

国内外电力测功机发展现状*

李宗帅, 董春, 刘颜

(北京交通大学 电气工程学院, 北京 100044)

摘要: 简述了研究电力测功机系统的必要性, 介绍了目前在电力测功机系统方面的一些情况及该系统的一些典型控制策略, 并分析了它们的优缺点。国外的研究主要集中在用测功机对电动机或电力传动系统的负载能力进行测试, 以及运用测功机进行被测系统先进控制算法的理论研究。未来的研究重点, 应是测功机动态模拟控制策略的研究, 以及被测试电机或电力传动系统的控制算法研究。

关键词: 测功机; 负载模拟; 机械负载; 电机测试

中图分类号: TM933.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-6540(2007)05-0001-04

Development and Application Actuality on Electric Power Dynamometer

LI Zong-shuai, DONG Chun, LIU Yan

(School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: The necessity of developing electric powered dynamometer is introduced briefly. The actuality and some type control strategies of electric power dynamometer are presented. The excellences and defects of the control strategies are analyzed respectively. The research abroad mainly focuses on the load test of motor or electrical transition system with dynamometer. The main research in the future is the dynamic simulative control strategy of dynamometer and the control arithmetic of the tested motor or electrical transition system.

Key words: dynamometer; load simulation; mechanical loads; motor test

0 引言

试验技术及条件在现代科学研究和产品生产过程中发挥的作用越来越重要。但是, 对于较复杂的控制算法, 进行现场在线测试验证是不可行的。电机在实际应用中所带的负载是极其复杂的, 且考虑到实际生产过程的性质, 要对电机或电力传动系统进行现场在线测试同样是不可行的。鉴于此, 迫切需要能对实际应用中机械负载进行模拟的系统。测功机系统就是这样一种装置。

1 电力测功机系统

电力测功机是测功机家族中比较有发展潜力的一个分支。电力测功机就是利用直流电机或者交流电机作为转换元件, 将电能转换成电机转子的机械能, 以转矩形式为承载电机加载; 并通过对

加载转矩的控制, 实现对承载电机所带机械负载的模拟。

电力测功机系统典型结构如图 1 所示。

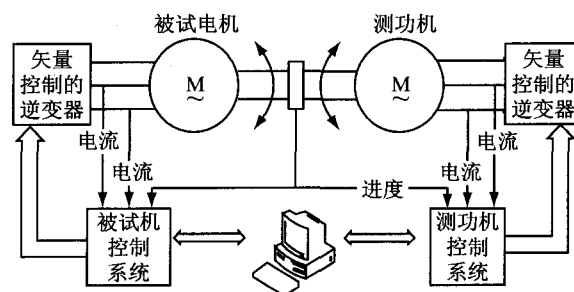


图1 电力测功机系统典型结构框图

电力测功机是对各种动力机械进行性能测试的综合试验设备, 主要用于风机、水泵、液力或齿轮变速器等输入功率的测试, 亦可作为发动机等

* 北京交通大学校基金项目(EJ06006)

输出功率的测试,是一种全功能(有电动工况又有发电工况)、高性能的重要检测设备^[1]。在这些功能中,很大一部分是针对电机的。它是被测电机的加载设备,是电机制造和产品研发过程中重要的性能测试和检测设备之一。它通过轴连接器与被测电机同轴对接,用于模拟和控制被测电机的负载,以测量电机的转矩、转速、电流、电压、功率、效率等参数,以及其他特殊的动力试验测试项目,如安全性试验、动平衡试验、NVH(振动-噪声-寿命)试验等^[2]。

2 国内测功机发展应用情况

国内通常把直流测功机和交流测功机统称为电力测功机。电力测功机目前大都采用直流测功电机,这是因为直流电机的调速性能好,控制简单。但直流电机由于换向器的影响,不能适用于高速运行,因此在转速很高的情况下,往往采用机械减速装置,使系统复杂且噪声增大。交流测功机是一种新型的机电一体化测功机,适合各种不同类型的电机性能测试^[3]。交流电力测功机由于不存在换向器问题,因而结构简单、可靠性高,且近几年来随着电机控制技术和电力电子技术的发展,交流传动系统在动、静态性能上得到了显著提高,因此对于交流测功机的研究成为主流趋势。

将现代交流测功机技术应用于电机性能测试领域,可以充分发挥其优异的转速和转矩控制特性,以及动态响应快、结构灵活多样、高效节能、可靠性高等特点;同时,可以设计出机械测功机无法实现的控制方案,如能量回馈、电封闭测试和多路并行测试等,并可使用计算机和虚拟仪器技术实现电动机测试系统的自动化和智能化。

湖南大学对电力测功机的研究取得了不少成果,研制的CY110、CY160系列交流变频异步电力测功机通过了鉴定,并已申请专利^[4]。

文献[3]介绍了一种基于脉宽调制(PWM)整流器和异步电机直接转矩控制的交流电力测功机,提出了一种新的动态电力测功机方案,采用直接转矩控制技术对电力测功机的异步电机实行转矩和速度控制。该方案提高了电力测功机的动态性能,且直接转矩控制对电机模型参数依赖程度小。用三相PWM整流技术产生直流母线电压,也能将测功机测功时产生的电能反馈给电网,同

时保持电网侧电流为正弦,且功率因数接近为1,降低了谐波对电网的干扰,也节约了能源。

文献[5]介绍了用测功机系统实现风力机风轮的动态模拟。该装置具有与实际风力机风轮相同的机械特性,可用于设计、评价和测试实际的风力发电系统。其模拟的基本思想是:测功机系统在同一时刻具有与真实机械系统相同的速度与加速度,则可以认为达到了模拟要求。仿真结果表明,用该方法估算的负载值与实际负载相差很小,测功机系统的机械动态特性与实际风力机风轮基本一致。

文献[6]介绍了用于潜艇驱动电机负载特性仿真系统的控制策略。该系统以异步电动机-直流发电机为平台,算法以该平台的动力学模型为基础;最后以直流电机(测功机)为潜艇驱动电机提供几种典型负载进行了实验,并给出了结果,实现了利用测功机对潜艇电力系统负载机械特性的模拟。

目前,国内的电力测功机主要用于测试电机的稳态性能,而对于过渡过程则很少考虑。对于动态的模拟一般都采用近似的方法,只对某些典型的运行情况进行模拟。文献[6]的仿真结果做到了对于动态特性的模拟,但其算法中采用了负载的逆动力学模型,在实际应用中会引入噪声,严重时可能导致动态模拟装置不能工作。

对于测功机的应用,国内很少有人用在对被试电机复杂控制算法的研究方面,而国外这样的例子已不少。

3 国外测功机发展应用情况

国外的研究主要集中在用测功机对电动机或电力传动系统负载能力进行测试,还有运用测功机进行被测试系统先进控制算法的理论研究。本文选取了其中比较有代表性的文献进行介绍。

文献[7]提出了一种用直流电机作为测功机,对其进行控制用来模拟机械负载。其最终目标是用测功机系统来实现对三相交流变速逆变器的测试,通过对测功机(直流电机)控制实现对线性和非线性机械负载的模拟。文中针对测功机的控制提出了三种方案。方案一仅仅运用了被模拟负载的逆动力学模型。此方法简单,但是由于逆动力学模型中往往含有微分项,当运用数字控制

系统实现时会引入噪声,并且很多非线性机械负载是推导不出精确的逆动力学模型的。方案二引入转矩测量,避免了逆动力学模型。但是通过转矩传感器直接对电机的轴转矩进行测量也有困难,传感器采回的信号需要滤波,这样会造成频宽变低。方案三运用转矩估计策略,通过获取直流电机电枢电流得到其转矩,并带入实验系统的模型中估计出驱动转矩。

文献[8]指出,电力测功机系统应该能够模拟任一惯量摩擦系数的机械负载。文中对测功机的两个基本的控制策略进行了对比:其一是被测试电机和测功机的机械参数都已经知道,这样可以准确模拟;其二是被试电机的参数不确定但是测功机的参数已知,被试电机的行为对测功机而言是一种随机的扰动,这种情况下测功机对负载的模拟精度主要取决于它的控制策略。

文献[9]介绍的电力测功机系统由两台同轴相连的电压源变频器供电的永磁同步电机组成,其中一台作为被试机,另一台作为测功机,通过对测功机进行合适的控制为被试机提供各种模拟的机械负载。这两套电机在物理构成上是一致的,但是被试机为速度控制,测功机为转矩控制。作者针对测功机的转矩控制提出了三种方案。方案一采用测得的速度直接计算出测功机需要的参考转矩,没有采用转矩反馈。这种方法的特点是简单直接,把转矩参考值送给测功机,让其在直接转矩下工作,对转矩进行调节,提高了转矩响应速度;并且由于没有引入转矩反馈,不需要转矩传感器,这样就可以缩短测功机和被试机连接轴的长度,也使轴的强度提高,但其缺点是需要知道测功机的机械参数来计算电磁转矩。方案二使用了转矩传感器测量出转矩值反馈值。该方案的优点是不需要测功机或被测试电机的机械参数。方案三同样是设置了转矩反馈,只不过此方案中的转矩反馈值同方案一一样是估算出来的。在大多数情况下,采用方案二不需要电机的机械参数。这一点对于被测试电机尤为重要。

文献[10]提出了能对机械负载动态特性进行准确模拟的测功机系统的控制策略,并将试验结果与仿真结果进行了对比,证明了该策略的可行性,在被模拟负载的惯量是试验系统10倍的情况下,试验的结果依然非常好。文献中,作者不仅

对线性负载进行了模拟,而且对非线性负载也进行了模拟;同时还指出试验结果与仿真结果的偏差,可能是由于电流控制环引起的。仿真时电流环导致的延迟被忽略了,而在试验时却是真实存在的。文献中作者并没有量化地指出电流环对模拟的影响程度,同样也未量化地给出被模拟系统的惯量超出试验系统惯量的多少倍时会使模拟失败以及失败的原因。而这些问题是很重要的。

文献[11]就测功机系统的转动惯量、粘性摩擦系数对速度和负载转矩的影响进行了讨论。结果显示:转动惯量的影响要比粘性摩擦系数大的多,而且二者对速度和负载转矩的影响也只有在高频时才凸现出来,在低频时可以忽略。

文献[12]在对测功机进行控制的基础上,进一步对被测试电机分别采用PI控制器和PI估计器进行控制。结果证明,PI估计器效果比PI控制器稍好一些。这是测功机系统用于控制算法研究的典型例子。

文献[13]报导了对用于二自由度机器人手臂的非线性负载模拟的半实物仿真系统的研究成果。该系统将两台电机同轴相连;其中一台电机作为另一台的负载,实质上也就是测功机,不过要求用测功机来实现机械负载的动态模拟。这较传统的测功系统是有区别的。该系统是测功机系统创新应用的典型例子。

文献[14]提出了用两台电机直接同轴相连的方法代替传统的高速电机测试系统,其中一台普通直流电机作为测功机模拟高速电梯负载系统。该种模拟测试系统的体积、重量都比传统的要小得多,而且控制调节也很方便,仿真的效果良好。此系统也是测功机系统创新应用的典型例子。

4 结 语

上述是对测功机在国内外一些发展应用情况的概述,并进行了简单的评析。从这些研究可以看出:

(1) 实践中多数测功机集中在对电机、驱动器和传动系统的稳态测试,或者为他们提供机械特性缓慢变化的负载。然而,在实际工业过程中,机械负载的过渡过程的动态行为往往成为电机或驱动器故障的根源,并且这种暂态特性对运动控

制算法影响也很大。

(2) 对机械负载的动态特性进行模拟的技术还主要处于理论分析和仿真研究阶段, 仿真都集中在测功机对不同负载的模拟上, 主要基于电力测功机系统的运动方程为数学模型, 而作为整体系统中的许多单元(例如调速控制单元, 驱动单元)均作为理想化的甚至忽略的处理^[4], 这样就失去了真实性。

(3) 许多学者在对测功机系统进行控制时使用 IMD(inverse-mechanical-dynamics)即机械负载的逆动力学模型, 但是使用该模型仅仅在不考虑采样影响的连续系统中有效。由于逆动力学模型中大多存在微分项, 当进行离散化时会产生噪声干扰, 如果此时被模拟负载的参数超过电力测功机系统真实参数一定限度就会引起系统不稳定。

(4) 虽然采用滤波的方法可以消除 IMD 离散化时带来的噪声, 但是这样却改变系统的零极点; 当电力测功机系统作为某个闭环系统的一部分时, 将会使整个系统的特性发生变化, 使负载模拟失去意义。有的文献采用了滤波, 其目的并不是为了获得对于机械负载动态特性的精确模拟, 而是获得开环模拟情况下比较好的时域响应。

(5) 最新的一种测功机控制策略运用被模拟负载的动力学模型进行前馈补偿^[10], 可以很好地用测功机实现对机械负载动态特性的模拟。

综上所述, 未来研究的重点为:

(1) 就电力测功机本身而言, 应该是测功机动态模拟控制策略的研究, 即能使测功机模拟出机械负载的动态特性;

(2) 就电力测功机系统应用而言, 应该扩展到对被测试电机或电力传动系统的控制算法研究测试方面。

【参考文献】

- [1] 周腊吾, 张桂香, 曾利权, 等. 交流电力测功机的方案研究[J]. 电机技术, 2004(1): 32-34.
- [2] 李茂森. 交流测功机在电机性能测试中的应用[J]. 电机与控制应用, 2005, 32(8): 62-64.
- [3] 杨家强, 黄进. 一种基于 PWM 整流器和异步电机直接转矩控制的新型动态电力测功机[J]. 仪器与仪表学报, 2005, 26(12): 1224-1228.
- [4] 杨洋. 关于交流变频异步电力测功机系统的仿真

研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2001.

- [5] 吴捷, 许燕灏. 基于异步电动机的风力机风轮动态模拟方法[J]. 华南理工大学学报, 2005, 33(6): 46-49.
- [6] 陈永军, 黄声华, 翁惠辉, 等. 潜艇驱动电机负载特性仿真系统研制[J]. 电气传动, 2006, 36(2): 55-58.
- [7] HEWSON C R, SUMNER M, ASHER G M, et al. Dynamic mechanical load emulation test facility to evaluate the performance of AC inverters [J]. Power Engineering Journal, 2000, 14(1): 21-28.
- [8] NEWTON R W, BETZ R E, PENFOLD H B. Emulating dynamic load characteristics using a dynamic dynamometer[C]. Power Electronics and Drive Systems, Proceedings of 1995 International Conference. 1995, 1: 465-470.
- [9] HEWSON C R, ASHER G M, SUMNER M. Dynamometer control for emulation of mechanical loads [C]. Industry Applications Conference, Thirty-Third IAS Annual Meeting, The 1998 IEEE, 1998, 2: 1511-1518.
- [10] HAKAN AKPOLAT Z, ASHER G M, CLARE J C. Dynamic emulation of mechanical loads using a vector-controlled induction motor-generator set[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 1999, 46(2): 370-379.
- [11] RODIC M, JEZERNIK K, TRLEP M. Use of dynamic emulation of mechanical loads in the design of adjustable speed applications [C]. Advanced Motion Control, The 8th IEEE International Work Shop, 2004: 677-682.
- [12] RODIC M, JEZERNIK K, TRLEP M. Control design in mechatronic systems using dynamic emulation of mechanical loads [C]. Industrial Electronics. Proceedings of the IEEE International Symposium, 2005, 4: 1635-1640.
- [13] TEMELTAS H, GOKASAN M, BOGOSYAN O S. A nonlinear load simulator for robot manipulators [C]. Industrial Electronics Society, The 27th Annual Conference of the IEEE. 2001, 1: 357-362.
- [14] RYU Hyung-min, Kim Sung-jun, Sul Seung-ki. Dynamic load simulator for high-speed elevator system [C]. Osaka: Power Conversion Conference, 2002, 2: 885-889.

收稿日期: 2006-12-09