：首先在变频器参数中输入需要调谐的电动机基本参数，包括电动机的类型（异步电动机或同步电动机）、电动机的额定功率（单位是 kW）、电动机的额定电流（单位是 A）、电动机的额定频率（单位是 Hz）、电动机的额定转速（单位 r/min）；然后将电动机与机械设备分开，电动机作为单体；接着用变频器的操作面板指令操作，变频器的控制程序就会一边根据内部预先设定的运行程序自动运转，一边测定一次电压和一次电流，然后计算出电动机的各项参数。但在电动机与机械设备难以分开的场合却很不方便，此时可采用静止式调谐整定的方法，即将固定在任一相位、仅改变振幅而不产生旋转的三相交流电压施加于电动机上，电动机不旋转，由此时的电压、电流波形按电动机等效回路对各项参数进行运算，便能高精度测定控制上必需的电动机参数。在静止式调谐中，用原来方法无法测定的漏电流也能测定，控制性能进一步提高。利用静止式调谐技术，可对于机械设备组合在一起的电动机自动调谐、自动测定控制上所需的各项常数，因而显著提高了通用变频器使用的方便性。

从图 1-15 所示的异步电动机 T 型等效电路中可以看出，电动机除了常规的参数如电动机极数、额定功率、额定电流外，还有 R_1 （定子电阻）、 X_{11} （定子漏感抗）、 R_2 （转子电

阻)、 X_{2l} (转子漏感抗)、 X_m (互感抗) 和 I_0 (空载电流)。

参数辨识分电动机静止辨识和旋转辨识两种, 其中在静止辨识中, 变频器能自动测量并计算定子和转子电阻以及相对于基本频率的漏感抗, 并同时测量的参数写入; 在旋转辨识中, 变频器自动测量电动机的互感抗和空载电流。

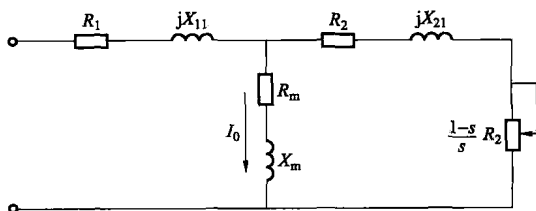


图 1-15 异步电动机稳态等效电路

(三) 速度调节器 ASR

速度调节器 ASR 的结构如图 1-16 所示, K_p 为比例增益, K_I 为积分时间。积分时间设为 0 时, 则无积分作用, 速度环为单纯的比例调节器。由于是无速度传感器矢量控制方式, 速度环的实际速度来源于变频器内部的实际计算值。

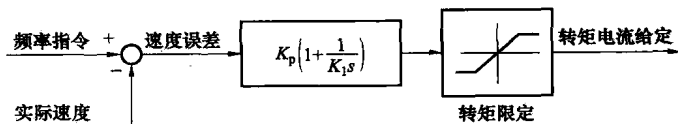


图 1-16 速度调节器简化框

速度调节器 ASR 的整定参数包括比例增益 P 和积分时间 I , 其数值大小将直接影响矢量控制的效果, 其目标就是要取得动态性能良好的阶跃响应, 如图 1-17 (a) 所示。具体调节的影响情况如下:

(1) 增加比例增益 P , 可加快系统的动态响应, 但 P 值过大, 系统容易振荡。

(2) 减小积分时间 I 值, 可加快系统的动态响应, 但 I 值过小, 系统超调就会增大, 且容易产生振荡。

(3) 通常先调整比例增益 P 值, 保证系统不振荡的前提下尽量增大 P 值, 然后调节积分时间 I 值使系统既有快速的响应特性又超调不大。

图 1-17 (b) 所示为比例增益 P 值与速度调节器 ASR 的阶跃响应关系, 图 1-17 (c) 所示为积分时间 I 值与速度调节器 ASR 的阶跃响应关系。

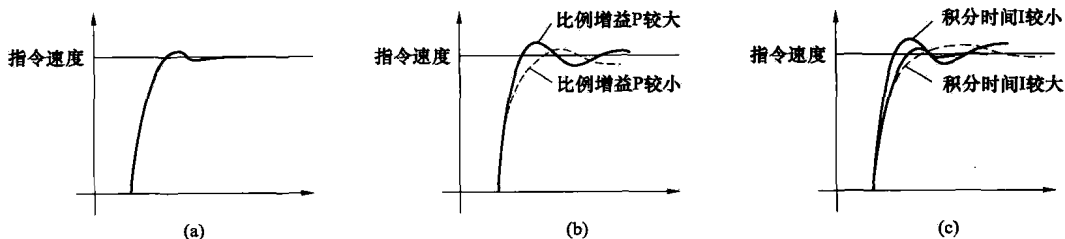


图 1-17 速度调节器 ASR 的阶跃响应与 PI 参数的关系

(a) 参数整定情况一; (b) 参数整定情况二; (c) 参数整定情况三

一般的矢量变频器为了适应电动机低速和高速带载运行有快速响应的情况, 都设有两套 PI 参数值 (即低速 PI 值和高速 PI 值), 同时设有切换频率。为了保证两套 PI 值的正常过渡, 一些变频器还另外设置了两个切换频率, 即切换频率 1 和切换频率 2, 如图 1-18 所