

## 三相变频调速异步电动机设计与分析

吴亚麟

(福州职业技术学院, 福建 福州 350108)

**摘要** 分析由变频器供电的变频调速异步电动机气隙磁势, 讨论恒转矩负载时三相变频调速异步电动机特性, 结合研制的2极、功率3.5~4.5kW、频率80~100Hz变频调速木工同异步电动机样机的实测结果, 阐述恒转矩负载时设计特点。

**关键词** 异步电动机 磁势 变频调速 恒转矩

**中图分类号:** TM344 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-5963(2004)04-0050-03

## Design and Analysis on the Three-phase Asynchronous Motor Property of Frequency Control

WU Yaling

(Fuzhou Vocational &amp; Technical College, Fuzhou, Fujian 350108)

**Abstract** Analysis the asynchronous motor magnetic tendency and discussion permanent torque load of frequency control of air gap that supplies power from frequency converter the three-phase asynchronous motor property of frequency control, combine the 2 pole of power frequency 80~100 Hz of 3.5~4.5 kW the result of R&D of the very woodwork asynchronous motor prototype of frequency control, elaborate permanent torque load of design characteristic.

**Key words** asynchronous motor magnetic tendency frequency control permanent torque

## 1 变频调速异步电动机旋转磁势

电机的气隙磁场决定了电机能量转换的能力。变频调速异步电动机的气隙磁场是通过变频器供给的激磁电流而产生的。虽然现在的变频器技术性能有所提高, 负载容量增大, 使异步电动机的变频调速范围加宽, 但是, 变频器的输出电压波形品质仍是比较差, 其中除了基波分量外, 还包含有一系列高次谐波分量, 当输入到异步电动机定子绕组时, 定子绕组中电流就建立了三相基波和一系列高次谐波的合成旋转磁势, 对基波磁势而言, 三相定子绕组合成磁势以 $\omega$ 角速度旋转, 对 $\nu$ 次谐波磁势而言, 三相定子绕组合成磁势以 $\nu\omega$ 角速度旋转, 电动机定子绕组采用Y接法, 可以消除三次及三倍数( $3k, k=1, 2, 3, \dots$ )次的谐波分量产生的影响, 而基波和其它高次谐波的总合成旋转磁势表达式为;

$$F_m(\alpha, \omega t) = F_1 \cos(\alpha_1 - \omega t) + F_5 \cos(\alpha_5 + 5\omega t) + F_7 \cos(\alpha_7 - 7\omega t) + \dots \quad (1)$$

式中:  $F_m$ ——合成磁势的幅值

$\alpha_1, \alpha_5, \alpha_7, \dots$ ——分别为基波、 $\nu$ 次谐波合成磁势的相位移角

$F_1, F_5, F_7, \dots$ ——分别为基波、 $\nu$ 次谐波合成磁势的幅值

当谐波次数 $\nu = 6k - 1$  ( $\nu = 5, 11, 17, \dots$ )时, 合成磁势的旋转方向与基波旋转方向相反, 当谐波次数 $\nu = 6k + 1$  ( $\nu = 7, 13, 19, \dots$ )时, 合成磁势的旋转方向与基波旋转方向相同, 电动机的气隙磁密 $B_g$ 与磁势一样, 含有基波分量和一系列高次谐波分量。

## 2 变频调速异步电动机的损耗

变频调速异步电动机定子绕组中电流建立的气隙磁密 $B_g$ 含有基波分量和一系列高次谐波分量, 而磁场的谐波分量在定、转子铁芯以 $\nu f_1$ 频率交变( $f_1$ 为基波频率), 使定、转子铁耗 $P_{fe}$ 增加( $P_{fe}$ 中的涡流损耗与磁密 $B$ 和交变频率 $f$ 成积的平方成正比, 磁滞损耗与磁密 $B$ 和交变频率 $f$ 的一次方成正比), 谐波分量在定、转子绕组中感应谐波电动势, 谐波电流通过定、转子绕组, 产生谐波分量的铜耗 $P_{(cu)\nu}$  ( $\sum P_{(cu)\nu} = \sum I_\nu^2 \times R$   $I_\nu$ 为电流中的谐波分量), 使定、转铜耗增加, 电动机杂散损耗 $P_z$ 包含脉振损耗、表面损耗、附加损耗和斜槽横向电流损耗等, 其中脉振损耗、表面损耗是由谐波分量引起的, 谐波分量也使杂散损耗增加, 因此, 损耗增加降低了异步电动机的效率 $\eta$ , 同时使电动机的温升提高。

调速范围较宽的变频调速异步电动机, 应着重考虑高频率下运行时电气性能, 在电磁方案设计时, 气隙磁密 $B_g$ 要选得比工频气隙磁密 $B_{g(50)}$ 低, 如果频率高于60Hz以上, 一般气隙磁密 $B_g$ 取(0.85~0.9)倍 $B_{g(50)}$ , 减小定、转子铁耗 $P_{fe}$ 。气隙磁场谐波分量还会产生谐波附加转矩, 使异步电动机在起动过程和运

收稿日期: 2004-06-13

作者简介: 吴亚麟(1960—), 男, 汉族, 高级工程师, 主要研究方向: 电机理论的研究与电机产品的研发。

行中产生振荡,气隙磁场谐波分量还会产生电磁噪音。频率高于 60Hz 以上,其气隙长度  $\delta$  要比工频普通异步电动机大,有利于削弱谐波分量。因此,电源电压波形品质好坏是影响变频调速异步电动机性能的关键所在。

电动机机械耗与转速  $n$  的平方成正比,转速  $n = (1 - S)n_1$  ( $n_1$  为同步转速),转速  $n$  正比于电源的频率  $f_1$ ,所以,电动机的机械耗正比于电源频率  $f_1$  的平方,电源电压大小和波形不影响机械耗,当调速的频率高于 60Hz 以上,轴承型号要选好,力求降低机械耗的目的。

变频器的输出电压大小与频率大小是同步对应调整,电动机从静止开始起动,其过程频率由低调到高,起动时频率低电抗值小,起动电压低,利用低频起动具有既可以提高起动力矩,又可以降低起动电流的优点,所以转子槽可以设计大一点,降低转子导条电阻,减小转子铜耗,提高电动机运行时的效率  $\eta$ 。

### 3 变频调速异步电动机的负载特点

根据电机理论知识,电机工作绕组匝数设计,与电源电压  $U$  与频率  $f$ 、磁通  $\Phi$  的关系:

$$U = 4.44wK_w f \Phi \quad (2)$$

式中:  
 $U$ ——电源电压的有效值  
 $w$ ——每相绕组的串联匝数  
 $K_w$ ——定子绕组系数  
 $f$ ——电源电压的频率  
 $\Phi$ ——气隙磁通

$$\text{电机的输出功率 } P_2 \text{ 的公式: } P_2 = mIU\eta\cos\varphi \quad (3)$$

式中:  
 $I$ ——定子绕组的相电流有效值  
 $m$ ——定子绕组相数  
 $\cos\varphi$ ——电机的功率因数

电机的线负荷  $A$  的表达式:

$$A = 2mIw/(\pi D) \quad (4)$$

$D$ ——电机定子内径长度

当电机参数确定后,绕组的匝数  $w$ 、绕组系数  $K_w$ 、绕组相数  $m$ 、极数  $p$  等是不变值,变频器的输出电压大小和频率是同步对应调整,根据公式(2)可知,气隙磁通  $\Phi$  基本也不变,把公式(2)、(4)代入公式(3),变频调速保持电机的力能指标  $\eta * \cos\varphi$  基本不变,则电机的线负荷  $A$  也基本不变,这样,并化简可得:

$$P_2/f = CP \quad (5)$$

式中系数  $CP = 2.22K_w\Phi\pi DA\eta\cos\varphi$  为常量

$$\text{根据电机轴输出转矩 } T \text{ 的公式: } T = P_2/\Omega \quad (6)$$

$$\Omega = 2\pi n/60 \quad (7)$$

$$n = (1 - S)n_1 \quad (8)$$

$$n_1 = 60f/p \quad (9)$$

式中:  
 $\Omega$ ——机械角速度  
 $n_1$ ——同步转速  
 $S$ ——转差率(异步电动机稳定运行时,  $S$  变化很小,分析时可以为常量)

$$\text{把公式(7)、(8)、(9)代入(6),整理可得: } T = pP_2/[2\pi f(1 - S)] \quad (10)$$

$$\text{当电动机恒转矩负载时, } T \text{ 为常量,则公式(10)化为: } 2\pi(1 - S)T/p = P_2/f = \text{常量} \quad (11)$$

从式(5)、(11)可见,由变频器输出电压作为变频调速异步电动机的输入电源,当恒转矩负载时,电动机的输出功率  $P_2$  与电源电压的频率  $f$  成正比。

### 4 变频调速异步电动机的实例分析

综合以上的定性分析结果,笔者介绍恒转矩负载,功率 3.5~4.5kW 频率 80~100Hz 的 2 极木工变频调速异步电动机样机的研制结果。电磁方案设计时着重考虑 100Hz 下运行时电气性能,气隙磁密  $B_g$  取 0.87 倍工频  $B_g(50)$ ,减小定、转子铁耗  $P_{fe}$ ,电动机定子绕组应采用 Y 接法,消除输入电源的三次及三倍数

次的谐波分量产生的影响,轴承型号选角接触型,降低机械耗,风扇要设计的比工频同功率的异步电动机小,减小风摩耗。表 1 列出样机的设计值和带变频器的实测值,实测值与设计值有差距,这是由于变频器的输出电压波形品质不如电网的电压波形好,其中除了基波分量外,含有一系列高次谐波分量,同时,变频器本身也是一种耗能的器件,实测值包含变频器在内测出的效率和功率因数,所以实测值的力能指标比设计值低,图 1 为变频调速异步电动机恒转矩负载工作特性的设计值曲线,图 2 为带变频器的样机恒转矩负载工作特性的实测值曲线。(见下表)

	频率 Hz	功率 kW	电压 V	电流 A	效率 $\eta\%$	功率因数 $\cos\phi$	负载转矩 T(N.m)	隙磁密 Bg/G	备注
设计值	80	3.6	304	9.49	80.79	0.885	7.26		
	85	3.83	323	9.47	81.5	0.887	7.26		
	90	4.05	342	9.52	80.8	0.888	7.26	487	温升标准 80K $B_{\delta(50)} = 6330$
	95	4.27	361	9.55	80.5	0.888	7.26		
	100	4.5	380	9.62	79.94	0.889	7.26		
实测值	80	3.6	302	10.30	80.9	0.826	7.26	5450	
	85	3.83	321	10.29	80.8	0.828	7.26	5453	
	90	4.05	340	10.29	80.6	0.829	7.26	5454	
	95	4.27	358	10.30	80.4	0.831	7.26	5441	
	98	4.41	370	10.33	80.1	0.832	7.26	5457	温升 60.4K

注:由于变频器容量不够,带负载时频率只能调到 98Hz。

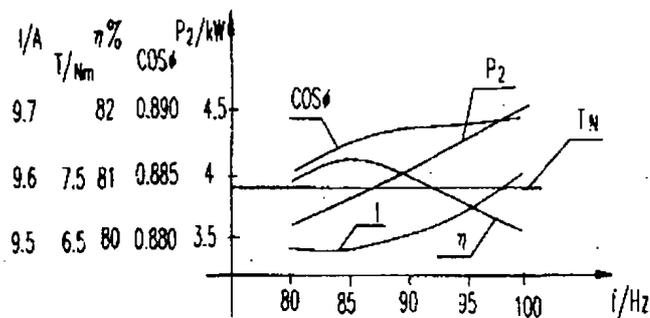
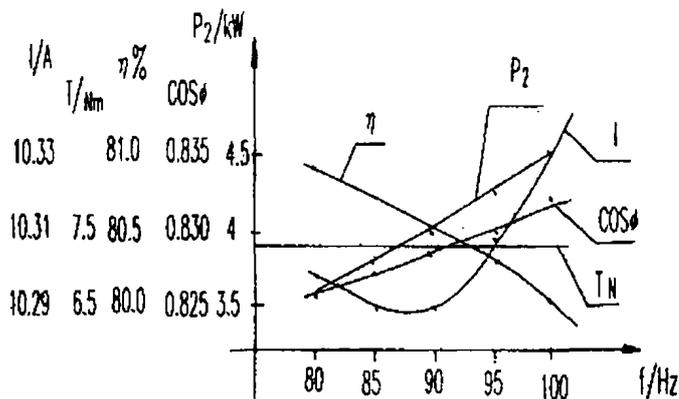


图 1 变频调速异步电动机恒转矩  $T_N$  负载工作特性的设计值



2 变频调速异步电动机样机恒转矩  $T_N$  负载工作特性的实测值

参考文献

- [1]周鹤.电机学(第三版).中国电力出版社,1995.
- [2]沈阳机电学院电机系.三相异步电动机原理、设计与实验永磁电机.科学出版社,1977.
- [3]胡之光.电机电磁场的分析与计算(修订本).机械工业出版社,1989.