

# 三相异步电机型式试验台电源与加载系统

吴健,余真,陈秀琴,马嵩源,李浩

(天津电气传动设计研究所有限公司,天津 300180)

**摘要:**电机型式试验是电机产品鉴定中必不可少的一个环节,电源与加载系统是电机型式试验台的关键组成部分。介绍了三相异步电机型式试验台电源与加载系统的一种设计方案。该方案利用交流变频技术和同步发电机励磁控制技术,得到了品质良好、控制方便的试验电源,以及稳定可靠、能量可回馈的负载,实现了试验台内部能量回馈。该系统方案已在某知名电机厂得以应用,提高了试验效率,运行稳定,性能优异。

**关键词:**电机型式试验台;电机试验电源;电功率加载

**中图分类号:**TM306

**文献标识码:**A

## Power and Load System for 3-phase Asynchronous Motor Type Test Bench

WU Jian, YU Zhen, CHEN Xiu-qin, MA Song-yuan, LI Hao

(Tianjin Design and Research Institute of Electric Drive Co., Ltd., Tianjin 300180, China)

**Abstract:** Motor type test is an essential procedure of motor product validation, while power and load system is the key component of motor type test bench. A design scheme of power and load system for 3-phase asynchronous motor type test bench was introduced. The system uses the technique of AC frequency conversion and synchronous generator excitation control. The generated test power supply has good quality and is convenient to adjust. The load is stable and reliable, and the electric power of the test bench is self-recycled. This system is now stably used in a famous motor factory in China, with very nice performance, improving efficiency of the type test.

**Key words:** motor type test bench; power supply for motor test; electric power load

## 1 引言

电机型式试验是为了验证电机的电气和机械性能是否符合产品标准和设计要求,并为产品改进提供依据。它是电机产品鉴定中必不可少的一个环节。新产品只有通过型式试验,才能正式投入生产。

电源与加载系统是电机型式试验台的关键组成部分。对于三相异步电机型式试验台,要提供谐波电压因数低、对称性高、稳频稳压的三相交流电源,还要提供稳定可靠、能量可回馈的负载。传统的试验台大多采用三相感应调压器提供电源,一些新型试验台则采用变频器直接供电。负载系统则有直交流发电机、磁粉测功机、涡轮测功机等多种形式。这些控制方式有各自的优缺点。笔者应用现代交流变频技术,结合同步发电机励磁控制技术,为国内某知名电机厂设计了一套电源加

载系统,实现了良好的控制效果。

## 2 系统构成

系统单线图如图1所示。一台凸极式同步发电机做为电源系统的核心,由一台异步电动机拖动,直流励磁控制选用西门子6RA70直流调速装置。同步机输出经双绕组干式变压器,可选择输出240 V, 400 V, 1 010 V, 1 750 V等电压挡位。异步电动机作为负载,与被试电机同轴连接。2台陪试异步电动机的控制选用西门子S120系列变频器,电网供电经IGBT整流至公共直流母线,供给逆变模块。电源和负载组成内回馈式电功率封闭系统。

自动化控制系统以西门子公司可编程控制器S7-300为核心,使用Profibus-DP通讯协议,通过通讯接口板将整流和逆变装置做为从站挂网,实现整流逆变装置的控制和各类逻辑控制与联锁。

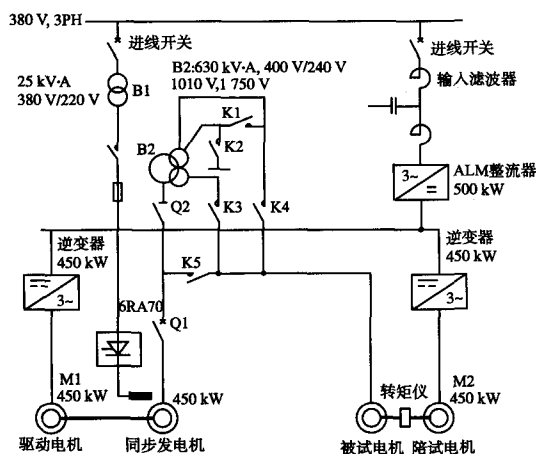


图1 系统单线图

Fig.1 System line diagram

### 3 电源系统

#### 3.1 控制方案

异步驱动电机与同步发电机同轴连接,为其提供动力。根据 $f=(p/60)n$ ,通过调节驱动电机转速即可改变发电机输出频率。本试验台中,发电频率可在10~65 Hz内平滑调节。

电源系统的电压控制,通过调节直流励磁来实现。由于同步发电机电压幅值与负载、频率、磁通量相关,而磁通量与励磁电流成非线性关系,所以电压幅值的控制必须采用闭环方式。

本系统利用西门子公司的6RA70全数字直流调速装置控制同步发电机励磁,通过其内部控制器实现电枢电压的闭环控制。控制环节包括电压环和电流环,如图2所示。

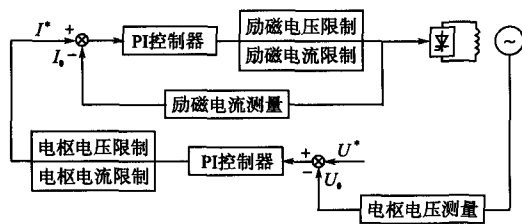


图2 电压双闭环控制框图

Fig.2 Block diagram under double closed-loop voltage control

当由于某种原因使发电机电压偏离给定值时,经测量比较环节测出它对给定值的偏差,再经PI控制器得到励磁电流控制环的给定,去调节可控整流桥的触发相位,改变整流输出电压,从而改变励磁电流。通过改变励磁电流,即可达到调整发电机输出电压的目的。PI调节器的输出还要经过如电枢电压电流限制、励磁电压电流限制等保护环节,结合直流调速装置的选件S00,

加以综合控制,保证发电机的长期可靠运行。

从控制框图可以看出,要想得到稳定、高精度的发电机输出,电压测量反馈值是非常重要的数据。本系统中电压测量环节由电压互感器和6相整流电路所组成,如图3所示。其主要作用是迅速、准确可靠地将发电机电枢的三相交流电压变换成合适的直流信号电压,以便与给定值相比较。采用6相整流的目的在于提高整流输出电压,减低脉动成分,避免采用滤波电路或增大滤波电容而增加时间常数,影响调节器的快速性和准确性。

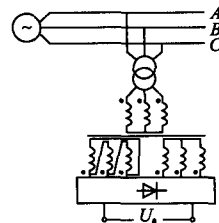


图3 电压测量电路

Fig.3 Voltage measurement circuit

发电机输出端增加了双绕组干式变压器,扩展了电压输出范围,以适应不同型号的电机、不同工况下的试验,提高了试验能力。由于同步机剩磁的影响,电压输出可控范围在10 V以上。本系统输出电压最大调节范围可达10~1 750 V。

#### 3.2 控制效果

实测的电压输出波形如图4所示。由于采用同步发电机做为电源,系统的电压输出可接近标准正弦波,谐波电压因数小于0.01。三相电压负序分量小于正序分量的0.5%。实测频率波动小于±0.06 Hz,对应满量程为±0.1%;电压波动小于0.1%。所测技术参数满足GB 755—2008中的指标。

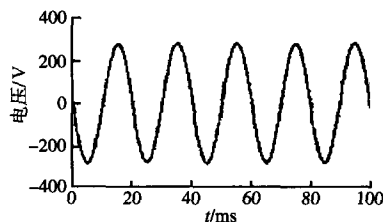


图4 电压输出波形

Fig.4 Waveform of voltage output

对于功率较大的被试电机,如果在额定频率下启动,其启动电压难以设定,过大则启动电流太大,过小则电机无法启动。在本电源系统中,可利用斜坡函数发生器,使电压和频率同步增加,近似于 $V/f$ 控制,缩短了启动过程,启动电流也大幅减小。

### 3.3 与其他控制方案的比较

传统试验台电源一般采用三相感应调压器,其优点是结构简单,成本较低,输出接近正弦波。缺点是频率不可调节,只能与输入电压频率相同,且不易实现闭环控制,开环调节速度慢,精度差,负载稍有变化就要重新调节。对于频率确定、控制要求不高的小功率试验台可采用该方案。

随着电力电子技术的发展,一些试验台直接采用变频器作为电机电源,其优点是控制精度高,使用方便,占地小,便于维护。不足之处是输出波形不是正弦波,因此对测量有一定的特殊要求,另外,较多的高次谐波会对被试电机试验数据的准确度产生一定的影响。

## 4 加载系统

### 4.1 控制方案

本试验台加载系统采用电加载回馈的方案。加载电机与被试电机同轴连接,由于采用直流公共母线运行方式,电源部分和负载部分组成电功率闭环,加载电机将产生的电能回馈到直流母线乃至电网,达到较好节能效果,实现能量回馈。通过加载电机还可实现故障情况下的快速制动。

转矩控制原理如图5所示。转矩测量使用高精度转矩传感器,测量精度可达 $\pm 0.1\%$ 。控制算法在S7-300 PLC中实现。采用混合控制方式,在基本给定的基础上,增加PI控制器,以转矩传感器测量值做为反馈,PI控制器输出与转矩基本给定相叠加,做为变频器转矩控制器输入。此控制方案既可保证响应的快速性,又可使转矩控制达到精度要求。

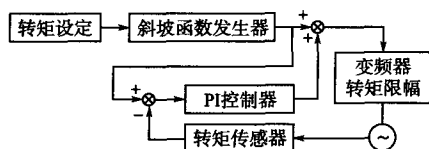


图5 加载控制框图

Fig.5 Block diagram of load control

负载给定可选择转矩给定和功率给定。功率给定是按照被试电机额定功率百分比设置给定,根据电机实际转速计算加载转矩,本质上也是转矩控制。本加载系统转矩给定可在 $0 \sim 5\,000\text{ N}\cdot\text{m}$ 范围内平滑调节,功率给定可在被试件额定功率的 $0 \sim 200\%$ 范围内平滑调节(不超过 $400\text{ kW}$ )。

### 4.2 控制效果

图6为试验过程中实测的电机转矩曲

线。转矩给定为 $1\,000\text{ N}\cdot\text{m}$ ,可见实际转矩波动在 $\pm 0.5\text{ N}\cdot\text{m}$ ,控制精度达到 $\pm 0.5\%$ ,满足试验要求。

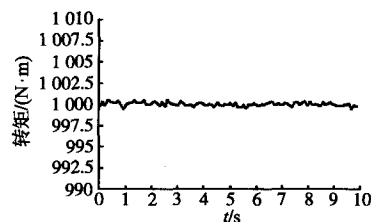


图6 转矩控制波形

Fig.6 Waveform of torque control

由于采用电加载回馈的方案,加载试验时消耗的功率主要为被试和陪试电机的机械损耗,约为试验功率的 $25\%$ ,达到了良好的节能效果。

### 4.3 与其他控制方案的比较

电加载方式与其他加载方式相比具有以下特点:1)优异的加载特性,具有额定转速以下(直至零转速)恒转矩特性。电涡流测功机、水力测功机等加载器的低速性能不好,在一个相对低转速下甚至无法加上负载。电加载方案非常理想地解决了这一问题,这对于电机性能测试非常重要;2)具有正反向同样的加载特性。一些加载器只能一个方向加载,例如水力测功机等。而电加载方式可以方便地改变加载方向,对于需要频繁改变转向的试验是必要的;3)节能环保,采用电力回馈,大大节约能源消耗。这对于需要长时间工作的试验系统,节能效益是非常可观的;4)全数字化调节,精度高,稳定性好,可靠性好;5)使用方便,无需水冷、油冷装置;调节方便;设备简单,占地少;6)响应快;7)具有消除电机惯量的功能即电子惯量功能。

各种加载方式的简明对比如表1所示。

表1 各种加载方式性能比较表

Tab.1 Performance comparison of different kinds of loader

名称	低速性能	高速性能	节能效果	正反加载	倒拖驱动	冷却方式	功率范围
电加载	很好	好	节能效果好	可以	可以	风冷	大
电涡流加载	差	好	不能	可以	不能	水冷	大
水力加载	很差	一般	不能	不能	不能	水冷	大
磁粉制动器	可以	不好	不能	可以	不能	水冷	小
磁粉制动器	可以	好	不能	可以	不能	自冷	很小

## 5 结论

本文根据交流电机型式试验台的工艺要求

(下转第80页)

# 5 案例分析

笔者根据日常检测的变压器,收集了9台不同容量具有代表性的配电变压器数据,采用新、旧2种不同的算法,进行统计比较,结果如表1,图3所示。

表1 变压器不同容量短路阻抗计算统计

Tab.1 Different capacity transformer short-circuit impedance calculation of statistics

变压器容量/ kV·A	测量电压/ kV	施加电流	
		$I/A$	$I_1/I_2/\%$
50	0.400	2.84	98.5
200	0.371	11.23	97.3
400	0.417	22.70	98.3
630	0.441	36.01	99.0
800	0.447	46.17	100.0
1 000	0.532	52.57	100.2
1 600	0.473	91.65	99.2
2 000	0.538	115.20	99.8
8 000	2.941	116.11	96.8

负载损耗/ 75℃	短路阻抗(每相)/%		(原算法-新算法)/ 原算法/%
	原算法	新算法	
0.769	4.157 6	4.146 0	0.279 0
2.681	3.887 7	3.878 0	0.249 5
4.545	4.285 7	4.277 5	0.191 3
6.273	4.482 4	4.477 4	0.111 5
7.005	4.491 6	4.488 8	0.062 3
9.505	4.853 3	4.852 7	0.012 4
10.836	4.781 2	4.780 8	0.008 4
11.793	5.405 0	5.404 8	0.003 7
31.016	7.896 2	7.896 1	0.001 3

从以上统计数据 and 图形可以直观看出,对于容量大于1 000 kV·A以上的大部分变压器,由于

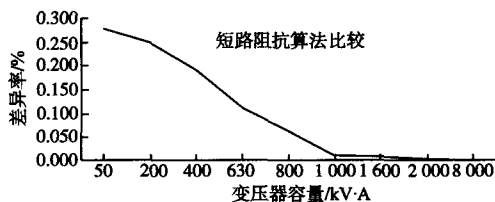


图3 短路阻抗算法比较曲线图

Fig.3 Short circuit impedance algorithm comparison chart

$z_{r75} \gg z_x$ , 所以新旧2种计算方法几乎相等,此时采用标准推荐的式(6)即可得出较为准确的计算结果,但对于容量小于800 kV·A以下的小容量配电变压器,建议采用更为精确的计算式(9),以保证数据的准确性。

# 6 结论

目前,关于变压器短路阻抗新的计算方法已成功应用于国家中低压输配电设备质量监督检验中心试验站,其在符合标准的前提下,提高了数据的准确性,保证了试验结果的公正性,为质检系统的市场监管、抽查和仲裁鉴定之类的检验工作,特别是对于结果处于临界值附近时,提供了高精度、高可靠性的数据,从而尽量减少及避免对样品的误判,给解决试验纠纷提供技术支持。

## 参考文献

- [1] GB1094.1—1996 电力变压器第1部分 总则[S].1996.
- [2] 何东升.基于变压器突发短路试验探讨提高抗短路能力[J].电气传动, 2012,42(3):62-65.
- [3] JB/T501—2006 电力变压器试验导则[S].2006.

收稿日期:2013-08-13

修改稿日期:2014-01-21

(上接第77页)

和相关标准,应用变频驱动技术和同步发电机励磁控制技术,设计了一套电源和加载系统。使用情况和实测结果表明,该系统具有控制精度高、操作简单、适用范围广等优点,可适用于0.55 kW至400 kW的交流电机型式试验,现已稳定运行1 a多,取得了理想的效果,并为电机型式试验台的设计和变频调速装置的应用提供了参考。

## 参考文献

- [1] 才家刚.电机试验技术及设备手册[M].北京:机械工业出版社,2004.

- [2] 许大中,贺益康.电机控制[M].第2版.杭州:浙江大学出版社,2002.
- [3] 中国电气工程大典编辑委员会,电机工程[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [4] 上海电器科学研究所.GB 755—2008 旋转电机 定额和性能[S].北京:中国标准出版社,2008
- [5] 马小亮.高性能变频调速及其典型控制系统[M].北京:机械工业出版社,2010.

收稿日期:2013-11-04

修改稿日期:2014-02-21