

The background is a traditional Chinese ink wash painting. It depicts a vast landscape with layered mountains in shades of green and blue, receding into the distance. In the foreground, a calm body of water reflects the sky and mountains. A small red boat with a person is visible on the water. Several birds, including a large white crane with black wings, are shown in flight against a pale, hazy sky. A large, bright red sun or moon is positioned in the upper left corner.

# 直驱风电场并网系统的密集次同步振荡模式分析

汇报人：

2024-01-12



# 目录

- 引言
- 直驱风电场并网系统概述
- 密集次同步振荡模式产生机理分析
- 建模与仿真分析方法研究
- 抑制措施与优化方案设计
- 实验验证与性能评估
- 总结与展望



01

引言



# 研究背景和意义



## 能源转型与可持续发展

随着全球能源结构的转型，风能作为一种清洁、可再生的能源在全球范围内得到了广泛应用。直驱风电场作为风能发电的重要形式，其并网系统的稳定性对于保障能源供应和推动可持续发展具有重要意义。

## 电力系统稳定性挑战

随着直驱风电场规模的扩大和并网系统复杂性的增加，次同步振荡问题逐渐成为影响电力系统稳定性的重要因素。次同步振荡可能导致系统设备的损坏，甚至引发系统崩溃，因此对其进行深入研究和分析具有重要意义。



# 国内外研究现状及发展趋势



## 国内外研究现状

目前，国内外学者针对直驱风电场并网系统的次同步振荡问题开展了大量研究，主要集中在振荡机理、分析方法和抑制措施等方面。然而，现有研究大多针对单一振荡模式进行分析，对于密集次同步振荡模式的研究相对较少。

## 发展趋势

随着直驱风电场并网系统规模的扩大和复杂性的增加，未来研究将更加注重多模式、多时间尺度的振荡问题。同时，随着人工智能、大数据等技术的发展，基于数据驱动和机器学习的振荡分析方法将成为新的研究热点。





# 本文主要研究内容和目标



## 研究内容

本文旨在针对直驱风电场并网系统的密集次同步振荡模式进行深入分析。首先，建立直驱风电场并网系统的数学模型，揭示密集次同步振荡模式的产生机理；其次，提出一种有效的分析方法，实现对密集次同步振荡模式的准确识别和定位；最后，通过仿真和实验验证所提方法的有效性和实用性。

## 研究目标

本文的研究目标包括：(1) 揭示直驱风电场并网系统密集次同步振荡模式的产生机理；(2) 提出一种准确、高效的密集次同步振荡模式分析方法；(3) 通过仿真和实验验证所提方法的有效性和实用性，为直驱风电场并网系统的稳定运行提供理论支撑和技术支持。



02

# 直驱风电场并网系统概述





# 直驱永磁同步风力发电机组及原理

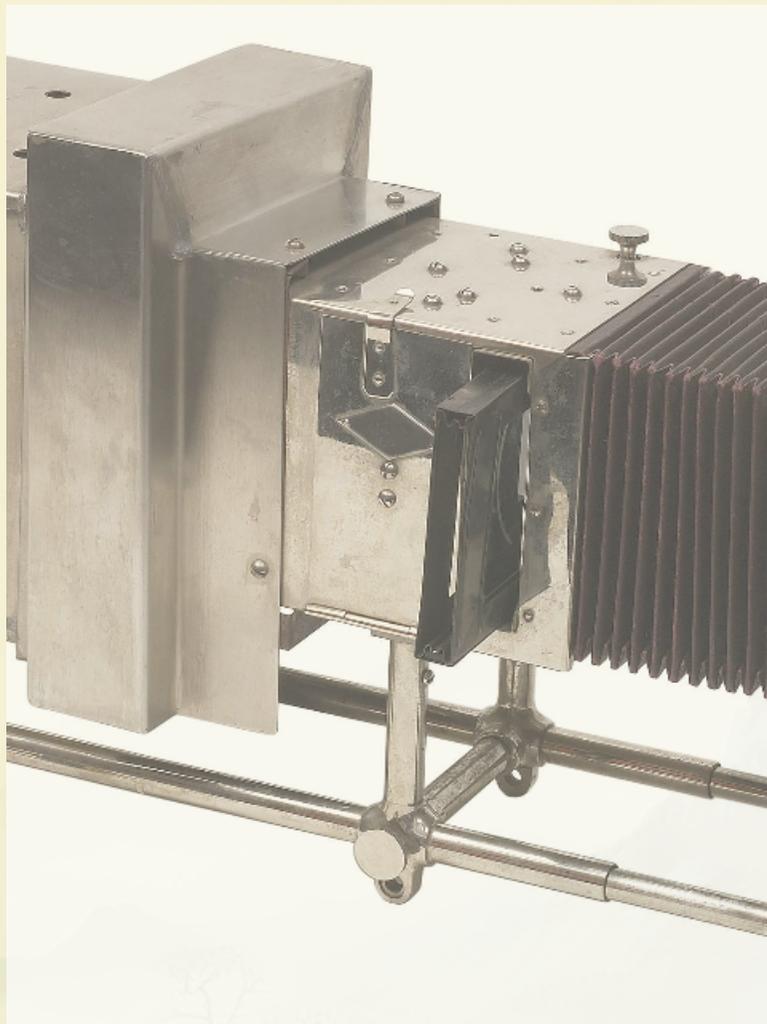


## 发电机结构

直驱永磁同步风力发电机由风轮、永磁同步发电机、变流器和控制系统等组成。

## 工作原理

风能通过风轮转换为机械能，驱动永磁同步发电机旋转，产生三相交流电。经过变流器将电能转换为符合电网要求的电能，并通过控制系统实现最大功率跟踪和并网控制。





# 并网系统结构及其特点



## 并网系统结构

直驱风电场并网系统包括风力发电机、变压器、开关设备、保护装置和并网控制器等。

## 特点

直驱风电场并网系统具有高效率、高可靠性、低维护成本等优点。同时，由于直驱永磁同步风力发电机的特性，使得并网系统具有较低的谐波含量和较好的电网适应性。



## 要点一

### 控制系统策略

直驱风电场并网系统的控制系统策略主要包括最大功率跟踪控制、并网控制、低电压穿越控制等。其中，最大功率跟踪控制通过调节风轮转速或发电机转矩，实现风能的最大捕获；并网控制通过调节变流器输出电流的频率和幅值，实现与电网的同步；低电压穿越控制则在电网故障时，通过采取适当的控制策略，保证风力发电机不脱网运行。

## 要点二

### 实现方法

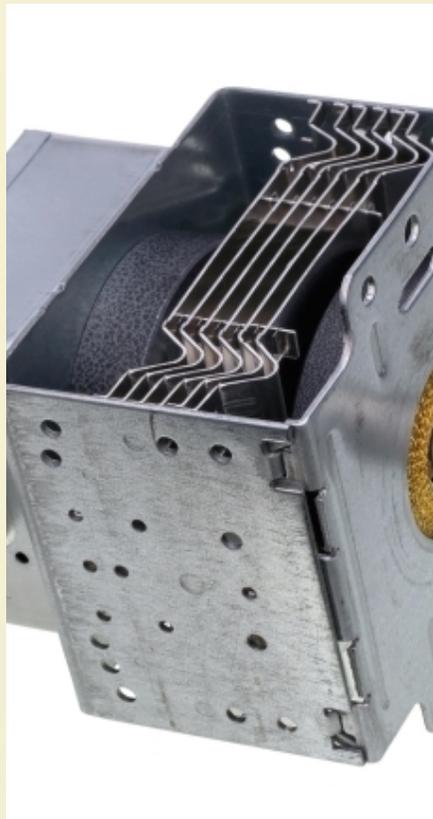
直驱风电场并网系统的控制系统实现方法主要包括基于传统控制理论的方法和基于现代控制理论的方法。传统控制理论方法如PID控制、根轨迹法等，具有简单实用、易于实现等优点；现代控制理论方法如鲁棒控制、自适应控制、智能控制等，能够更好地应对系统不确定性和非线性等问题，提高控制系统的性能和稳定性。



03

密集次同步振荡模式产生机理分析

# 次同步振荡基本概念及分类



## 次同步振荡定义

次同步振荡是指电力系统中发电机或风力发电机等旋转设备与电网之间，在特定条件下发生的低于系统同步频率的振荡现象。



## 分类

根据振荡频率范围，可分为低频振荡、中频振荡和高频振荡；根据参与振荡的设备类型，可分为机电振荡、电磁振荡等。

# 密集次同步振荡模式产生原因探讨



## 设备间相互作用

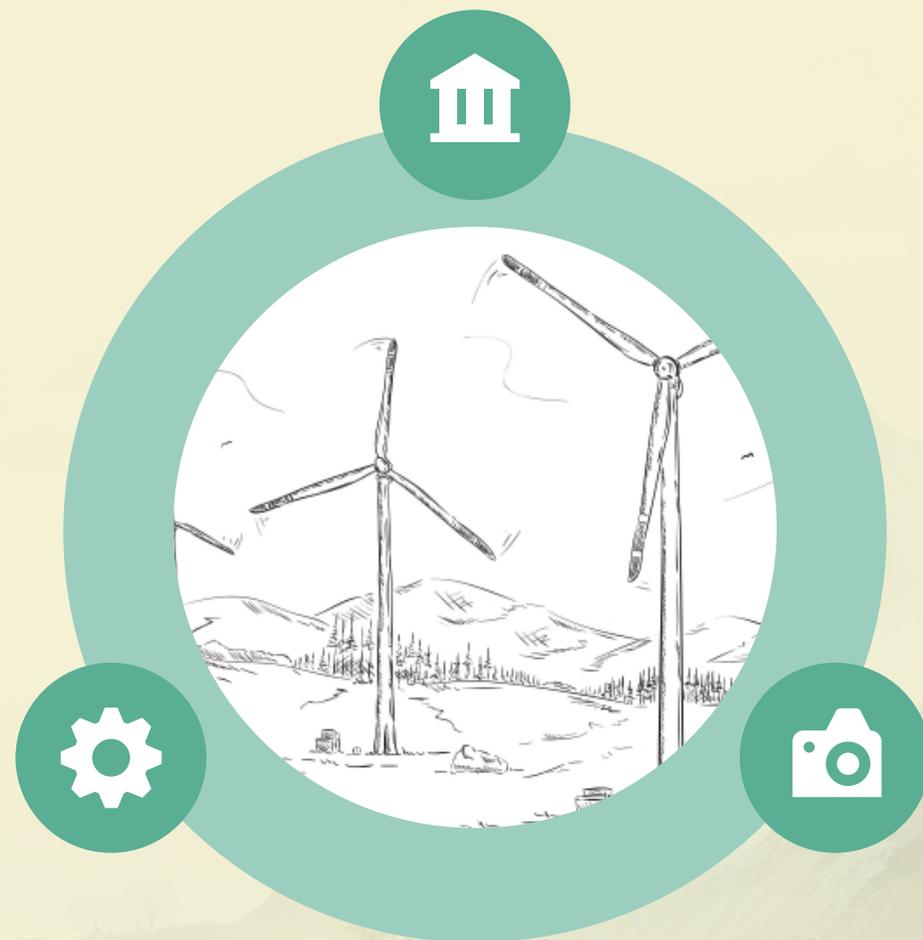
直驱风电场中，多个风力发电机通过并网系统与电网相连，设备间的相互作用可能导致振荡模式的产生。

## 控制策略影响

风力发电机的控制策略，如最大功率点跟踪（MPPT）和电压控制等，可能对系统的稳定性产生影响，进而引发振荡。

## 电网条件变化

电网的电压、频率等参数的变化，以及电网故障等异常情况，都可能对风电场并网系统的稳定性产生影响，导致振荡模式的产生。





# 影响因素分析



## 风速变化

风速的波动会影响风力发电机的输出功率和转速，进而对并网系统的稳定性产生影响。当风速波动较大时，可能引发密集次同步振荡。



## 负载变化

负载的变化会影响并网系统的功率平衡和电压稳定性。当负载突然增加或减少时，可能导致系统的不稳定，进而引发振荡。



## 其他参数变化

除了风速和负载外，其他参数如电网电压、频率、相位等的变化也可能对并网系统的稳定性产生影响，需要在实际运行中加以关注和控制。



04

建模与仿真分析方法研究



# 数学模型建立



## 状态空间法建模

通过选取适当的状态变量，建立直驱风电场并网系统的状态空间方程，描述系统的动态行为。

## 传递函数法建模

在频域内分析系统，根据系统的输入输出关系，建立传递函数模型，用于研究系统的频率响应特性。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：  
<https://d.book118.com/358100022106006074>