

变频电机动态性能试验的负载系统研究^{*}

曹建雄¹, 李 正¹, 冯东升²

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093;

2. 上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司, 上海 200063)

摘 要: 针对传统变频电机试验系统只能在固定转速下进行负载试验, 研究了一种用于变频电机试验的多转矩类型负载系统。变频电机动态性能试验负载系统是根据感应电机的特性, 建立数学模型, 通过计算, 快速调节感应电机的供电电压和频率, 从而模拟出多种类型的动态负载。研究了变频电机动态性能试验负载系统的工作原理、模拟方法, 并进行仿真分析, 表明其可满足不同负载类型下的变频电机动态性能试验要求。

关键词: 变频电机; 动态性能; 负载系统

中图分类号: TM 306 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2017)10-0110-04

Research on Load System in Dynamic Performance Test for Variable Frequency Motor^{*}

CAO Jianxiong¹, LI Zheng¹, FENG Dongsheng²

(1. School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Motor System Energy Saving Co., Ltd., Shanghai 200063, China)

Abstract: A multi-torque load system due to the load test only at a fixed speed in traditional variable frequency motor experiment system was studied. Based on the character of induction machine, the multi-torque load system set up mathematical model and calculate to regulate the service voltage and frequency swiftly. Hence many kinds of dynamic load were simulated. The operating principle was illustrated, simulating methods and analysis of the system, which attested to reliability of the load system in meeting the demand for the experiment.

Key words: variable frequency motor; dynamic performance; load system in

0 引 言

变频电机主要通过改变电压和频率, 从而调节电机转矩和转速, 因此变频电机的动态负载试验对检测变频电机的性能和质量, 是必不可少的试验项目, 而负载类型众多, 为测试变频电机的负载动态性能, 必须在试验时模拟负载, 才能测试出变频电机在真实负载下的动态性能^[1]。

比较典型的负载转矩类型分为 4 种: 恒转矩

负载、恒功率负载、平方转矩负载和直线率负载^[2]。一般变频电机的试验系统只能对变频电机在固定转速下进行负载试验。本文采用以变频电源供电的感应电机为负载装置, 研究一种模拟在转速变化时能满足多种负载类型的动态负载系统, 给出了该负载系统的模拟方法, 并进行了仿真分析。结果表明该负载系统能够对各种负载类型进行模拟, 实现变频电机动态性能试验。

^{*} 基金项目: 沪江基金资助项目 (B1402/D1402)

作者简介: 曹建雄 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电机拖动与检测。

李 正 (1974—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为电机拖动等。

冯东升 (1967—), 男, 教授级高工, 研究方向为工业自动化及自动化检测。

1 变频电机试验的负载系统

该变频电机负载试验系统由被试电机、陪试电机、转速传感器、控制器、变频器和被试电机变频电源组成。其原理图如图 1 所示。

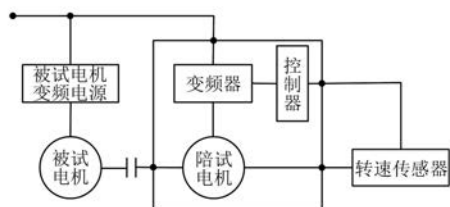


图 1 变频电机负载试验系统原理图

试验系统采用感应电机作为陪试电机,与被试电机同轴连接,采用电压-频率控制模式,用于模拟不同负载类型的转矩特性;转速传感器,连接在异步电机及被试电机的轴上,用于获取异步电机及被试电机的转速;感应电机的控制器根据从转速传感器获得的转速信息,计算出应该输出的电压与频率,控制变频器在该电压和频率运行。

2 变频电机试验的负载系统研究

用于变频电机试验的模拟多转矩类型试验的负载是根据感应电机的特性及负载公式,建立数学模型,得到转矩和电压、转速、频率等参数的关系,通过计算,快速调节感应电机的频率和电压,从而得到被试电机需要的转矩并且能够实时根据转速的变化,为被试电机提供不同类型的负载转矩。

2.1 4 种典型负载转矩类型

负载的转矩特性是指生产机械负载的静态阻转矩和转速之间的关系。不同的生产机械,其负载特性也各不相同。

恒转矩负载的静负载转矩在任何转速下总保持恒定或基本恒定。恒转矩负载的负载转矩与转速之间的关系为

$$T_L = K \times n^0 \quad (1)$$

式中: T_L ——负载转矩;

K ——负载系数;

n ——电机转速。

常见的恒转矩负载设备有起重机、带式输送机。

恒功率负载,负载具有恒功率的转矩-转速

特性,恒功率的转矩-转速特性指的是负载在速度变化时需要电动机提供的功率为恒定。恒功率负载转矩与转速之间的关系为

$$T_L = K \times n^{-1} \quad (2)$$

常见的恒功率负载有造纸机和塑料薄膜生产线中的卷取机、开卷机等。

平方转矩负载,具有随着转速的降低负载所需的转矩与转速的平方成正比例减小的特点。平方转矩负载转矩与转速之间的关系为

$$T_L = K \times n^2 \quad (3)$$

常见的平方转矩负载设备有风机、水泵等。

直线率负载,具有随着转速的降低,负载所需的转矩与转速成正比例减小的特性。直线率负载转矩与转速之间的关系为

$$T_L = K \times n \quad (4)$$

常见的直线率负载有轧钢机、碾压机等。

通过对以上 4 种负载类型分析可得负载通用的转矩-转速特性方程:

$$T_L = K \times n^\alpha \quad (5)$$

其中: $\alpha = -1, 0, 1, 2$ ($\alpha = -1$ 时为恒功率负载, $\alpha = 0$ 时为恒转矩负载, $\alpha = 1$ 时为直线率负载, $\alpha = 2$ 时为平方转矩负载)。

4 种类型负载转矩-转速曲线如图 2 所示。

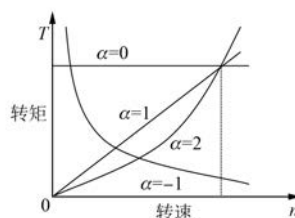


图 2 4 种类型负载的 T - n 特性曲线

2.2 动态负载试验系统的工作原理

为了满足大功率负载的要求,采用感应电机作为负载电机,感应电机通过变频电源驱动,变频运行时异步电机的 T - n 曲线如图 3 所示,其中 f_1 至 f_5 为感应电机的不同运行频率。

根据图 2 和图 3 可得图 4 感应电机负载调节曲线。

在负载调节过程中,根据感应电机输出特性和被试-陪试电机试验机组的运行转速,通过式 (5),可计算出该转速下的负载转矩。只要得到了负载转矩 T_L 和转速 n ,就可以在图 4 中获得对

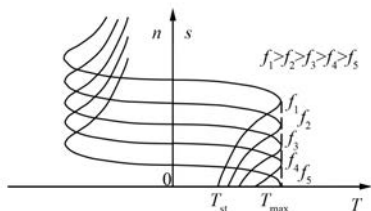
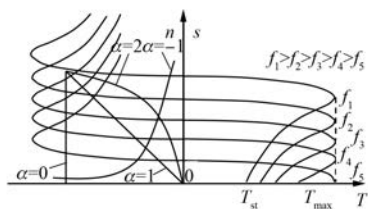
图3 变频运行时感应电机 T - n 特性曲线

图4 感应电机负载调节曲线

应的频率 f 。再根据感应电机转矩 T_L 与电压 U 和频率 f 的关系,可直接计算出对应供电电压 U 。从而得到与当前类型的负载转矩 T_L 所对应的电压 U 及频率 f 。

控制器控制变频器向感应电机输出电压 U 和频率 f ,使得感应电机模拟出转矩为 T_L 的恒转矩负载,或恒功率负载,或平方转矩负载,或直线率负载。

2.3 供电电压和频率的计算

根据转速传感器获得的转速 n ,得到对应负载感应电机的零输出转矩的供电频率 f_1 :

$$f_1 = \frac{np}{60} \quad (6)$$

式中: p ——电机极对数。

作为负载的感应电机,需要工作在发电机状态。因此,感应电机供电频率 f 应低于 f_1 :

$$f = \frac{f_1}{1-s} \quad (7)$$

式中: s ——感应电机的转差率, $s < 0$ 。

为保证感应电机工作在额定工况下, s 需根据电机特性选取合适值^[3]。

为实现快速计算,忽略一些次要影响因素,将电机的转矩公式简化为^[1]

$$T_L = K_L \frac{U^2}{f^3 \left(1 - \frac{np}{60f}\right)} \quad (8)$$

式中: T_L ——电机转矩;

n ——被试电机转速;

U ——电机的端电压。

K_L 的值与感应电机参数有关。由感应电机的转矩计算关系^[4-5],并考虑到感应电机运行在高频段时定子绕组漏抗远大于定子绕组电阻,因此有:

$$K_L \approx \frac{mpR_r}{8\pi^3 (L_s + cL_r)^2} \quad (9)$$

式中: c ——校正系数;

L_s ——定子自感;

L_r ——转子自感;

m ——定子绕组相数;

R_r ——转子电阻。

根据式(7)~式(9)可得对应转速和负载类型的供电频率 f 与电压 U 。

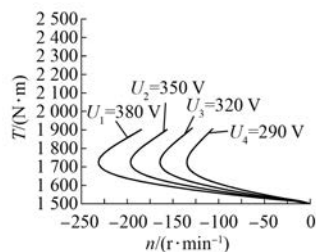
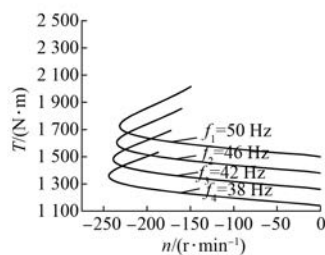
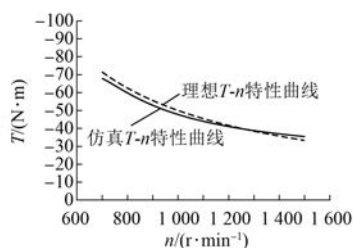
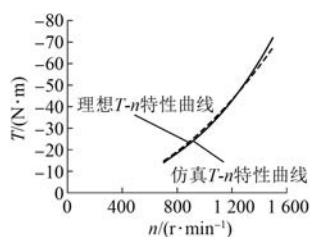
当然,上述计算是理论计算,实际试验运行时,可根据实际电机特点及运行状态,对计算结果得到的转矩、频率和电压进行适当修正,即可得到任意设定的负载转矩控制曲线。

3 仿真分析

通过分析变频电机动态性能试验的负载系统的原理、结构和控制方法,在忽略磁路饱和、空间磁场谐波和铁心损耗,以及不考虑温度和频率变化对绕组电阻的影响的前提下,利用 LabVIEW 仿真软件,对该系统进行仿真分析^[6-7]。仿真用到的感应电机的主要参数: $U = 380$ V, $f = 50$ Hz, $m = 3$, $p = 2$, 定子电阻 $R_s = 1.375$ Ω , $L_s = 0.007$ 739 H, 定子励磁电阻 $R_m = 8.34$ Ω , 定转子互感 $L_m = 0.263$ 1 H, $R_r = 1.047$ Ω , $L_r = 0.014$ 01 H。

图5和图6分别是仿真感应电机在 $f = 50$ Hz、不同电压下和 $\frac{U}{f} = 7.5$ 控制下在发电机状态的 T - n 特性曲线,与实际电机 T - n 特性曲线相吻合。

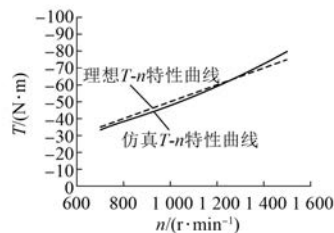
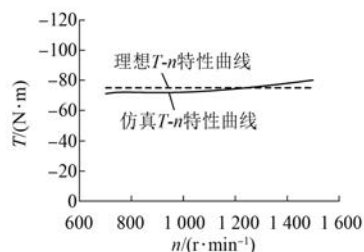
图7~图10分别是 $K = -5 \times 10^4$ 的恒功率负载、 $K = -3 \times 10^{-5}$ 的平方转矩负载、 $K = -75$ 的恒转矩负载和 $K = -0.05$ 的直线率负载下的 T - n 特性曲线。其中,虚线为理想 T - n 曲线特性曲线,实线为感应电机仿真输出 T - n 特性曲线。从图7~图10可看出,供电频率 f 在 25~50 Hz 范围内能

图5 50 Hz、不同电压下的 T - n 特性曲线图6 $\frac{U}{f}$ 控制下的 T - n 特性曲线图7 恒功率负载 T - n 特性曲线图8 平方转矩负载 T - n 特性曲线

够达到理想的模拟效果,误差不超过 5%。可以根据需要,为变频电机提供不同负载类型的转矩。

4 结 语

本文设计了一种用于变频电机动态性能试验的负载系统,研究了该负载系统的实现方法,并通过仿真分析,得到该负载系统适用频率范围为

图9 直线率负载 T - n 特性曲线图10 恒转矩负载 T - n 特性曲线

25~50 Hz,在此频率段能够很好地模拟不同的负载类型,使变频电机在试验时可按照用途加载不同的负载转矩类型进行动态性能试验,如减速性能试验、加速性能测试、起动性能测试等,保证变频电机的动态性能测试完全在实际负载情况下进行。由于阻抗在低频段时,绕组漏抗不再远大于定子绕组电阻,故此负载系统不适合于低频段进行试验,低频段的试验还有待研究完善。

【参考文献】

- [1] 冯东升,徐静,杨跃农.一种变频电机试验用动态负载装置及模拟方法[P].ZL201310125625.6.2013-08-07.
- [2] 顾绳谷.电机及电力拖动基础[M].北京:机械工业出版社,2010.
- [3] CHAPHEN S J.电机学[M].刘新正译.北京:电子工业出版社,2012.
- [4] 许实章.电机学(下册)[M].北京:机械工业出版社,1988.
- [5] 王崇任,韩力,李辉.变频调速异步电动机电磁转矩计算方法[J].微特电机,2012,40(12): 27-31.
- [6] 邓双城,蒋力培,焦向龙,等.基于 LabVIEW 的异步电动机准确数学模型仿真[J].北京石油化工学院学报,2005,13(4): 1-5.
- [7] 代峰燕.LabVIEW 基础教程[M].北京:机械工业出版社,2016.

收稿日期: 2017-05-27