

双馈发电机叠频法温升试验的适用性分析

祖成之

克诺尔南口供风设备(北京)有限公司 北京 102202

摘要: 叠频法温升试验方法是等效负载法测电机温升的一种,适用于普通的异步电机。为了验证叠频法温升试验方法对双馈风力发电机的适用性,针对2.0MW中速60Hz双馈风力发电机进行了叠频法与直接负载法的温升研究试验。试验结果显示,由于叠频法与直接负载法试验的损耗差异,导致采用两种方法时额定负载状态下的温升值相差较大,叠频法温升值约相当于直接负载法85%负载时的温升值。

关键词: 叠频法; 直接负载法; 双馈风力发电机; 温升试验

Applicability Analysis of temperature rise test of doubly-fed generator by frequency stack method

Chengzhi Zu

Knorr-Bremse Nankou Air Supply Unit (Beijing)Co., Ltd., Beijing 102202, China

Abstract: The superimposed temperature rise test method is one of the equivalent load methods to measure the motor temperature rise. It is applied to the ordinary induction motor. In order to verify the adaptability of the superimposed temperature rise test method to the doubly-fed induction generator, our company made a research on 2.0MW medium speed 60Hz doubly-fed induction generator between the superimposed temperature rise test method and direct load temperature rise method. Experimental results show that the temperature rise under rated load conditions differs, due to the loss differences between the two methods. The temperature rise of the superimposed method nearly equals that of the direct load temperature rise method under eighty-five percent load.

Keywords: superimposed Methods; direct load method; doubly-fed wind generator; temperature rise test

1. 前言

电机温升试验,也称“热试验”是衡量电机功耗与自身冷却容量匹配性的一个的关键性能指标。试验中所测得的各测量点的温度值与被电机所处的环境温度关系较大。而温升值则消除了环境温度对于各测量点温度结果的影响,直观的反映出各测量点温度升高的绝对差值。温升值的大小也有效地反映了被试电机的各部件温升值与所选绝缘材料等级的安全余量。此外,温升值与电机效率及其他性能指标存在明显的负相关。当温升值较高时,电机的定子损耗和转子损耗明显增加,进而造成总损耗增加,导致电机效率下降。当温升值过高甚至超过了规定地限值时,会在一定程度上加快绝缘材料的热老

化反应,最终加速电机损坏。因此,对该试验方法的研究和验证有着重要的意义。温升的测量方法主要有直接负载法和等效负载法,其中,等效负载法又包含降低电压负载法、降低电流负载法及定子叠频法。

根据GB/T 1032-2012的相关规定,电机试验台的温升及负载试验一般采用直接负载法,即:将被试电机与陪试电机通过联轴器进行机械连接,然后模拟实际负载进行加载^[1]。但是,随着电机单体容量的不断增加以及用于匹配不同工业需求的电机在外形尺寸、结构方面的多样性和复杂性,传统的温升方法已不能满足生产的需求,这样就给等效负载法提供了大量的使用空间。定子叠频法作为等效负载法的一种,与其它方法不同,叠频法进行温升试验时,不需要连接任何的机械负载或装置来向被试电机施加反向扭矩进行加载,因此该法主要用于无配对负载的300kW及以上电动机或较难实现对拖试验的立式电机等。对普通的异步电机,叠频法温升试验

作者简介: 祖成之,男,汉族,出生于:1986年11月,籍贯:北京,学历:本科,职称:工程师,毕业院校:天津科技大学,研究方向:电气工程及其自动化。

则可以减少对中装配的时间及试验时的能源消耗^[2]。为验证叠频法温升试验方法对双馈风力发电机的适用性,我公司进行了探索性的研究。

2. 叠频试验原理

叠频试验的基本原理为在试验时,电动机的定子同时有两种不同频率的发电机电源供电,两电源串联后为电动机供电,在异步电动机绕组上产生相当于直接负载时的损耗而使温度上升,电路结构如图1所示。

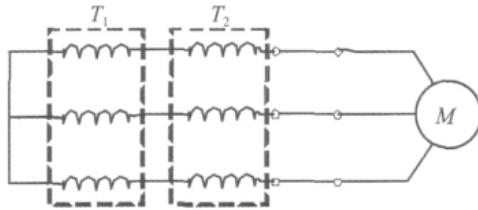


图1 叠频试验结构图^[3]

一般主电源频率为工频即电机额定频率50Hz,电压等级与被试电机额定电压值相同,这是用来起动并保证被试电机在额定电压下运行;副电源频率一般在38Hz~42Hz区间选择(低于额定频率20%左右),由于与主电源串联后一起给电动机供电,所以副电源电压相序应与主电源相同,同时,电压等级应与被试电机相同并且额定电流不小于被试电机的额定电流,用来调节并保证被试电机在额定电流下运行^[4]。根据试验时主副电源产生的两个不同频率的旋转磁场,分别以不同的角速度在气隙中旋转,所以气隙中的磁场为两个磁场的叠加,从而模拟对被试电机加载。

对于异步电机来说,由于主、副电源并不是同时接入的,因此会出现转子转速与定子磁场转速的交替起伏,使电机在电动机和发电机状态之间不断转换。但从能量守恒的角度来看,不论电机运行于发电机还是电动机状态,由于定子合成磁场转速的不稳定,定子绕组内电流将高于其正常稳定空载运行时的电流,而且合成磁场角速度的变化幅度越大,其定子电流亦越大^[5]。所以,调节副电源电压即可达到调节定子绕组电流的目的,将定子电流调节至额定电流即可实现电流基准法的温升试验,这就是定子叠频温升法的本质。

根据叠频法的试验原理,我们用公司的3MW试验台进行了双馈风力发电机的叠频法温升试验。我公司的3MW试验台可提供0~100Hz任意频率和0~3300V任意电压的电源。试验台电源装置的整流变压器将外网电压变为690V输出,通过整流电路单元和滤波电路单元共同作用,得到限定幅值的直流电压,在该直流母线上连接两个3MW逆变装置,通过逆变装置PMW方式调整输出后再经输出变压器变为可调节的交流电压,供各种试验电机使用。逆变装置可根据实际需要在允许的范围内,任意调节输出频率和电压的给定值,额定频率范围内逆

变装置均可输出额定容量,在额定电压输出时亦能达到额定^[6]容量输出,并有130%的过载能力,当需要能量反馈时,可将能量回馈到整流变压器的输出侧。

在进行叠频试验时,将两个交流电源并联并采用主从控制的方法来保证两电源的输出电压、频率相等、相位相同,实现可靠并联;在叠频试验时,采用电源直接发出与两种频率电源叠加后的合成电源波形,实现叠频试验要求。叠频试验系统结构如图2所示。

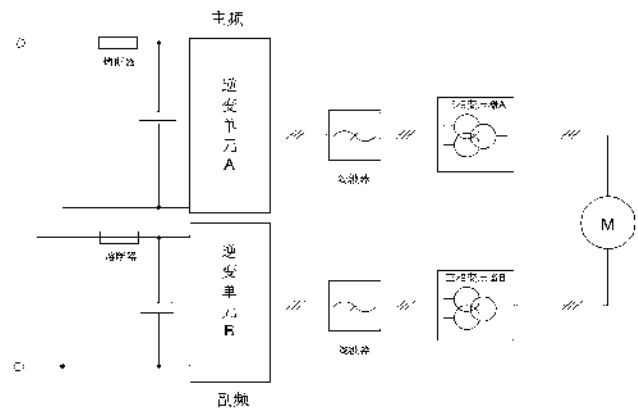


图2 叠频试验系统结构图

3. 试验方法与结果分析

双馈风力发电机与普通异步电机不同。本次试验选用2.0MW中速60Hz电机进行,在进行温升试验时,为使电机达到额定转速720r/min,给定主频为72Hz,起动电机,当电机运行到额定电压后,再开始加载叠频电压,此时,选取副频为62Hz。在加副频电压的时候不能施加过快,直至电机电流达到额定电流。待电机温升稳定后,将叠频电压慢慢降至0V,然后再将叠频频率设为0Hz,最后停机。

根据上述试验方法,进行了叠频法测温升试验,结果如下表1。

在该测试工况下,电机定子绕组温升为82K。

为分析叠频法温升试验方法对双馈风力发电机的适用性,需对该电机同时进行直接负载法温升测量,进而比较试验结果,判断两种方法的差异。2.0MW中速60Hz电机的额定状态各项参数为:

- 定子电压: 690V;
- 定子电压频率: 60Hz;
- 定子电流: 1444A;
- 转子电流: 651A。

本次试验选取了85%负载和95%负载两种情况进行了试验,数据结果见表2和表3。

由表2可以看出,85%负载时的温升为: 98.3-16=82.3K。

如表3所示,95%负载时的温升为: 108-16=92K。

由以上数据可以看出,叠频法满载温升值82K,约

表1 叠频法温升数据结果

定子电压 (V)	690	定子电流 (A)	1444	定子电压主频率 (Hz)	72	定子电压副频率 (Hz)	62	室温 (°C)	14.4	
t (h: min)	驱动端轴承温度 (°C)		非驱动端轴承温度 (°C)		定子绕组温度 (°C)					
	U		V		W					
19: 40	53	52.8	43.4	42.6	92.7	95.1	94.2	89.7	92.6	92.6
20: 10	54.3	54.1	44.2	43.4	93.4	96.1	95.1	90.6	93.6	93.5
20: 40	54.9	54.7	44.4	43.6	94	96.4	95.4	90.8	93.9	93.8

表2 85%负载温升数据结果

定子电压 (V)	721	定子电流 (A)	1170	定子功率 (kW)	1462.2	转子电压 (V)	417	转子电流 (A)	561	转子功率 (kW)	277
t (h: min)	驱动端轴承温度 (°C)		非驱动端轴承温度 (°C)		定子绕组温度 (°C)					进风 (°C)	
	U		V		W						
11: 45	52	51.8	54.8	54	94	91.6	97	95.6	96.2	96	14
12: 15	55.2	55	56.7	55.9	95.5	93.2	98.1	95.4	98.5	98.3	15
12: 45	54	53.8	54.8	54	95.1	92.8	98.3	96.1	98.2	98.1	16

表3 95%负载温升数据结果

定子电压 (V)	713	定子电流 (A)	1321	定子功率 (kW)	1638.8	转子电压 (V)	414	转子电流 (A)	616	转子功率 (kW)	303.8
t (h: min)	驱动端轴承温度 (°C)		非驱动端轴承温度 (°C)		定子绕组温度 (°C)					进风 (°C)	
	U		V		W						
11: 30	51.2	53	46.4	48.2	108	106.1	107	106.9	104	96	14
12: 00	53.3	55	54.1	55.9	106	104.2	106	106.5	105.2	98.3	15
12: 30	59	58.8	55	56	108	106.2	108	107.9	106	98.1	16

相当于直接负载法85%负载时的温升值，与直接负载法满载时温升值相差较大。经过对比分析，可总结温升差别原因有以下几点：

1) 叠频法温升试验时，铁心交变磁场频率为72Hz，高于直接负载法额定工况的60Hz，因此，其铁耗会小于直接负载法额定工况下的铁耗值；

2) 根据电机设计程序可计算得出，在叠频法温升试验时，转子电流约为497.1A。直接负载法额定工况时的转子电流为651A，因此，叠频法温升试验中产生的转子铜耗要小于直接负载法额定工况下的值；

3) 在叠频法温升试验和直接负载法温升试验两种工况下，额定负载时的定子电流有效值相同，但是叠频法温升试验工况下，转子电流有效值小于直接负载法中转子电流，故叠频法温升试验杂散损耗也较小；

4) 两种温升试验方法中，额定负载时的定子电流相同，故定子铜耗相同；且由于电机转速相同，均为720r/min，故可认为机械损耗也是相同的。

综上，叠频法温升试验中铁耗、转子铜耗、杂散损耗均小于直接负载法额定负载时的值，定子铜耗和机械损耗基本与其持平。因此，在选用叠频法进行温升试验时总损耗低于直接负载法温升试验，故导致叠频法温升值小于直接负载法时的温升值。

4. 结束语

通过叠频法温升试验和直接负载法温升试验结果比较，可以看出叠频法额定负载时的温升约相当于直接负载法温升试验85%负载时的温升值，与100%负载时的温升值相差较大，其主要原因是损耗差别较大。也就是说，由于两种方法试验时损耗的差异致使温升结果差异较大。此次研究证明，叠频法对双馈风力发电机的适用性还有待进一步的研究，同时也为叠频法的深入应用打下了一定的基础。

参考文献：

- [1]王泽威, 严刚, 刘有光.三相异步电动机叠频负载温升试验方法的探讨与应用.电气防爆.1995, 3: 16-20
- [2]张国本, 杨晓春.异步电机叠频法温升试验研究.东方电气评论, 2004, 9(3): 155-157.
- [3]盛君, 张敏.变频试验电源在电机试验中的应用.交流技术与电力牵引, 2007, 5: 57-60.
- [4]杨斌, 李晓庆, 吴亚旗.交流异步电机叠频法温升试验的探讨.电机技术, 2009年第3期.49-52
- [5]杨斌, 崔正军.三相异步电动机半电压叠频温升试验探讨移动电源与车辆, 2005, 4: 22-25.
- [6]马维林.用定子叠频法进行温升试验时被试电机的气隙磁场、损耗及温升.中小型电机, 2002(1) 17-18.