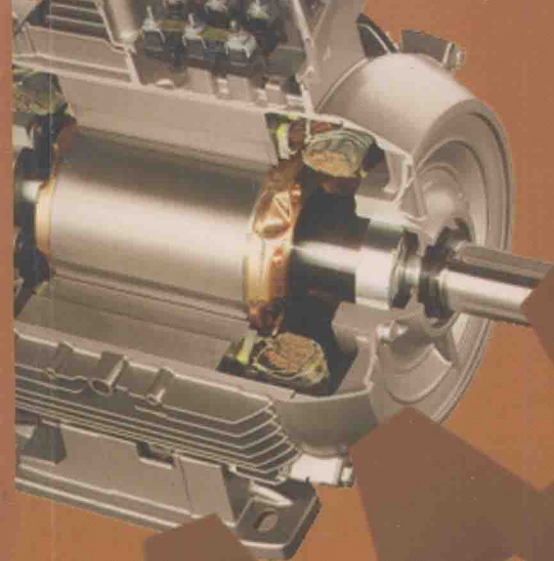




朱景伟 主编
谭 跃 主审

交流电机 变频调速原理

JIAOLIU DIANJI
BIANPIN TIAOSU YUANLI

大连海事大学出版社

交流电机变频调速原理

朱景伟 主编
谭 跃 主审

大连海事大学出版社

© 朱景伟 2014

图书在版编目(CIP)数据

交流电机变频调速原理 / 朱景伟主编. — 大连 : 大连海事大学出版社, 2014. 3
ISBN 978-7-5632-2983-3

I. ①交… II. ①朱… III. ①交流电机—变频调速 IV. ①TM340.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 041704 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路 1 号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:9.5

字数:232 千 印数:1 ~ 700 册

出版人:徐华东

责任编辑:董玉洁 责任校对:葛 瀛

封面设计:王 艳 版式设计:冰 清

ISBN 978-7-5632-2983-3 定价:19.00 元

前 言

近年来,随着电力电子技术、计算机技术和现代控制理论的发展,交流变频调速技术已经进入一个崭新的时代,新的产品不断涌现并在工程实践中得到广泛应用。随着船舶自动化程度越来越高,先进的交流变频调速装置正在逐步取代落后的电动机控制设备。本书是依据船舶电子电气工程专业培养计划和“交流变频调速”课程的教学大纲编写而成的,主要作为船舶电子电气工程专业本科教学用书。

为了满足国家海事局电子电气员适任证书考试大纲的要求,本书对考试大纲要求的有关知识做了详细介绍。同时,为了满足知识的系统性和教学内容跟踪学科最新技术发展的需要,本书中还包括考试大纲中没有涉及的交流电机矢量控制技术和直接转矩控制技术。为了体现理论与实际相结合的理念,本书还增加了交流变频调速工程实用技术的内容。

本书共分为6章。第1章绪论,主要介绍异步电动机的基本知识、调速方法和变频调速技术的发展。第2章变频调速装置及PWM控制技术,主要包括变频器的概念和分类、交-直-交和交-交变频器、SPWM控制技术、电流滞环跟踪PWM控制技术、SVPWM控制技术和中压变频器。第3章基于稳态模型的异步电动机变压变频调速系统,主要包括转速开环恒压频比控制变频调速系统和转速闭环转差频率控制的变频调速系统。第4章基于动态模型的异步电动机变压变频调速系统,主要包括异步电动机动态数学模型、坐标变换,矢量控制技术和直接转矩控制技术。第5章同步电动机变压变频调速系统。第6章变压变频调速系统的工程实用技术,主要包括通用变频器的结构、外围设备、参数设置和调试方法、控制电路设计、维护和故障处理方法等。

研究生张晓晨、张帆、刘清官、刘东星、刁亮、任宝珠等参与了本书部分章节的编写工作;王霞、董庆明、巩洪峰、闫新远参与了本书部分文字的录入工作。大连海事大学谭跃教授担任主审并提出许多宝贵意见。在编写过程中参考了阮毅教授主编的《电力拖动自动控制系统》、张承慧教授主编的《交流电机变频调速及其应用》等教材和西门子公司产品说明书的内容,并引用了部分插图,在此一并表示诚挚的谢意。

因作者水平有限,书中难免有疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2013 年 12 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 异步电动机的工作原理及特性	(1)
1.2 交流电动机调速	(4)
1.3 变压变频调速技术及其发展	(7)
第 2 章 变频调速装置及 PWM 控制技术	(10)
2.1 变频器的概念及分类	(10)
2.2 交-直-交电压源型变频器	(12)
2.3 交-直-交电流源型变频器	(17)
2.4 交-交变频器	(22)
2.5 正弦波脉冲宽度调制控制技术	(27)
2.6 电流滞环跟踪型 PWM 控制技术	(33)
2.7 电压空间矢量 PWM 控制技术	(35)
2.8 中压变频器	(46)
第 3 章 基于稳态模型的异步电动机变压变频调速系统	(57)
3.1 异步电动机的稳态数学模型及其机械特性	(57)
3.2 转速开环恒压频比控制变频调速系统	(59)
3.3 转速闭环转差频率控制的变频调速系统	(66)
第 4 章 基于动态模型的异步电动机变压变频调速系统	(70)
4.1 异步电动机动态数学模型的性质	(70)
4.2 三相异步电动机的动态数学模型	(71)
4.3 坐标变换和变换矩阵	(76)
4.4 异步电动机在正交坐标系上的动态数学模型	(80)
4.5 异步电动机在正交坐标系上的状态方程	(83)
4.6 异步电动机按转子磁链定向的矢量控制系统	(90)
4.7 异步电动机按定子磁链控制的直接转矩控制系统	(100)
第 5 章 同步电动机变压变频调速系统	(108)
5.1 同步电动机的调速系统	(108)

5.2	梯形波永磁同步电动机调速系统	(109)
5.3	正弦波永磁同步电动机调速系统	(111)
第6章	变压变频调速系统的工程实用技术	(114)
6.1	通用变频器的结构原理及选择原则	(114)
6.2	通用变频器的接线端子	(119)
6.3	通用变频器外围设备及选择方法	(120)
6.4	通用变频器的主要参数	(124)
6.5	西门子 MM440 变频器参数设置及调试方法	(127)
6.6	变频器的控制电路设计	(133)
6.7	通用变频器的检查与故障处理	(140)
参考文献		(144)

第 1 章 绪论

1.1 异步电动机的工作原理及特性

1.1.1 异步电动机的工作原理

异步电动机是一种旋转电机,由定子和转子两大部分组成。其中定子由定子铁芯、定子绕组和机座 3 个主要部分组成,转子由转子铁芯、转子绕组和转轴组成。按转子结构不同,异步电动机分为笼型异步电动机和绕线转子异步电动机两种。这两种电动机定子结构完全一样,只是转子结构不同。

如图 1-1 所示为异步电动机的工作原理图。三相异步电动机定子接三相电源后,电机内便形成一个以同步转速 n_0 旋转的圆形旋转磁场,同步转速 n_0 为

$$n_0 = \frac{60f_1}{n_p} \quad (1-1)$$

式中 f_1 为电机定子供电频率, n_p 为电机的极对数。

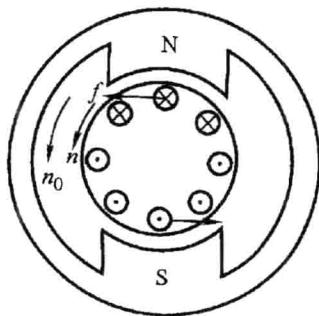


图 1-1 异步电动机工作原理图

如图 1-1 所示,假设电机的旋转方向为逆时针,三相异步电动机的基本原理如下:

- (1) 三相对称绕组中通入三相对称电流产生圆形旋转磁场;
- (2) 转子导体切割旋转磁场感应电动势和电流;
- (3) 转子的载流导体在磁场中受到电磁力的作用,形成电磁转矩,驱使电动机转子转动。

异步电动机的旋转方向始终与旋转磁场的旋转方向一致,而旋转磁场的方向又取决于异步电动机的三相电流相序,因此,三相异步电动机的转向与电流的相序一致。要改变转向,只需改变电流的相序即可,即任意对调电动机的两根电源线,便可使电动机反转。

异步电动机的转速恒小于旋转磁场转速 n_0 。如果 $n = n_0$,转子绕组与定子磁场之间便无相对运动,则转子绕组中无感应电动势和感应电流产生。我们把 $\Delta n = n_0 - n$ 称为转速差,而把 Δn 与 n_0 之比称为转差率,用 s 表示,即

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} \quad (1-2)$$

转差率是异步电动机的一个重要参数。一般异步电动机的额定转差率在 $0.02 \sim 0.05$ 之间。对异步电动机而言,当转子尚未转动(如启动瞬间)时, $n = 0$, 此时转差率 $s = 1$; 当转子转速接近同步转速(空载运行)时, $n \approx n_0$, 此时转差率 $s \approx 0$ 。由此可见,作为异步电动机,转速在 $0 \sim n$ 范围内变化,其转差率 s 在 $0 \sim 1$ 范围内变化。

异步电动机负载越大,转速就越慢,其转差率就越大;反之,负载越小,转速就越快,其转差率就越小。转差率直接反映了转子转速的快慢或电动机负载的大小。

1.1.2 异步电动机的等效电路

根据电机学原理,在下述三个假定条件下:(1) 忽略空间和时间谐波;(2) 忽略磁路饱和;(3) 不考虑温度和频率变化对电动机参数的影响。交流异步电动机在稳态时每相的等效电路如图 1-2 所示。

图 1-2 中各参量的定义如下: R_s 、 R'_r 分别是定子每相绕组电阻和折合到定子侧的转子每相绕组电阻, R_m 是铁芯损耗的等效电阻; L_{ls} 、 L'_{lr} 分别是定子每相绕组漏感和折算到定子侧的转子每相漏感; L_m 是励磁电感, U_s 为定子相电压, I_s 、 I'_r 分别为定子相电流和折合到定子侧的转子相电流, I_m 是励磁电流, s 为转差率。

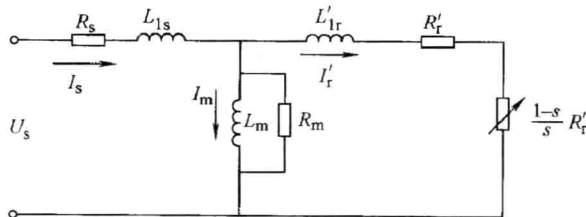


图 1-2 交流异步电动机在稳态时每相的等效电路

由于频率折算,转子电路中多了附加电阻 $\frac{1-s}{s}R'_r$,实际的转子并无这个电阻及其电阻上的损耗。事实上,该附加电阻中的损耗 $I'^2_r R'_r \frac{1-s}{s}$ 代表了实际电动机中的总机械功率,这就是它的物理意义。因为机械功率与转速(或转差率)有关,且是纯粹的有功输出,所以用一个与 s 有关的可变电阻来模拟。

1.1.3 异步电动机的转矩与机械功率

在图 1-2 的等效电路中忽略铁芯损耗(R_m 无限大),可以导出

$$I'_r = \frac{U_s}{\sqrt{\left(R_s + C_1 \frac{R'_r}{s}\right)^2 + \omega_1^2 (L_{ls} + C_1 L'_{lr})^2}} \quad (1-3)$$

式中 $\omega_1 = 2\pi f_1$, 是定子供电角频率; $C_1 = 1 + \frac{R_s + j\omega_1 L_{ls}}{j\omega_1 L_m} \approx 1 + \frac{L_{ls}}{L_m}$

一般情况下, $L_m \gg L_{ls}$ 则 $C_1 \approx 1$, 这样,电流公式可简化为

$$I'_r = \frac{U_s}{\sqrt{\left(R_s + \frac{R'_r}{s}\right)^2 + \omega_1^2 (L_{ls} + C_1 L'_{lr})^2}} \quad (1-4)$$

在异步电动机开始启动时 $n = 0$, $s = 1$, 转子等效电阻较小,定、转子电流都很大,转子功

率因数较低,起动转矩较小;空载运行时,转子转速接近同步转速, $s \approx 0$,转子等效电阻很大,转子电流很小,定子电流基本上等于励磁电流,功率因数很低,所以应尽量避免异步电动机空载运行;异步电动机额定负载运行时, $s \approx 0.05$,此时转子回路总电阻约为 R'_r 的 20 倍,功率因数较高,转子电流大部分为有功分量。这时,定子回路的功率因数也较高,可达 0.80 ~ 0.90。

当异步电动机运行于电磁制动状态时,因为转子的转向与气隙磁场转向相反, $s > 1$,所以值 $\frac{1-s}{s}R'_r$ 为负,说明转子轴上输出的机械功率 $\frac{1-s}{s}I_r^2 R'_r$ 为负,即机械功率不是输出而是输入。这种状态下电动机既吸收机械功率也吸收电功率,都转化为电动机铜损耗。

把转子的总机械功率 P_Ω 除以机械角速度 ω_m ,可得转子的电磁转矩 T_e 为

$$T_e = \frac{P_\Omega}{\omega_m} \quad (1-5)$$

同步机械角速度为

$$\omega_0 = \frac{\omega_1}{n_p} = \frac{2\pi f_1}{n_p} \quad (1-6)$$

由于总机械功率 $P_\Omega = (1-s)P_e$,转子机械角速度 $\omega_m = (1-s)\omega_0$,所以电磁转矩 T_e 也可以写成

$$T_e = \frac{P_e}{\omega_0} = \frac{P_\Omega}{\omega_m} \quad (1-7)$$

在工程计算中,机械功率 P_Ω 由下式决定:

$$P_\Omega = T_e n / 9550 \quad (1-8)$$

式中, T_e 为电磁转矩(N·m); n 为转速(r/min); P_Ω 为机械功率(kW)。由式(1-8)可知,电动机输出的机械功率与电磁转矩和转速的乘积成正比。

1.1.4 异步电动机的功率损耗与效率

(1) 功率损耗

异步电动机在带负载稳定运行时,由电源输入到电动机定子的功率为

$$P_1 = m_1 U_s I_s \cos \varphi_s \quad (1-9)$$

式中, P_1 为定子绕组的输入功率; m_1 为电机的相数; $\cos \varphi_s$ 为定子绕组的功率因数。

P_1 的一小部分是消耗于定子电阻上的定子铜耗 P_{Cu1} 和定子铁芯中的铁耗 P_{Fe} 。定子铜耗是定子电流通过绕组时产生的热损耗,其大小为

$$P_{Cu1} = m_1 I_s^2 R_s \quad (1-10)$$

铁芯损耗是由于交变磁通在定、转子铁芯中产生的磁滞及涡流损耗。输入电功率减去定子铜耗、铁耗后所余下的大部分电功率借助于气隙旋转磁场由定子传送到转子,这部分功率就是异步电动机的电磁功率 P_e 。电磁功率传送到转子以后,在转子电阻上又产生了转子铜耗 P_{Cu2} ,其大小为

$$P_{Cu2} = m_1 I_r^2 R'_r \quad (1-11)$$

转子上的铜耗又叫转差功率 P_s 。在电机正常运行中,由于转差率很小,所以转差功率也很小。从定子传送到转子的电磁功率扣除转子铜耗(即转差功率)以后,便是使转子产生旋转运动的总机械功率 P_Ω 。总机械功率扣除了机械损耗和杂散损耗之和 ΔP_j ,就得到轴上输出的净机械功率 P_2 。

(2) 效率

异步电动机的效率 η 定义为输出功率 P_2 与定子侧输入功率 P_1 的比值

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{loss}}} \quad (1-12)$$

式中 $P_{\text{loss}} = P_{\text{Cu1}} + P_{\text{Cu2}} + P_{\text{Fe}} + \Delta P_{\text{J}}$ 。

异步电动机的效率通常在 75% 额定负载附近达到最大,轻载时效率明显下降。

1.1.5 异步电动机的机械特性

与直流电动机一样,异步电动机的机械特性是指异步电动机的电磁转矩与转速的关系,即 $T_e = f(n)$ 。但因异步电动机的转差率与转速之间有着固定的关系,所以通常把电磁转矩与转差率之间的关系,即 $T_e = f(s)$ 也称为异步电动机的机械特性。

由电机学理论可知,三相异步电动机的机械特性的表达式为

$$T_e = \frac{3n_p U_s^2 R'_r / s}{\omega_1 \left[(R_s + \frac{R'_r}{s})^2 + \omega_1^2 (L_l s + L'_{lr})^2 \right]} \quad (1-13)$$

由式(1-13)可知,当电源频率 ω_1 、转速或转差率一定时,电磁转矩 T_e 与定子电压 U_s 的二次方成正比。当电压 U_s 和频率 ω_1 一定时,机械特性方程式 $T_e = f(s)$ 是一个二次表达式。其固有机械特性如图 1-3 所示。异步电动机一般工作在机械特性的线性段。

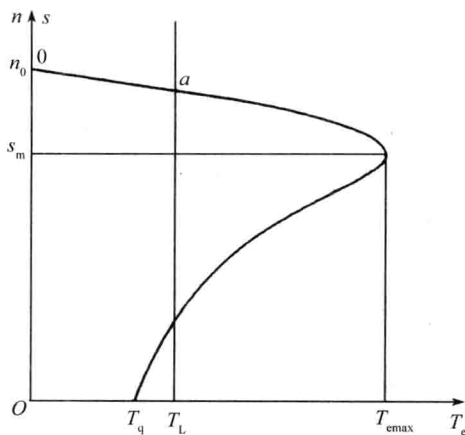


图 1-3 异步电动机固有机械特性

1.2 交流电动机调速

1.2.1 交流调速的基本概念及特点

(1) 交流调速的基本概念

交流调速和速度改变虽然都使交流拖动系统的转速发生变化,但其本质是不同的。交流调速是指在负载没有改变的情况下,根据生产过程需要人为地、强制性地改变交流拖动系统的转速。而拖动系统的速度改变是由于负载变化而引起拖动系统转速的改变。

(2) 交流调速的性能指标

调速范围:指电动机在额定负载时所能达到的最高转速 $n_{L\max}$ 与最低转速 $n_{L\min}$ 之比,

$$\text{即 } \alpha_L = \frac{n_{L\max}}{n_{L\min}}。$$

静差率:当系统在某一转速下运行时,负载由理想空载增加到额定值所引起的额定转速降落 Δn ,与理想空载转速 n_0 之比。即 $s = \frac{\Delta n}{n_0} = \frac{n_0 - n}{n_0}。$

(3) 交流调速系统的组成和特点

交流调速系统的组成如图 1-4 所示。图中的电力电子功率变换器由电力电子器件构成,完成交-直-交或交-交变换。控制器(或称控制装置)是由大规模集成电路或微处理器构成,现代交流调速系统大多选用 32 位 DSP 芯片或单片机等,控制更为可靠,而且体积小,成本低。传感器用于检测电压、电流和转速等参数。通常将功率变换器与控制器及传感器集中于一体,称为变频器(或称变频调速装置),变频器的功能是将电压和频率都固定的交流电源转换为电压和频率都可调的交流电源。

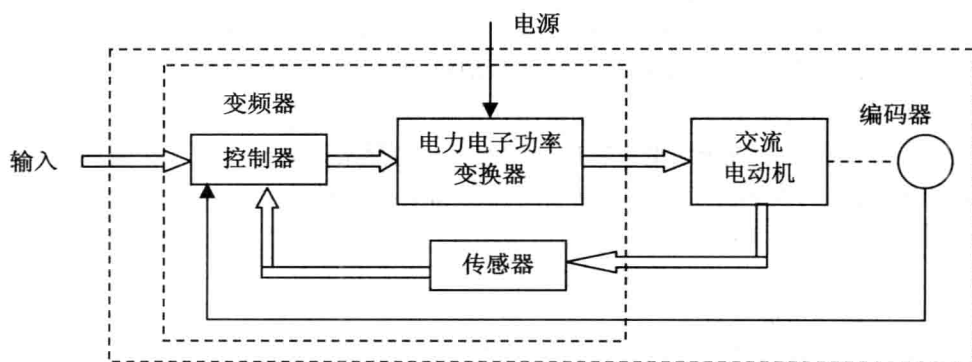


图 1-4 交流调速系统组成框图

交流调速系统具有如下特点:

- ① 容量大:直流电机容量为(12 ~ 14)MW,而交流电机容量可达数十兆瓦。
- ② 转速高且耐压:直流电机转速一般小于 10 000 r/min,交流电机每分钟可达数万转;直流电机的耐压为 1 000 V,而交流电机耐压可达(6 ~ 10) kV。
- ③ 交流电机体积、重量、价格比同等容量的直流电机小,且结构简单、经济可靠、惯性小。
- ④ 交流电机环境适应性强,坚固耐用,可在十分恶劣的环境下使用。
- ⑤ 交流调速系统能显著地节能。如一套 2 050 mm 的热连轧板机,精轧采用变频调速后每年比直传动节电 1 150 000 kW · h。

由于交流传动系统具有上述特点,因此在许多领域得到广泛的应用。

1.2.2 异步电动机的调速方法及分类

交流电动机有异步电动机(即感应电动机)和同步电动机两大类。每种电动机又都有不同类型的调速方法。

异步电动机的同步转速和实际转速分别为:

$$n_0 = \frac{60f_1}{n_p} = \frac{60\omega_1}{2\pi n_p} \quad (1-14)$$

$$n = (1 - s)n_0 \quad (1-15)$$

根据上面公式,可以通过改变异步电动机的供电频率、转差率和极对数来改变电机的转速。常用的异步电动机调速方法包括如下6种:变压调速、转差离合器调速、转子回路串电阻调速、绕线转子电动机串级调速、变极对数调速和变压变频调速。

(1) 变压调速

异步电动机变压调速的理论依据是电磁转矩与定子电压的平方成正比,因此通过改变定子绕组的电压可以改变电机的转速。变压调速是一种既简单又经济的异步电动机调速方法。这种方法也被广泛地用作不调速异步电动机的软启动器,用以限制启动电流。当定子电压降低时,电动机的同步转速 n_0 和临界转差率 s_m 均不变,但是电机的转差率增加,导致转差功率增加,因此该调速方法运行效率降低。

(2) 转差离合器调速

转差离合器调速系统实际上是一台带有电磁转差(滑差)离合器的普通笼型感应电动机。该电机又叫滑差电动机。电磁转差离合器由电枢和磁极两部分组成,两者之间无机械联系,各自能独立旋转。电枢为一由铸钢制成的空心圆柱体,与感应电动机的转子直接连接,由感应电动机带动旋转,称为主动部分。磁极由直流电源励磁,并与生产机械直接连接,称为从动部分。当感应电动机带动离合器电枢旋转时,电枢便切割磁场产生涡流并产生电磁转矩。电磁转矩驱使磁极转子并带动生产机械沿电枢转向方向旋转。电磁滑差离合器的工作原理和感应电动机的相同,电磁力矩的大小决定于磁极磁场的强弱和电枢与磁极之间的转差。因此当负载转矩一定时,若改变励磁电流的大小,使电磁力矩不变,磁极的转速必将发生变化,这就达到了调速的目的。由于变频调速技术的发展,目前该方法已经很少使用。

(3) 转子回路串电阻调速

绕线转子异步电动机的转子绕组可以通过滑环和电刷引出电机。通过改变串接在转子上的电阻的大小来调节电机转速的方法叫转子回路串电阻调速。当电动机拖动恒转矩负载时,可以得到不同的转速,外串电阻越大,转速越低。在低速下运行时机械特性很软,负载转矩稍有变化即会引起很大的转速波动,稳定性不好,但设备简单,初投资低。

(4) 绕线转子电动机串级调速

串级调速是在绕线转子异步电动机转子回路中串入一个与转子电动势频率相同、相位相同或相反的附加电动势,利用改变附加电动势的大小来调节转速的一种调速方法。

(5) 变极对数调速

所谓变极对数调速,就是通过改变电动机定子绕组的接线,改变电动机的磁极对数,从而达到调速的目的。变极调速方法一般适于笼型异步电动机。因为笼型异步电动机转子绕组本身没有固定的极对数,能自动地与定子绕组相适应。一般在两种或三种速度之间切换,调速不平滑,但效率高。

(6) 变压变频调速

变压变频调速是改变异步电动机同步转速的一种调速方法。变频调速的主要优点是调速范围宽,静差率小,稳定性好,平滑性好,能实现无级调速,能适应各种负载,效率较高,但它需要一套专门的变频电源,控制系统较复杂,成本较高。变压变频调速是目前应用最广泛的交流电机调速方法。因此,本书主要介绍变压变频调速原理及工程实用技术。

按照交流异步电动机的原理,可以把从定子传入转子的电磁功率分成两部分:一部分是带

动负载的有效功率,称作机械功率;另一部分是传给转子回路的,与转差率成正比的转差功率。从能量转换的角度看,转差功率是否增大,是消耗掉还是得到回收,是评价调速系统效率高低的标志。从这点出发,可以把异步电动机的调速系统分成以下三类。

(1) 转差功率消耗型调速系统

在这类调速系统中,全部转差功率都转换成热能消耗在转子回路中。变压调速、转差离合器调速和转子回路串电阻调速三种调速方法都属于这一类。在三类异步电动机调速系统中,这类系统的效率最低,而且越到低速时,效率越低,它是以增加转差功率的消耗使转速下降(恒转矩负载时)。相对来说,这类系统的结构简单,设备成本最低,所以还有一定的应用价值。

(2) 转差功率馈送型调速系统

在这类调速系统中,除转子铜耗外,大部分转差功率在转子侧通过变流装置馈出或馈入,转速越低,能馈送的功率越多。绕线转子电动机串级调速方法就属于这一类,无论是馈出还是馈入的转差功率,扣除变流装置本身的损耗后,最终都转化成有用的功率,因此这类调速系统的效率较高,但要增加一些设备。

(3) 转差功率不变型调速系统

在这类调速系统中,转差功率只有转子铜耗,而且无论转速高低,转差功率基本不变,因此效率更高。变极对数调速和变压变频调速方法属于此类。其中变极对数调速是有级的(即调速时分割为3~5级,每级规定一种速度),其应用场合有限。只有变压变频调速应用最广,可以构成高动态性能的交流调速系统,并且可以取代直流调速系统。但在定子回路中需配备与电动机容量相当的变压变频器,相比之下,设备成本最高。

1.2.3 同步电动机的调速方法

同步电动机没有转差,也就没有转差率,所以同步电动机调速系统只能是转差功率不变型(恒等于0),而同步电动机转子极对数又是固定的,因此只能靠变压变频调速,没有像异步电动机那样的多种调速方法。在同步电动机的变压变频调速方法中,根据频率控制的方法不同,可分为他控变频调速和自控变频调速两大类。

和异步电动机变压变频调速方法一样,用独立的变频装置给同步电机提供变压变频电源来控制其转速的方法叫作他控变频调速;用电机轴上所带的转子位置检测器来控制变频装置脉冲时刻的调速方法是自控变频调速。由于后者利用转子磁极位置的检测信号来控制变压变频装置换相,类似于直流电动机中电刷和换向器的作用,因此有时又称做无换向器电动机调速,或无刷直流电动机调速。

正弦波永磁同步电动机(或直接称作永磁同步电动机)(Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM)和无刷直流电动机(Brushless DC Motor, BLDM)本质上都是永磁式的同步电动机,它们都采用自控变频调速方法。

1.3 变压变频调速技术的发展

1.3.1 变压变频调速技术的发展

变压变频调速技术的发展主要体现在变频器技术的发展。而变频器是随着微电子学、电力电子技术、计算机技术和自动控制理论等的不断发展而发展起来的。

(1) 电力电子器件是变频器发展的基础

变频器的主电路不论是交-直-交变频或是交-交变频形式,都是采用电力电子器件作为开关器件。因此,电力电子器件是变频器发展的基础。

早期的变频器由晶闸管等分立电子元器件组成,还未采用计算机控制技术,不仅可靠性差、频率低,而且输出的电压和电流的波形是方波。

当电力晶体管(GTR)和门极可关断晶闸管(GTO)管问世并成为逆变器的功率器件时,脉宽调制(PWM)技术也进入到应用阶段,这时的逆变电路能够得到相当接近正弦波的输出电压和电流,同时8位微处理器成为变频器的控制核心,按恒压频比控制原理实现异步电动机变频调速,在工作性能上有了很大提高。

后来人们研制出绝缘栅双极晶体管(IGBT)和集成门极换流晶闸管(IGCT),其优良的性能很快取代了GTR,进而广泛采用的是性能更为完善的智能功率模块IPM,使得变频器的容量和电压等级不断扩大和提高。

(2) 计算机技术和自动控制理论是变频器发展的支柱

现在,16位乃至32位微处理器取代了8位微处理器,使变频器的功能也从单一的变频调速功能发展为包含算术、逻辑运算及智能控制的综合功能;自动控制理论的发展使变频器在改善恒压频比控制性能的同时,推出了能实现矢量控制、直接转矩控制、模糊控制和自适应控制等多种模式。现代的变频器已经内置有参数辨识系统、PID调节器、PLC控制器和通信单元等,根据需要可实现拖动不同负载、宽调速和伺服控制等多种应用。

(3) 市场需求是变频器发展的动力

直流调速系统具有良好的调速性能,因此在过去很长一段时间内被广泛使用。直流调速系统的优点主要表现在调速范围广、性能稳定和过载能力强等技术指标上,特别是在低速时仍能得到较大的过载能力,是其他调速方法无法比拟的。但直流调速系统也有着不可回避的弱点,主要表现在直流电动机结构复杂,要消耗大量有色金属,且换向器及电刷维护保养困难、寿命短、效率低等。

交流电动机结构简单,成本低廉,运行控制比较方便,在工农业生产中得到广泛应用。但在过去很长一段时间内,由于没有变频电源,异步电动机只能工作在不要求变速或对调速性能要求不高的场合。

变频器的问世为交流电动机的调速提供了契机,不仅要取代结构复杂、价格昂贵的直流电动机调速,而且原来由交流电机拖动的负载实现变频调速后能节省大量的能源。据调查统计,全国各类电动机耗电量约占全国发电量的70%。其中80%为异步电动机,大多数电动机长时间处于轻载运行状态,特别是风机、泵类负载的电动机。若在此类负载上使用变频调速装置,将可节电30%左右。

目前,变频器作为商品在国内的销售额呈逐年增加趋势,销售前景十分看好,据有关资料报道,在过去几年内中国变频器市场保持着12%~15%的增长率,这一速度远远超过了近几年GDP的增长速度,变频器已逐步进入全面推广应用的时期。

1.3.2 变压变频调速技术的发展趋势

近年来电力电子新器件向着高电压、大容量化、高频化、组件模块化、微型化、智能化和低成本化方向发展,多种适宜变频调速的新型电气设备正在开发研制之中。随着IT技术的迅猛发展,以及控制理论的创新,这些与变频器相关的技术的发展将影响其发展的趋势。变压

变频调速技术的发展趋势主要体现在如下几个方面。

(1) 智能化

智能化的变频器安装到系统后,不必进行那么多的功能设定,就可以方便地操作使用,有明显的工作状态显示,而且能够实现故障诊断与故障排除,甚至可以进行部件自动转换。利用互联网可以遥控监视,实现多台变频器按工艺程序联动,形成最优化的变频器综合管理控制系统。

(2) 专门化

根据某一类负载的特性,有针对性地制造专门化的变频器,这不但利于对有负载的电动机进行经济有效的控制,而且可以降低制造成本。例如:风机、水泵专用变频器、起重机械专用变频器、电梯控制专用变频器、张力控制专用变频器和空调专用变频器等。

(3) 一体化

变频器将相关的功能部件,如将参数辨识系统、PID 调节器、PLC 控制器和通信单元等有选择地集成到内部组成一体化机,不仅使功能增强,系统可靠性增加,而且可有效缩小系统体积,减少外部电路的连接。据报道,现在已经研制出变频器和电动机的一体化组合机,使整个系统体积更小,控制更方便。

(4) 环保化

保护环境,制造“绿色”产品是人类的新理念。今后的变频器将更侧重于节能和低公害,即尽量减少使用过程中的噪声和谐波对电网及其他电气设备的污染干扰。

总之,变频技术的发展趋势是朝着智能、操作简便、功能健全、安全可靠、环保低噪、低成本和小型化的方向发展。

第2章 变频调速装置及 PWM 控制技术

对于交流电动机的变压变频调速,必须具备能够同时控制电压幅值和频率的交流电源,而电网提供的是恒压恒频的电源,因此应该配置变压变频器,又称 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)装置,本书简称为变频器。

2.1 变频器的概念及分类

变频器是将固定电压、固定频率的交流电变换为可调电压、可调频率的交流电的装置。变频器的问世,使电气传动领域发生了一场技术革命,即交流调速取代直流调速。变频器的种类很多,下面根据不同的分类方式进行简单介绍。

2.1.1 按变换环节分类

变频器按变换环节可分为如下两类。

(1) 交-交变频器

交-交变频器直接将电网频率和电压都固定的交流电源变换成频率和电压都连续可调的交流电源,又称为直接变频装置。主要优点是没有中间环节,变换效率高。缺点是连续可调的频率范围比较窄,且只能在电网的固定频率以下变化。其主要用于电力牵引等容量较大的低速拖动系统中。

(2) 交-直-交变频器

交-直-交变频器是先把频率固定的交流电整流成直流电,再把直流电逆变成频率连续可调的三相交流电。交-直-交变频器由 AC/DC、DC/AC 两类基本的变流电路组合形成,由于这类变频器在恒频交流电源和变频交流电源输出之间有一个“中间直流环节”,又称为间接交流变频装置。由于直流环节的储能方式不同,交-直-交变频器中的逆变器又分为电压源型逆变器(Voltage Source Inverter—VSI)和电流源型逆变器(Current Source Inverter—CSI)。

当中间直流环节采用大电容滤波时,直流电压波形比较平直,在理想情况下是一个内阻抗为零的恒压源,这类变频装置叫作电压源型变频器。当中间直流环节采用大电感滤波时,直流电流波形比较平直,因而电源内阻抗很大,对负载来说基本上是一个电流源,这类变频装置叫作电流源型变频器。这两种变频器的结构如图 2-1 所示。图中 R、S、T 是变频器的输入端,与电网连接。U、V、W 是变频器的输出端,与交流电机相连。

2.1.2 按控制方式分类

根据控制方式的不同,变频器可以分为如下四种类型。

(1) 恒压频比控制变频器

恒压频比(U/f)控制变频器的控制方法是在改变频率的同时控制变频器的输出电压,通过使电压和频率的比保持一定或按一定的规律变化而得到所需要的转矩特性。采用恒压频比控制的变频器结构简单、成本低,多用于要求精度不是太高的通用变频器。

(2) 转差频率控制变频器

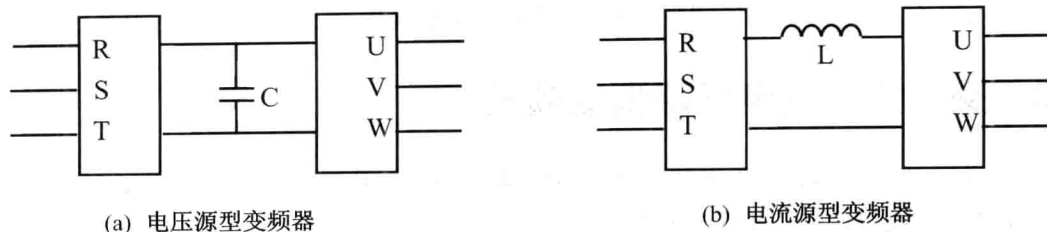


图 2-1 电压源型变频器与电流源型变频器的结构

转差频率控制方式是对恒压频比控制的一种改进。这种控制需要由安装在电动机上的速度传感器检测出电动机的转速,构成速度闭环。速度调节器的输出为转差频率,而变频器的输出频率则由电动机的实际转速与所需转差频率之和决定。由于通过控制转差频率来控制转矩和电流,与 U/f 控制相比,其加减速特性和限制过电流的能力得到提高。

(3) 矢量控制变频器

矢量控制是一种高性能异步电动机控制方式,它的基本思路是将电动机的定子电流分为产生磁场的电流分量(励磁电流)和与其垂直的产生转矩的电流分量(转矩电流),并分别加以控制。由于在这种控制方式中必须同时控制异步电动机定子电流的幅值和相位,即定子电流的矢量,因此这种控制方式被称为矢量控制方式。

(4) 直接转矩控制变频器

直接转矩控制与矢量控制不同,它不是通过控制电流、磁链等量来间接控制转矩,而是把转矩直接作为被控矢量来控制。其特点为转矩控制是控制定子磁链,并能实现无传感器测速。

2.1.3 按功能分类

按照功能不同,变频器可分为如下两种类型。

(1) 恒转矩变频器

变频器的控制对象具有恒转矩特性,在转速精度及动态性能方面要求一般不高。当用变频器进行恒转矩调速时,必须加大电动机和变频器的容量,以提高低速转矩。主要用于挤压机、搅拌机、传送带、提升机等。

(2) 平方转矩变频器

变频器的控制对象在过载能力方面要求不高,由于负载转矩与转速的平方成正比,所以低速运行时负载较轻,并具有节能的效果。主要用于风机和泵类负载。

2.1.4 按用途分类

根据用途不同,变频器可分为如下三种类型。

(1) 通用变频器

通用变频器是指能与普通的异步电动机配套使用,能适合于各种不同性质的负载,并具有多种可供选择功能的变频器。一般用途多数使用通用变频器,但在使用之前必须根据负载性质、工艺要求等因素对变频器进行详细设置。

(2) 高性能专用变频器

高性能专用变频器主要用于对电动机的控制要求较高的系统。与通用变频器相比,高性能专用变频器大多数采用矢量控制方式,驱动对象通常是变频器生产厂家指定的专用电动机。

(3) 高频变频器

在超精度加工和高性能机械中,通常要用到高速电动机。为了满足这些高速电动机的驱