

# Application of On-axis Monitoring System of Shaft Voltage Axis Current in Large Doubly-fed Wind Power Units

Weiquan Cheng Wen Xie

China Machinery International Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410021, China

## Abstract

At present, China's wind power industry is developing rapidly, but its technical foundation is weak. Only by continuously improving the reliability of the unit and reducing the maintenance cost of the unit can we ensure the safe production and operation of the wind farm, and take the lead in the complicated and changing policy situation and fierce competition in the industry. Based on the research of on-line monitoring system for large-scale doubly-fed wind turbine shaft voltage axis current, it can find the insulation fault and potential threat of the motor in advance, and win time for the treatment of motor fault. Moreover, it can improve the reliability of the unit operation, reduce the equipment failure rate, reduce maintenance and repair costs, increase the operating efficiency of the wind farm, and effectively improve the production management level of the wind farm.

## Keywords

wind turbine; shaft voltage; shaft current; online monitoring

## 轴电压轴电流在线监测系统在大型双馈风电机组中的应用

程卫权 谢稳

中机国际工程设计研究院有限责任公司, 中国·湖南长沙 410021

## 摘要

当前中国风力发电行业迅速发展,但技术基础薄弱,只有不断提高机组的可靠性,降低机组维护成本,才能确保风电场安全生产运营,并在复杂多变的政策形势和激烈的行业竞争中居于领先地位。基于大型双馈风力发电机轴电压轴电流在线监测系统研究,能提前发现电机的绝缘故障及潜在威胁,为电机故障的处理赢得时间,而且可以提升机组运行的可靠性,降低设备故障率,减少检修维护成本,增加风电场经营效益,有效的提高风电场生产管理水平。

## 关键词

风力发电机;轴电压;轴电流;在线监测

## 1 引言

在风力发电领域,为了提高风能利用率及电能质量,广泛采用变频调速的传动形式。现代大型风力发电机组普遍采用 PWM (脉冲宽度调制) 变流器,既带来了动态响应快、调节精度高等优点,但也不可避免地产生了一些负面影响,例如大型双馈风力发电机在运行中产生轴电压是不可避免的,轴电压传导至双馈发电机,可以导致发电机轴承油膜放电击穿,最终造成轴承失效。对于齿轮箱、发电机这类大部件,由于安装在距离地面近百米高的机舱上,空间受限,人员不便到达,设备更换困难,一旦发生损坏,造成的维护费用将非常高昂。

## 2 轴电压轴电流产生机理

双馈风力发电机组通过变流器驱动电机转子,变流器根据双馈发电机的转速和电网工况,调整其输出电压的频率、相位和幅值。目前,双馈式风电机驱动器大多选用两电平电压源型变流器,其功率元件为 IGBT 模块。运行时,因 IGBT 的电压变化率 ( $dv/dt$ ) 很大,会对电机绝缘产生强烈的冲击作用。两电平电压源型变流器的三相瞬态输出之和不为零,存在较高的共模电压(零序电压)。这类型变流器驱动的电机组中,共模电压的高频成分通过电机的寄生电容耦合至电机的旋转轴上。大型双馈电机寄生参数分布如图 1 所示,其中  $C_{sr}$  为定子绕组与转子之间的寄生电容,  $C_{sf}$  为定子绕组与定子主框架之间的寄生电容,  $C_{ws}$  为定子绕组与转子绕组之间

的寄生电容,因二者的相对位置随电机的旋转而变化,故  $C_{ws}$  是变化的。 $C_{rf}$  为转子铁心与定子铁心之间的寄生电容,  $C_{wr}$  为转子绕组与转子之间的寄生电容,  $C_{wf}$  为转子绕组和定子铁心之间的寄生电容。 $C_b$  为轴承由于油脂的绝缘作用而形成的寄生电容,它主要受油膜的厚度影响,而油膜的厚度由油脂的特性、电机的转速及油脂的温度等因素决定,因此  $C_b$  是变化的。

[1]

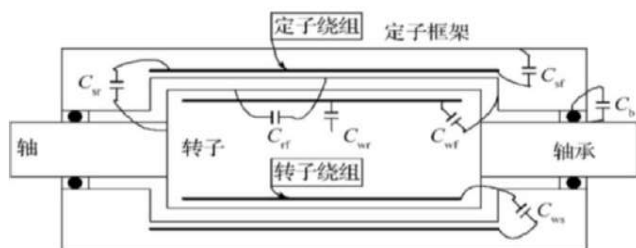


图1 双馈电机寄生参数分布

设双馈机组变流器的网侧部分通过并网回路作用在定子上的共模电压为  $V_{cmS}$ , 机侧部分通过机侧电气连接线作用在转子滑环上的共模电压为  $V_{cmR}$ , 于是图1可等效为图2所示的电气模型。

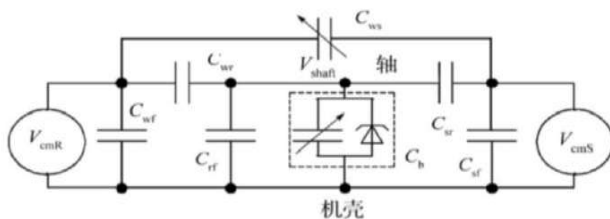


图2 双馈电机寄生参数等效电路

根据基尔霍夫电流和电压定律,双馈发电机寄生参数的等效电路模型可表达为:

$$(V_{shaft} - V_{cmR}) \times C_{wr} + V_{shaft} \times (C_{rf} + C_b) + (V_{shaft} - V_{cmS}) \times C_{sr} = 0 \quad (1)$$

上面等式中的  $V_{shaft}$  为轴电压,利用等式(1),轴电压可表示为:

$$V_{shaft} = \frac{C_{wr}}{C_{wr} + C_{rf} + C_b + C_{sr}} \times V_{cmR} + \frac{C_{sr}}{C_{wr} + C_{rf} + C_b + C_{sr}} \times V_{cmS} \quad (2)$$

由式(2)可以看出,轴电压是共模电压的一个分量,其大小受变流器共模电压和电机寄生参数的影响,是机侧变流器、网侧变流器以及电机的寄生参数共同作用的结果。

风力发电机在运行中,轴电压一旦形成回路,就会产生轴电流。发电机转子在高速运转时,由于运行摩擦在轴上产

生的静电荷逐渐积累,使轴承的电位不断升高,如果运转的轴承没有接触旋转体以外的部件,则在轴上会一直积累电荷,最后产生过高的电压。当该电压超过轴承油膜的绝缘强度,则电荷在极短的时间内放电,形成轴电流。这时,产生的轴电流相当大,瞬间可到几百甚至上千安培,足以烧坏轴颈和轴瓦。<sup>[2]</sup>

### 3 轴电压轴电流在线监测系统设计

#### 3.1 系统原理

轴电压和轴电流在线监测系统(以下简称监测系统)构成如图3所示,轴电压与轴电流通过前端信号采集设备采集和处理后,通过以太网或光纤传输介质与上位机进行通信;轴电压、轴电流的数据处理和分析全部由计算机完成。能够连续在线检测轴电压和轴电流,并提供数据分析、报警以及波形显示等<sup>[3]</sup>。

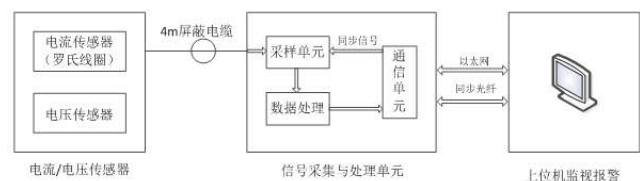


图3 轴电压和轴电流在线监测系统构成图

#### 3.2 监测系统的硬件设计

监测系统包括在线检测装置和上位机监控平台两部分,其中在线检测装置是核心部件,其硬件采用 ARM Cortex-M4 处理器 +FPGA 架构,系统数据的采样与数据处理以及通信协议都由自主设计的 IP 内核来完成,完全拥有自主知识产权。监测系统主要特点如下:

(1) 高采样率:本装置包含两路轴电压信号和一路轴电流信号,三路信号同时采样,且通道采样率可达 400k/s。

(2) 高精度:前端轴电压采用无感电阻分压,轴电流采用高精度互感器取样,信号经过精心设计的程控放大器,对小信号进行适当的倍数放大,最后通过 14 位 AD 芯片进行数据转换,采样精度能控制在 0.5% 以内。

(3) 完整的监控平台:针对满足风场的风塔分布广,通信距离远等特殊要求,该系统的在线监控平台可覆盖风场的全部设备,可支持一台上位机服务器同时连接不少于 256 个轴电压轴电流监测装置,用于实时监测轴电压和轴电流数据,并且能实现在线波形、报警警情分析以及相关运行数据存储

检索等功能。

### 3.3 监测系统的软件设计

监测系统的上位机安装有远程监控软件，上位机通过 MODBUS-TCP 协议可以对轴电压轴电流在线检测装置进行参数设定、有效值数据、报警信号读取以及海量数据请求。在得到相应的响应数据后，实现有效数据显示、波形显示、频谱分析等操作。

远程监控软件主要包括中心段的远程监控软件、数据库服务器、交换机等，交换机可借助风场已有的网络结构体系，将轴电压轴电流在线监测装置采集到的数据传输到办公大楼的数据中心服务器，由服务器将相关数据展现在大屏幕上，图 4、图 5 和图 6 分别为远程监控软件主界面图、轴电压和轴电流实时波形图以及参数设置界面图。<sup>[4]</sup>

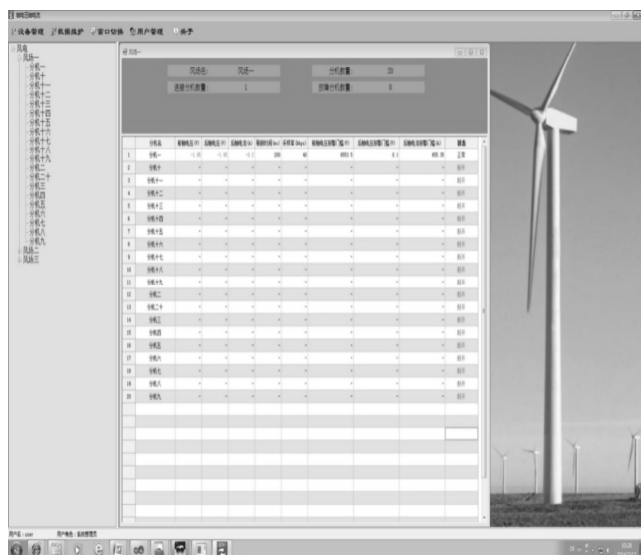


图 4 远程监控软件主界面图

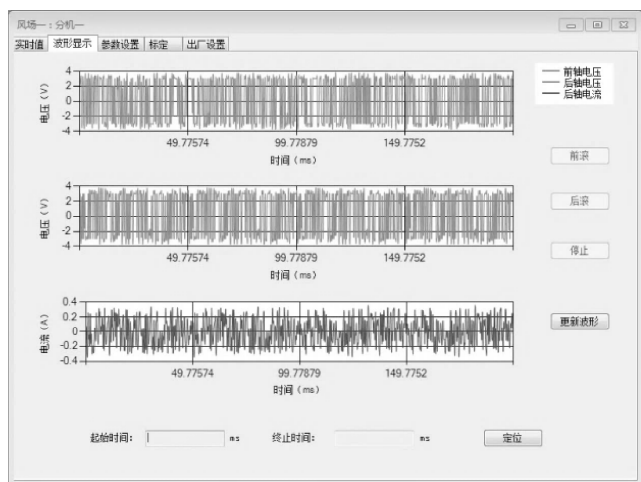


图 5 轴电压和轴电流实时波形图



图 6 轴电压和轴电流参数设置图

## 4 监测系统的性能特点

### 4.1 网络化

通讯接口模块采用多种可选配的通用接口，如 CAN，RS-485，光纤，以太网等，根据不同需求，选择安装所需接口，并方便网络化、智能化应用，且符合物联网的发展潮流与理念，使测试仪器往分布式计算、云计算方向发展。

### 4.2 智能化

在宽幅值范围内，随着读数的减小，读数误差不变，而量程误差变化与读数成反比，读数越小，量程误差越大。通用平台中模拟信号处理模块均设置了 8 个档位，实现了 128 倍动态范围内的高准确度测量。采用无缝自动转换量程技术，档位切换时，数据不丢失的特点可满足宽幅值范围内的动态测量，全面记录被测信息，不放过每一个细节变化。

### 4.3 高精密度

数据处理模块对数据进行预处理，对获得的样本数据进行数值标定。由于仪表精度误差和试验条件诸如温度的影响造成的非等精度测量误差必然会导致粗差点存在。因此，在软件中构建合适的模型，对曲线数据采用时域分析对非线性进行校正，对系统误差进行补偿，使得输出信号更精确。

### 4.4 集中控制管理

能实时显示风力发电机的轴电压轴电流的有效值、故障报警；能对多个风场集中监测，可接入监测不同风场和风机，规避不同机组和中控系统复杂性，通过一套系统监测和管理。还可接入多项实时数据，通过通用报表统计，并可通过直观的图形显示方式实现对比分析。

#### 4.5 高性能

该设备采用基于 ARM 架构的双核 M4 作为主控芯片, 具有强大的数据运算功能, 可进行傅里叶快速变换及其他较高要求的运算需求。

#### 4.6 实时示波器

采用可变采样率的实时采样技术, 其可在实际的试验站测试中替代专业示波器, 且无需考虑探头量程问题。

#### 4.7 无纸记录仪

本系统设置了截屏与采集功能。截屏功能相当于照相机, 每按下一次, 记录一次屏幕快照。采集功能则记录所有通道的瞬时采样数据和运算的各种稳态特征值。截屏和采集以文件方式记录到服务器的硬盘中。

### 5 结语

当前中国风力发电行业迅速发展, 但技术基础薄弱, 只有不断提高机组的可靠性, 降低机组维护成本, 才能确保风

电场安全生产运营, 并在复杂多变的政策形势和激烈的行业竞争中居于领先地位。大型的风力发电机轴电压轴电流在线监测报警装置研发与应用, 能及时发现风力发电机的绝缘故障及潜在威胁, 为故障的处理赢得时间, 提升机组运行可靠性, 降低设备故障率, 减少检修维护成本, 增加风电场经营效益, 有效提高风电场生产管理水平。本系统的设计现已完成, 并成功应用在我司总承包的大型双馈风力发电机组发电项目上, 目前运行情况一切良好。

#### 参考文献

- [1] 贺益康, 胡家兵, 徐烈. 并网双馈异步风力发电机运行控制 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [2] 王志新, 罗文广. 电机控制技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [3] 陈雷, 邢作霞, 潘建, 钟明舫. 大型风力发电机组技术发展趋势 [J]. 可再生能源, 2003(1):27-30.
- [4] 郭东杰. 风电机组状态监测与故障智能诊断系统研究 [D]. 山西大学, 2012.