

## 不平衡电压对双馈风力发电机组变频器的影响因素研究

徐 校

云南龙源风力发电有限公司 云南昆明

**【摘要】** 风力发电机组运行是在特定环境之下进行的，基于特殊环境，双馈风力发电机组与电网连接过程中可能出现稳定性不佳、故障频发的现象，影响了系统的正常运行。本文结合不平衡电压针对双馈风力发电机组的影响，针对 1.5MW 双馈风力发电机组开展仿真分析，综合各项数据研究分析不平衡电压对变频器交、直流侧产生的影响，提出采取相应的控制策略，促进风力机组的顺利运行。

**【关键词】** PIR 控制器；变频器；双馈风力发电机组

**【收稿日期】** 2023 年 1 月 25 日 **【出刊日期】** 2023 年 2 月 20 日 **【DOI】** 10.12208/j.ijme.20230008

### Study on the Influence Factors of Unbalanced Voltage on Inverter of Doubly Fed Wind Turbine

Xiao Xu

Yunlongyuan Wind Power Generation Co., Ltd. Kunming, Yunnan Province

**【Abstract】** The operation of wind turbines is carried out in a specific environment. Based on the special environment, unstable stability and frequent failures may occur in the process of connecting doubly-fed wind turbines with the power grid, which affects the normal operation of the system. In this paper, combined with the influence of unbalanced voltage on doubly-fed wind turbines, a simulation analysis is carried out for 1.5MW doubly-fed wind turbines, and the influence of unbalanced voltage on AC and DC sides of frequency converters is studied and analyzed by synthesizing various data, and corresponding control strategies are put forward to promote the smooth operation of wind turbines.

**【Keywords】** PIR controller; Frequency converter; Doubly fed wind turbine generator set

风力发电迎合了清洁能源建设发展的要求，为此我国电力能源开发设计过程中不断优化风力发电机组设置与布局，地形与风力情况是风力机组安装的重要影响因素之一，一般在高山或远海等大风较大的环境之下安装双馈风力发电机组，采用弱电网与电网并联的组合方式，使得定子与电网直接相连，此种组合方式运用中稳定性有限，与系统实际运行要求之间存在着一定的出入，导致出现多种不同类型的故障。一旦电网出现故障，系统运行中电压频率、幅值、相位等要素也产生一定的变动，导致运行中电压不平衡，出现较大的负序电压、电流，影响了双馈风力发电机工作效率。本文对此进行研究，结合对称分量理论，研究得出电机正序直流量与负序二倍频率交流量在相互作用之下，导致出现电网频率波动。

#### 1 双馈风力发电机组特性概述

电压不平衡导致的功率与电磁转矩产生的二倍频波动，能够改变双馈风机控制方法，提升抗干扰能力。在对谐波原因的分析过程中建模进行分析，利用转子基波和谐波电流指令算法运用 PI-R 电流控制器对系统运行进行调节，达到抑制转子谐波分量的运行效果。针对 1.5MW 双馈风力发电机开展数据仿真分析，结果显示控制器运行具有良好的有效性。当前风力机组的常见设计方式包括双馈电机、同步电机、异步电机，不同类型的电机呈现出不同的运行特征。同步电机采用直流励磁设计方式，运用可改变功率因数，可调量为幅值，转速可保持不变，具有体积小、效率高、可靠性高的运行特征，变流器功率大、变速箱较为复杂。

异步电机采用无励磁绕组设计方式，运用不可改变功率因数，可调量为幅值、频率、相位，转速随负荷变化，具有简单、成熟、可靠、生产维护成

本低的运用优势,风能利用效率低、结构受风力影响较大。双馈电机采用交流励磁设计方式,设计可改变功率因数,采用能够调整的幅值、频率、相位,转速可保持不变,风能利用效率高、变流器功率较小,存在滑环、需要维护、变速箱较为复杂<sup>[1]</sup>。本文研究的风力机组采用双馈电机设计方式,运行具有较强的便捷性与优势。

风力发电系统变速恒频双馈异步发电机在运行中容易受到同步电机特性的影响,发电机转速不易受到负载的影响,使得即使是在不同风速之下,电机依然保持相同的转速,影响了机组运行效率,导致运行中产生较大的磨损情况,降低了发电质量。为此在运行过程中可以结合实际情况适当调节励磁电流频率、幅值、相位等数值。使得电力系统运行中保持恒定频率的电能,尽量缓解机组磨损情况,提升风力机组运行效率,通过优化操作提升机组使用寿命。双馈风力发电机设计过程中综合具备同步、异步发电机特征,双馈风力发电机组运行过程中能够有效调速,励磁容量不大,运行中不会给机组带来较大的负担。有/无功功率运行状态下均能够独立调节,运行过程中具有较强的稳定性,设计了双馈发电方式,使得发电机同步运行状态下转速正常,避免收到频率的限制,保持转子转速与位置的适宜性,避免影响输出电压、电流的性能,增强参数设置的合理性。

## 2 仿真设计

### 2.1 软硬件设计

构建 LabView 仿真平台,建立 1.5MW 网侧变频器模型。优化各项参数设置,增强仿真分析的合理性,各项参数设置如下:网侧变频器电阻设置 0.01  $\Omega$ , SVPWM 调制频率设置 2kHz 网侧变频器电感设置 0.9mH, 直流母线电容设置 0.015F, 直流母线电压为 1100V。PXI 机箱型号未为槽机箱,在插件选择上运用总线接口,未系统运行提供交流供电。通过硬件配置的优化,为仿真设计提供硬件支持。为系统运行构建精准的参数,实时控制器选择 PXI-8110 四核嵌入式控制器,主频为 2.26Hz。数据采集板卡设计中,模拟量输出板卡选择 PXI-6733,设置两块多功能采集板卡通道。设置三块 PXI-6528 采集输出板卡,设置一块 PXI-4265 温度信号采集板卡,设置一块 PXI-6217 模拟量采集板卡。设置一块 PXI-7485R 系列多功能板卡,联合运用 FPGA 技术

与模拟数字 I/O 技术,基于 LabVIEWFPGA 模块编程的设置,设置个性化的处理功能。为系统运行设置连接线缆、接线模块等<sup>[2]</sup>。

通过软硬件设计,促进 1.5MW 网侧变频器的仿真分析,目的在于更好地分析不平衡电压对变频器的影响。

### 2.2 系统设计结构

仿真系统中的构成要素包括状态监控、参数配置、远程控制程序、控制器配置等内容。该仿真系统运行中的参数包括三角波的幅值、频率、相位和采样时间、积分时间、设定值电压、微分时间、PID 控制比例增益、电网三相电压幅值、频率、相位与采样时间、变频器参数、开关周期。系统运行过程中,不同的参数之间独立运行,某一个参数运行并不会影响其他的参数,不同参数处于独立运行状态,保障系统顺利运行,增强仿真分析的科学性。优化控制面板控制模式、手动控制量的设置与配置,仿真分析过程中,及时读取配置文件调节器参数,并将数据保存至运行程序之中。优化系统的整体运行,构建实时监控管理体系,实现对大量数据的精准分析。采用的监控方式为构建三相电流电压曲线、三相电压与电流的、三相电网电压曲线、直流侧电压曲线、三相的对比曲线,对系统实时运行情况进行分析,更好地掌握系统实际运行情况<sup>[3]</sup>。

设置内部定时器的设定数值,构建实现实时仿真分析模式。构建控制器、控制算法模块、三相电网电压模块、双投开关模块、双闭环结构模块等,实现对大量数据的精准分析,从不同的运行模块进行单独分析,并将每一模块放在整体运行之中进行综合仿真分析。将反馈环节电压、设定值电压进行调节处理,最终输出电流三相电网电压与电流,通过坐标数值变动之后得出反馈电压值、反馈电流值。在早期仿真分析阶段,设置基于 PI 控制器的矢量控制策略,0.1s 时,在电网 C 相电压跌落至正常状态 80%时,出现电网电压不平衡现象,0.21 时,构建辅助 PIR 控制器。0.45s 时,电网电压恢复平衡。利用调节器将仿真数据与正常状态下的数据进行对比,进行电压补偿计算,得到解耦补偿项,得出变换器交流侧参考电压,促进对系统运行的精准分析。

## 3 不平衡电压对变频器的影响

研究不平衡电压对双馈风力发电机变频器直流侧与交流侧运行的影响。

### 3.1 变频器直流侧

针对直流电容-电压波形表示情况进行仿真分析,研究得出直流电容-电压频谱图。从图中能够看出直流电压呈现出 0.001s 周期性波动现象。产生偶数次谐波分量,100Hz 谐波分量幅值为直流电压幅值的 1/6,具有一定的数量表达关系。

### 3.2 变频器交流侧

研究变频器交流侧 A 相电压波形变动情况,通过分析之后得出变频器交流侧 A 相电压频谱图。研究之后能够看出变频器交流侧 A 相电压呈现出周期性畸变的现象。综合图像分析可见,交流侧 A 相电压在研究区间内出现不同频率的变化,频率变动的主要表现点在于 150Hz 频率、250Hz 频率、350Hz 频率的奇数次谐波电压分量<sup>[4]</sup>。

## 4 对变频器的要求及控制策略

通过综合研究分析可见,双馈风力发电机系统运行过程中,变频器直流侧偶尔出现偶数次谐波分量,变频器交流侧运行中则显现出奇数次谐波分量。由此在运行中对变频器能够满足一定的要求,主要表现为变频器功率具有双向流动性,能够对电能质量起到一定的改善效果。在作业运行过程中避免出现电压谐波分量,能够提供无功功率。

双馈风力发电机组在不同运行状态之下的特征有不同,包括风超同步状态、同步状态等,由此运用电压外环、电流内环控制变频器的控制系统,针对系统实际运行进行矢量控制,进行双闭环控制,采用 PI 调节器予以适时整定,避免系统运行中产生较多的谐波分量。在交流侧运行过程中,基于 dq 轴坐标系构建双馈风力发电机数学模型。在数据综合分析中,联合运用矢量控制解耦技术,并对系统运行构建 PI 调节器作业方式,通过 PWM 得出发电机的励磁电流,由此通过系统综合作业与调节,单独控制有功功率、无功功率<sup>[5]</sup>。

改进 PIR 控制器。PIR 控制器运行中适当滤除频率干扰信号,但是在实际操作过程中存在着一定的难度,难以达到理想状态下的 PIR 控制器。PIR 控制器一般采用模拟元器件、计算机两种运行方式。模拟元器件运行精度有限,难以达到理想的 PIR 控制器。计算机运行模式中容易受到计算机数字系统位数的限制,影响了 PIR 控制器的实现。系统运行中容易受到谐振点、其他高频频率点的影响,使得

PIR 控制器幅值有限,难以有效抑制其他的的谐波干扰。从谐振点分析,PIR 控制器在谐振点的相角数值往往较大,影响了控制系统运行的稳定性。为了增强 PIR 控制器的运行性能,对系统运行进行改造处理,使用截止频率构建新的 PIR 控制器。在改进之后 PIR 控制器对谐振点起到了良好的控制效果,以此进一步提升谐振点稳定性。PIR 控制器改进之后,截止频率数值与谐振频率增益呈反比,同时能够适当增加带宽,使得控制器电压频率围绕谐振频率波动过程中能够带来较大幅值增益,促进电压频率产生一定的变动,促进控制器带来增益。

## 5 结束语

本文研究中对 1.5MW 双馈风力发电机系统进行综合测算与分析,与实际运行情况相结合,综合分析得出不平衡电压双馈风力发电机组变频器直流侧在运行中容易对偶数次谐波产生一定影响,交流侧则能够产生畸变的奇数次谐波,对系统综合运行情况进行测算,使用矢量控制技术对系统运行进行一定调节与管理,结合实际运行状况,联合运用双闭环控制策略,以此有效应对不平衡电压带来的影响。

## 参考文献

- [1] 田琪.东方风电 2.5MW 机型管型母线热熔故障分析研究与探讨[A].江西省电机工程学会.2021 年江西省电机工程学会年会论文集[C].江西省电机工程学会:江西省电机工程学会,2022:3.
- [2] 王海兵,宣伟民,李华俊,彭建飞,何金成,胡浩天,陈勇,康莉,HL-2M 研制团队.300MVA 脉冲发电机高压变频器调速装置设计及调试[J].核聚变与等离子体物理,2021,41(S2):453-456.
- [3] 郭洪涛,王威尧,李梁,蒋靖,孙建建.基于谐振控制器的双馈风力发电机组网侧变频器控制策略[J].科学技术创新,2019(36):26-30.
- [4] 郝卫明,刘文达.3500 吨敷缆船综合电力推进系统关键技术应用[J].船电技术,2021,41(08):48-52.
- [5] 周立安,晏才松,邓建华,雷黎明,贾思庆.直流组网船舶 1.99MW 永磁同步发电机研制[J].微特电机,2021,49(04):25-29.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS