

---

# 风力发电机组监测与控制

## 课程设计说明书

### 课题名称

基于 PSCAD\_EMDTC 的双馈风力发电机的控制策略研究

专 业

学生姓名

班 级

学 号

指导教师

完成日期

## 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1 摘要 .....                  | 1  |
| 2PSCAD 软件简介 .....           | 2  |
| 3PSCAD 样例说明 .....           | 3  |
| 3.1 同步风力机样例功能与工作原理分析.....   | 3  |
| 3.2 同步风力机样例仿真模型的建立过程.....   | 5  |
| 3.2.1 风源组件 .....            | 6  |
| 3.2.2 风力发电机组 .....          | 7  |
| 3.2.3 调速器组件 .....           | 8  |
| 3.2.4 同步发电机 .....           | 11 |
| 3.2.5 单输入电平比较器 .....        | 15 |
| 3.2.6 电压源 .....             | 16 |
| 3.2.7 故障的模拟组件 .....         | 17 |
| 3.2.8 控制面板 .....            | 19 |
| 3.3 同步风力机样例仿真结果分析.....      | 20 |
| 4 双馈风力发电机仿真模型的建立 .....      | 22 |
| 4.1 双馈风力发电机工作原理及控制方法分析..... | 22 |
| 4.1.1 工作原理分析 .....          | 22 |
| 4.1.2 控制方法分析 .....          | 24 |
| 4.2 双馈风力发电机仿真模型的建立.....     | 26 |
| 4.2.1 转子侧变换器模块 .....        | 26 |
| 4.2.2 电网侧变换器模块.....         | 27 |

4.2.3 电源.....28

|                        |    |
|------------------------|----|
| 4.2.4 单输入电平比较器 .....   | 29 |
| 4.2.5 绕线转子感应式电机 .....  | 30 |
| 4.2.6 有功/无功功率器 .....   | 31 |
| 4.2.7 控制面板 .....       | 32 |
| 4.3 双馈风力发电机仿真结果分析..... | 33 |
| 5 结论 .....             | 34 |
| 6 心得体会 .....           | 35 |
| 7 参考文献 .....           | 36 |
| 附录.....                | 37 |

---

## 1 摘要

随着风电在电力系统中的比例不断增加，其对电力系统的影响已不可忽略。由于风力发电机组的工作原理和接入方式与传统的三相同步发电机组差异较大，因此对风力发电机组的准确建模是分析大规模风电的接入对电网稳定性、安全性、可靠性等方面影响的关键步骤。电力系统暂态仿真是开展风电并网研究的一种重要手段，而建立准确、有效的风力发电机组暂态模型则是仿真工作的基础，基于 PSCAD 能建立详细反映风机控制调节特性的风机电磁暂态仿真模型，包括风机的详细风力机、轴系、发电机及变流器等元件模型与变流器的机侧和网侧控制、风力机的桨距角控制等控制模型，所建立的模型能反应风机在各种扰动下的输出特性。

本课题在 PSCAD 上建立包含风力机、轴系、发电机、变流器和详细控制模型的详细风力发电机组模型，并对扰动下风力发电机组的响应进行仿真分析，为进一步研究风力发电机组并网稳定性及其控制打下基础。

## 2PSCAD 软件简介

PSCAD/EMTDC 是一款在全球广受欢迎的电磁暂态仿真软件，优点众多，其操作界面图形化，接口较方便，元件模型精确。

早在 1976 年，Dennis Wood 博士开发完成了 EMTDC 的初版。而后不断完善功能及模型库，并开发成功了能让用户更方便使用的前端图形化操作界面 PSCAD。使用者可以利用软件提供的完备的元件模型库，通过简单的操作，便可以建立需要的精确模型。如今的

PSCAD 经过发展，功能更加丰富而强大。PSCAD 仿真平台的应用领域广泛，主要包括：仿真电力系统时域和频域特性；仿真多端输电系统的电磁暂态模型；研究直流系统的换相方法或启动；研究交流系统的谐波和分析暂态扭矩等。PSCAD 软件的常见应用为计算电力系统在受到扰动或者参数发生变化时，电参数随时间变化的规律。

PSCAD 仿真平台的元件模型库众多且精确，常见的有以下几种：（1）网络元件：集中参数的和随时间变化的 RLC 元件；电压、电流源；三相或单相变压器；三相同步电动机；断路器、继电器等；（2）控制模块：PI 控制器；积分器；双输入比较器；指数、对数函数；限制、比率限制函数；实极点、延迟函数等；（3）测量仪器：单相电压、电流表；有功、无功功率表；相角测量表；快速傅里叶变换；谐波失真分析等；

## 3PSCAD 样例说明

### 3.1 同步风力机样例功能与工作原理分析

在 PSCAD 下的同步风机模型，此例中风机拖动同步电机运转，调速器控制风机，并配有变速风源。适用于对 PSCAD 中风机建模的学习。-This case shows a synchronous generator being driven by a wind turbine. The turbine is controlled by a wind governor. The wind source is used to model wind speed fluctuations. The file can be used for learning about wind turbine modeling in PSCAD.

这个风机由三个部分组成：一是风机（相当于发电厂是的汽轮机），二是调速器（相当于汽轮机的气门控制装置），三是发电机。

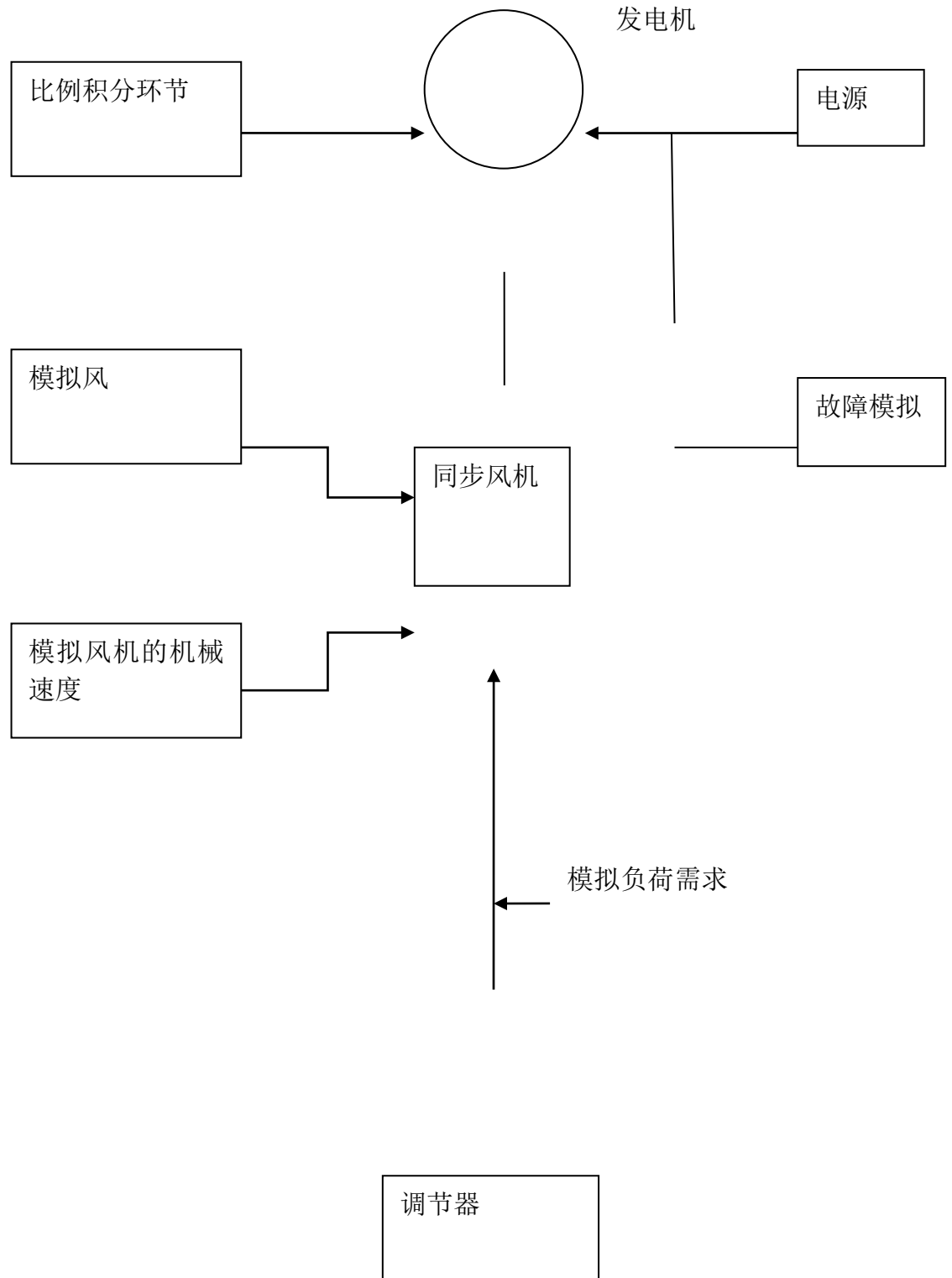


图 3-1 为同步风机原理图

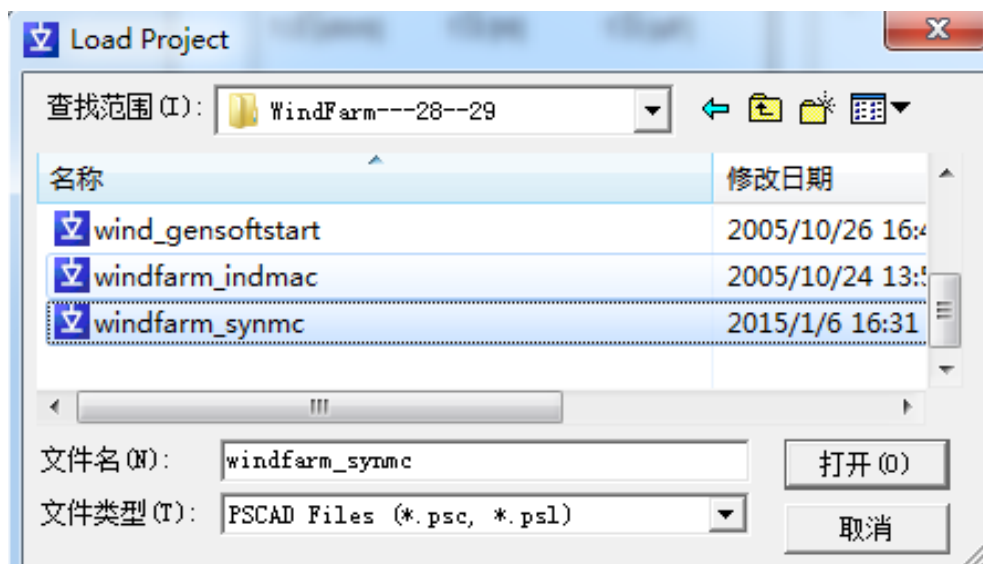


首先,详细阐述了同步风电发电机组各部分的数学模型,包括风力机、轴系、同步发电机、机侧和网侧变流器等在内的各元件,并给出了桨距角控制、机侧变流器控制、网侧变流器控制等详细的控制策略。

其次,在 PSCAD 上建立了同步风力发电机组的详细模型,所建桨距角控制、最大功率跟踪控制等模型符合实际情况。

然后,仿真研究了风机在全风速下的运行特性,结果表明风机在各风速区段运行准确;分别仿真研究了风机在风速扰动、电网故障下的响应特性,所得结果符合理论预期。以上仿真结果表明,所建的同步风力发电机组模型准确。

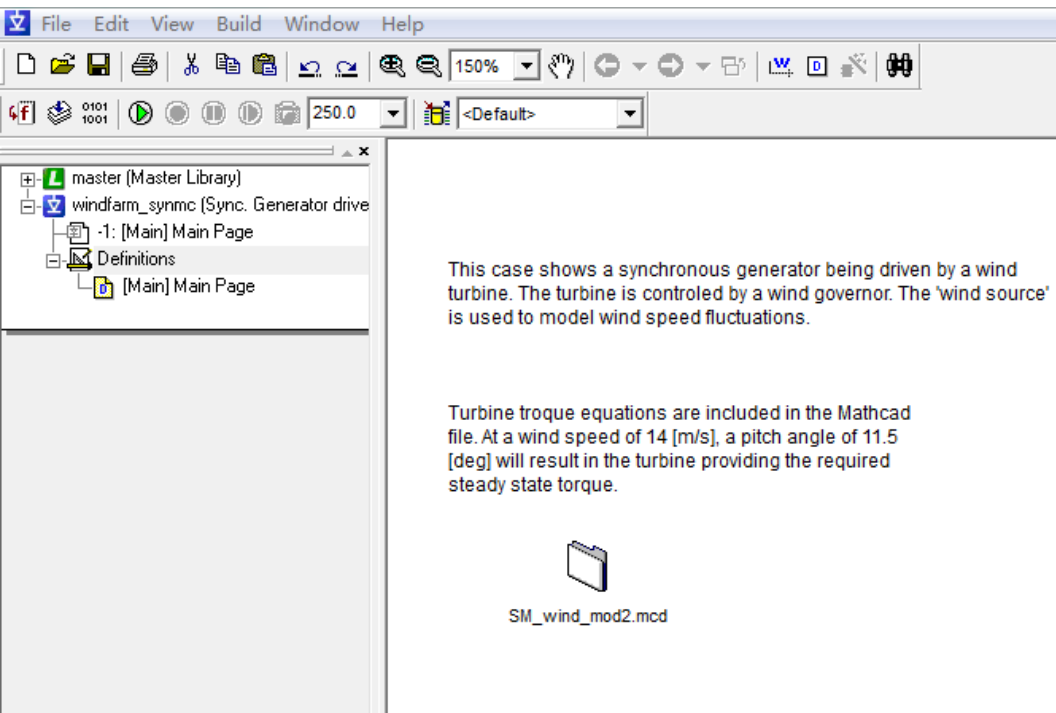
最后,对比了风机详细模型与简化的平均值模型。针对两个模型,分别比较了二者在全风速运行、风速扰动、较小电网故障三种情况下的仿真结果,所得结果表明,在正常运行及发生小的扰动的情况下,两者在稳态及暂态响应特性上均比较接近。



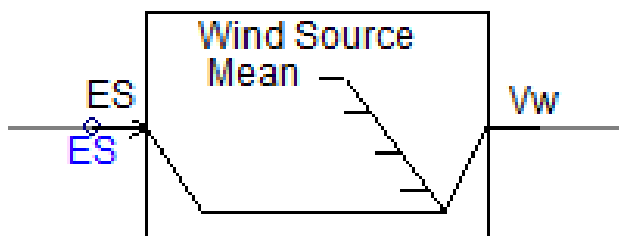
### 3.2 同步风

力机样例仿真模型的建立过程

打开样例文件



### 3. 2. 1 风源组件



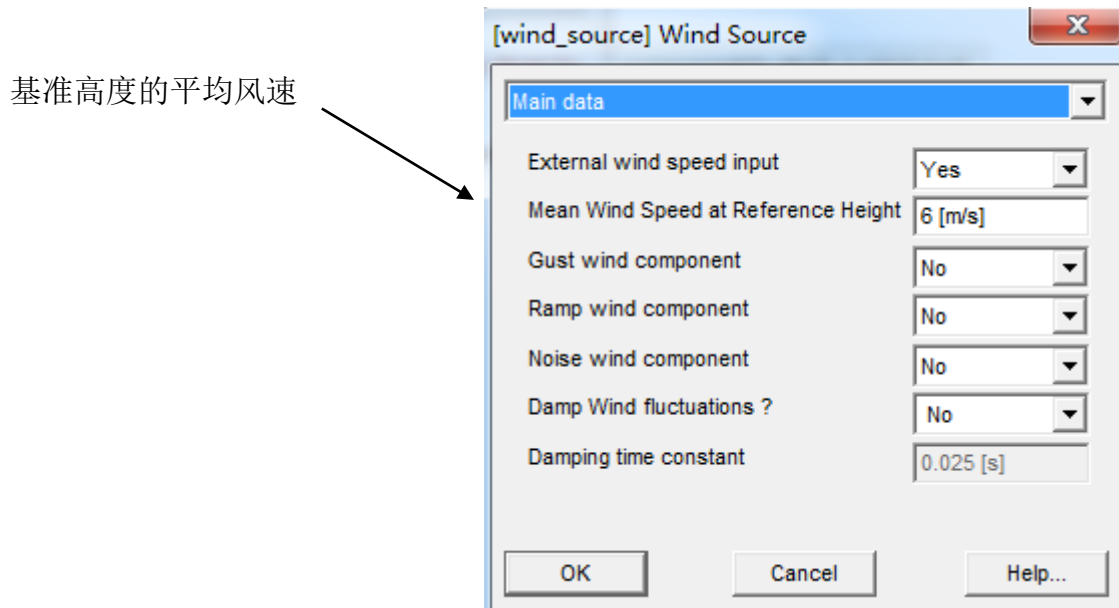


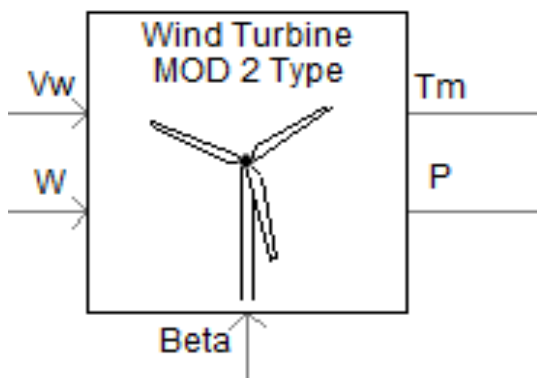
图 3-2 风源参数：以上为定义在 6m/s 的恒风

ES:Input External value

Vw:Output Wind Speed

可以在文件夹“Master Library/Machines”中找到

### 3. 2. 2 风力发电机组



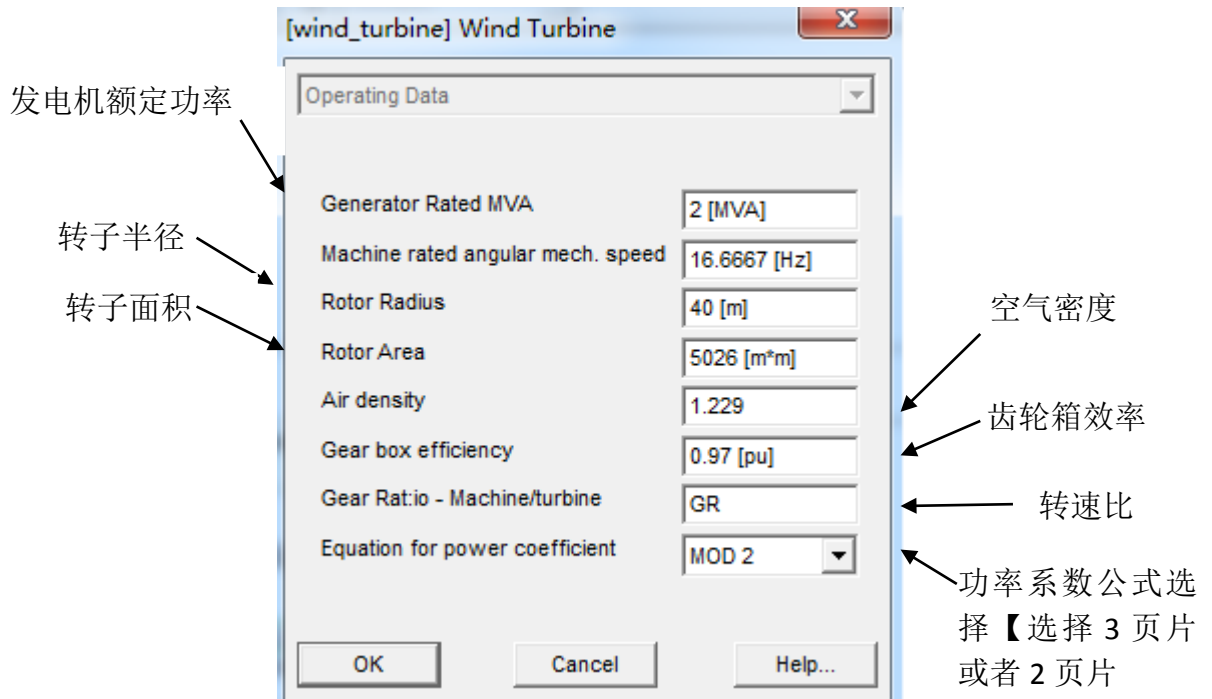


图 3-3 风力涡轮机参数：以上调整风机的叶片长度、空气密度、齿轮箱效率等等参数。

可以在文件夹“Master Library/Machines”中找到

由图 3-3 可知，在 PSCAD 软件提供的风力机模型中，输入量为风速  $V_w$ 、风力机转速  $\omega$  及桨距角  $\beta$ ，而输出量为机械转矩  $T_m$  和机械功率  $P$ 。在参数设置上，可对风力机容量、风力机半径和空气密度等进行设置。

### 3.2.3 调速器组件

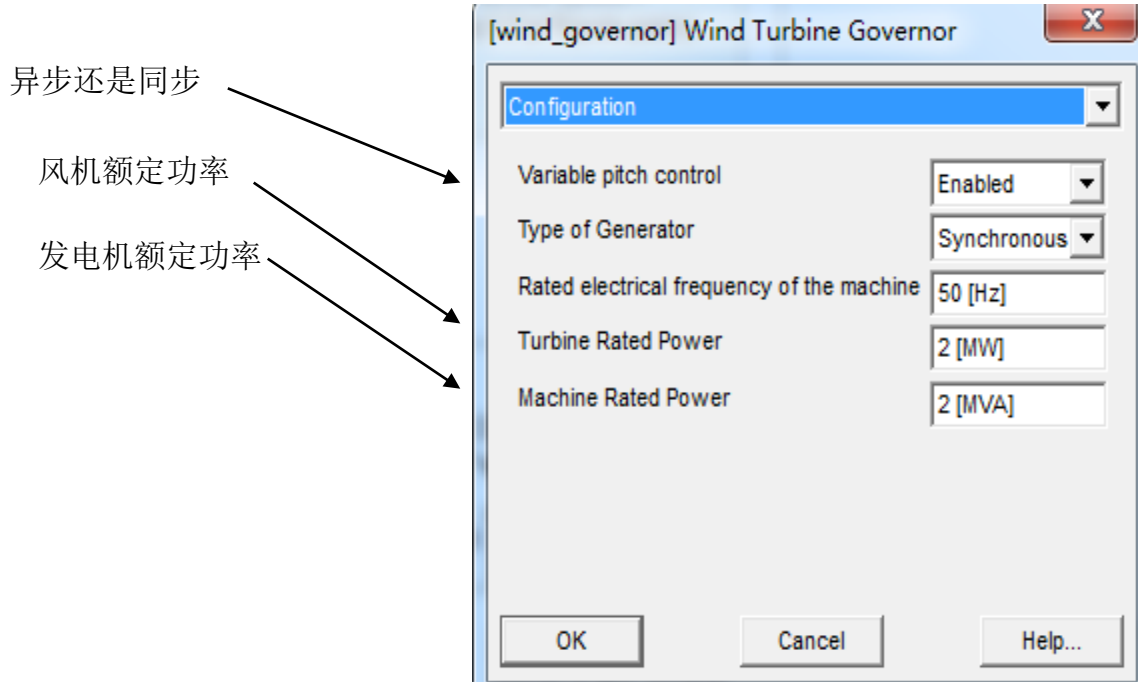
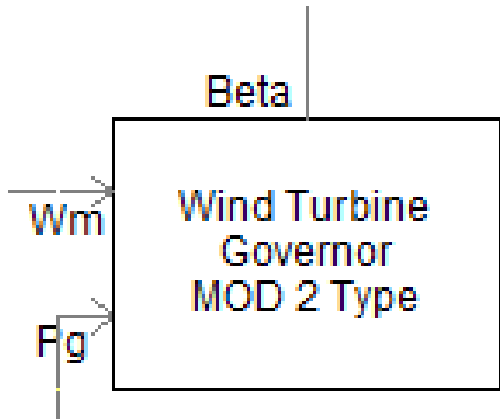


图 3-4 节距控制

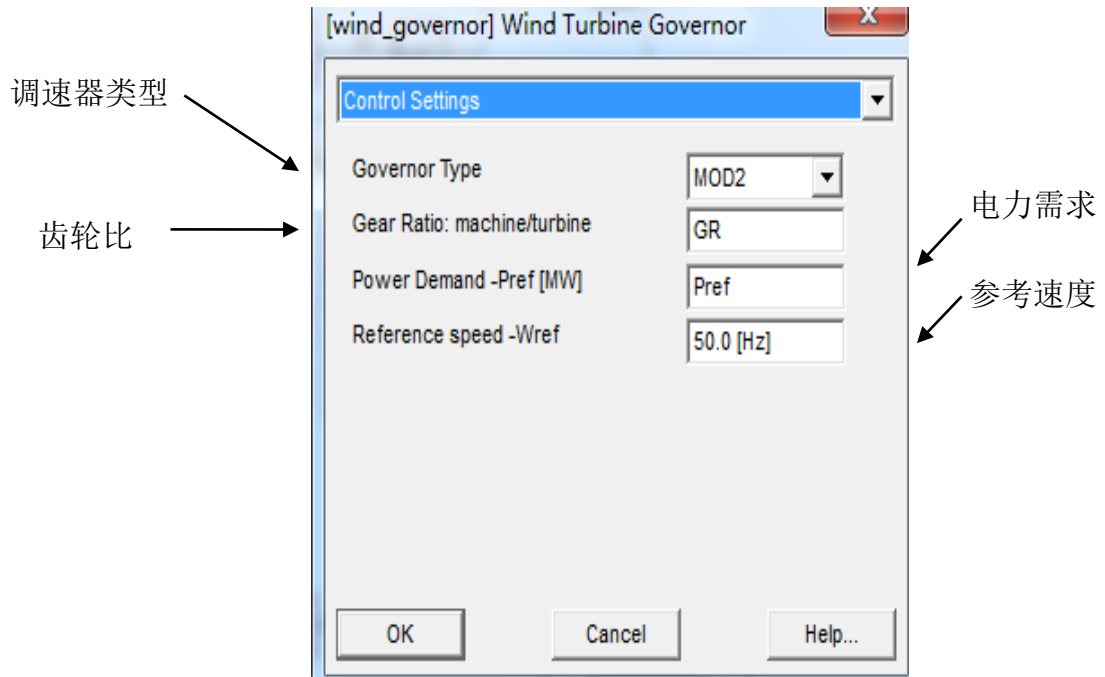


图 3-5 调速参数

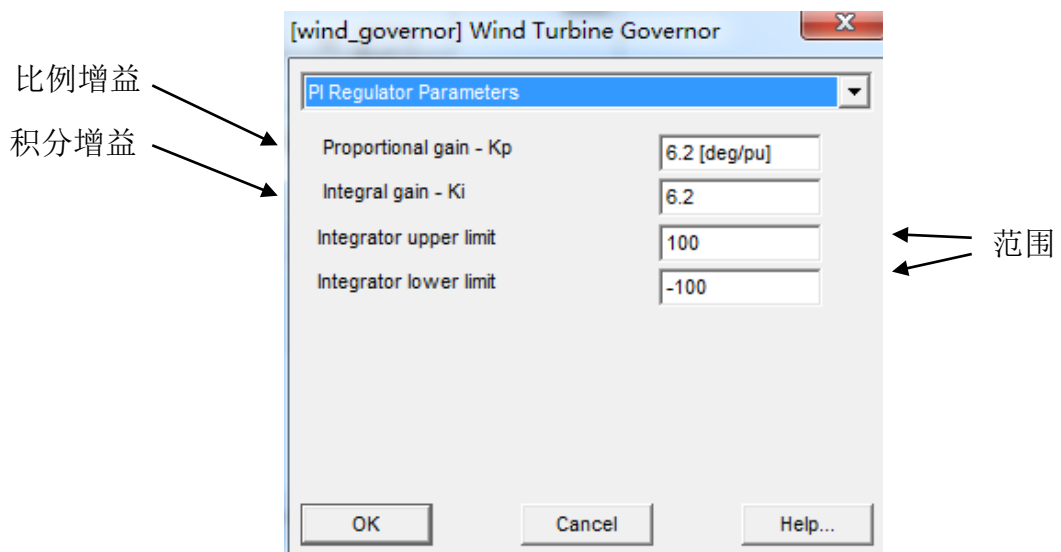


图 3-6 比例积分调节

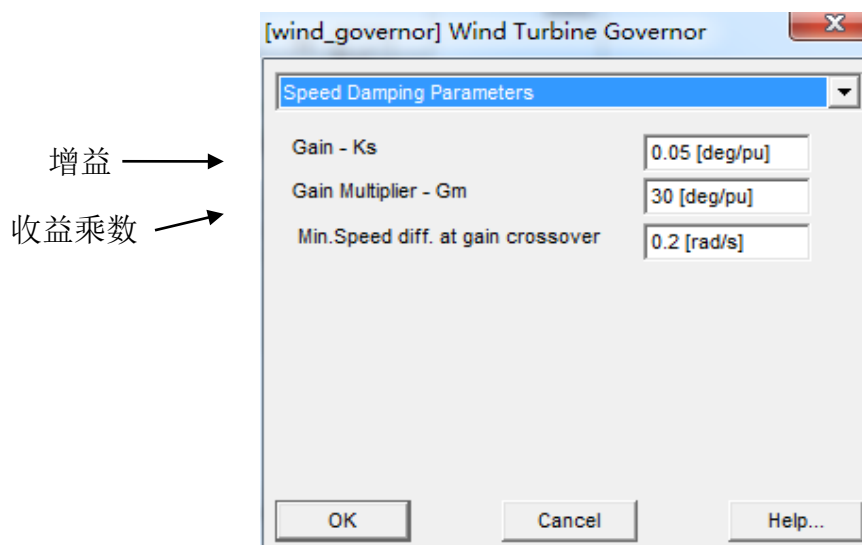


图 3-7 速度阻尼参数

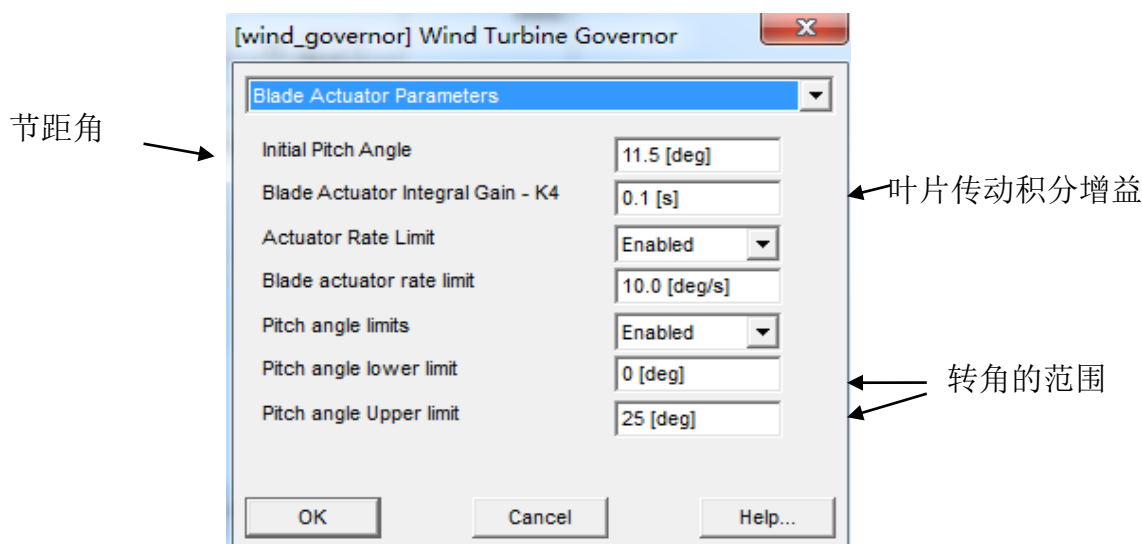


图 3-8 桨距角的调整

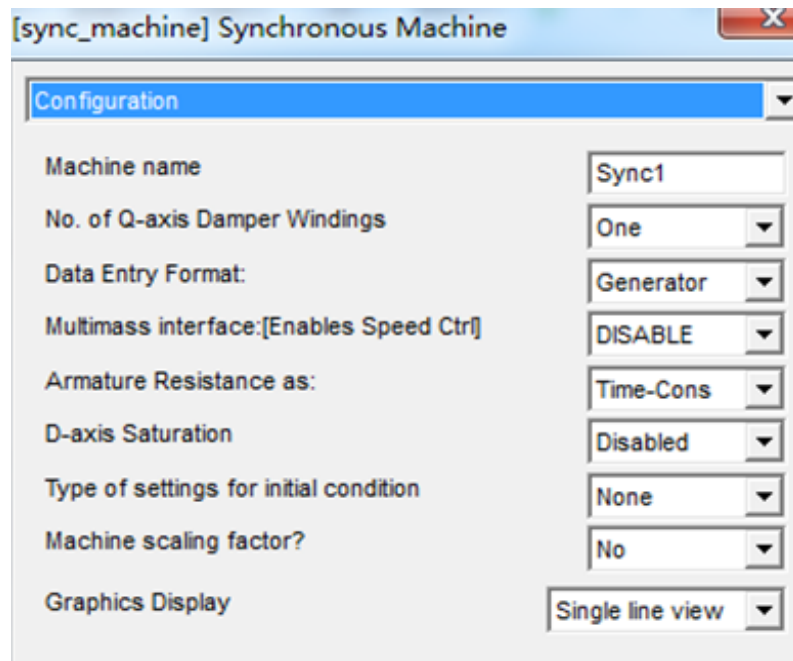
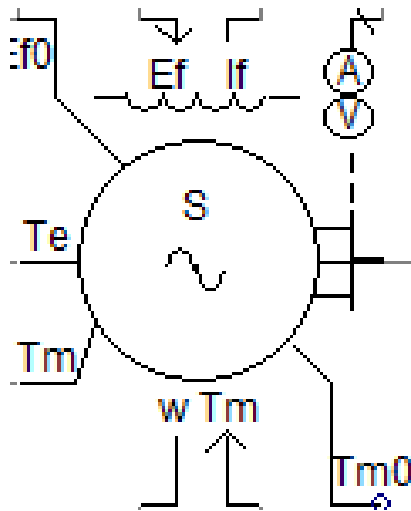
可以在文件夹“Master Library/Machines”中找到

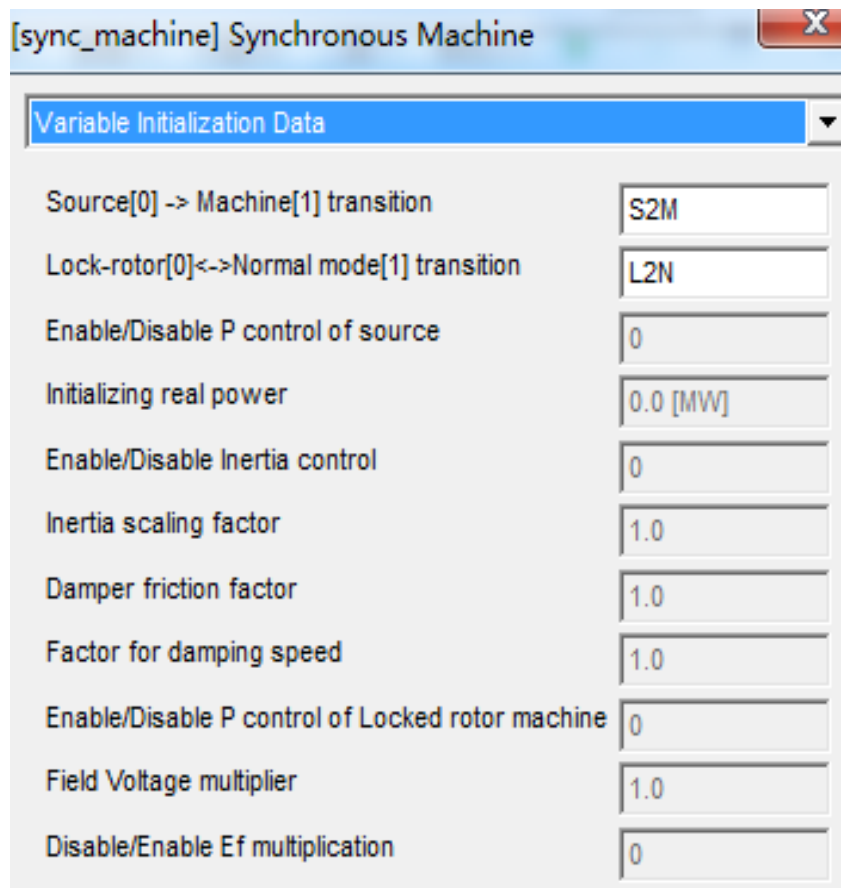
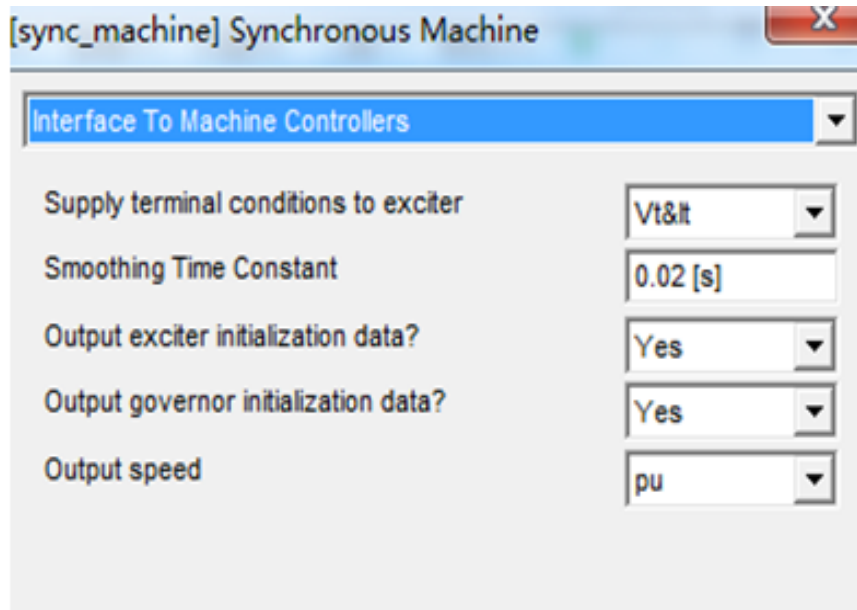
当风速超过额定风速时，由于发电机与变流器自身的功率限制，需要对风能利用系数进行调节，使得直驱永磁同步发电机的输出功率保持在额定值。由于桨距角对风能利用系数影响较大，因此可以控制桨距角进而调节，该种控制称为桨距角控制。

查看模型的说明可知，该桨距角模型的输入为风力机的机械角速度，以及风力机的输出功率，输出为风力机的桨距角。在参数设置方面，该模型可设置参数较多，包括 PI 控制环节、风力机额定功率、电机类型、伺服机构参数等。



### 3.2.4 同步发电机





[sync\_machine] Synchronous Machine

Generator Data Format

|  |             |
|--|-------------|
| Armature Resistance [Ra]                   | 0.002 [pu]  |
| Armature Time Constant [Ta]                | 0.332 [s]   |
| Potier Reactance [Xp]                      | 0.130 [pu]  |
| D: Unsaturated Reactance [Xd]              | 0.920 [pu]  |
| D: Unsaturated Transient Reactance [Xd']   | 0.300 [pu]  |
| D: Unsat. Transient Time ( Open ) [Tdo']   | 5.2 [s]     |
| D: Unsat. Sub-Trans. Reactance [Xd'']      | 0.220 [pu]  |
| D: Unsat. Sub-Trans. Time ( Open ) [Tdo''] | 0.029 [s]   |
| D: Real Transfer Admit (Armat-Field)       | 1.0E+2 [pu] |
| D: Imag Transfer Admit (Armat-Field)       | 0.0 [pu]    |
| Q: Unsaturated Reactance [Xq]              | 0.510 [pu]  |
| Q: Unsaturated Transient Reactance [Xq']   | 0.228 [pu]  |
| Q: Unsat. Transient Time ( Open ) [Tqo']   | 0.85 [s]    |
| Q: Unsat. Sub-Trans. Reactance [Xq'']      | 0.290 [pu]  |
| Q: Unsat. Sub-Trans. Time ( Open ) [Tqo''] | 0.034 [s]   |
| Air Gap Factor                             | 1.0         |

[sync\_machine] Synchronous Machine

Basic Data

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| Rated RMS Line-to-Neutral Voltage | 0.23 [kV]    |
| Rated RMS Line Current            | 2.89855 [kA] |
| Base Angular Frequency            | 50.0 [Hz]    |
| Inertia Constant                  | 2.7 [s]      |
| Mechanical Friction and Windage   | 0.01 [pu]    |
| Neutral Series Resistance         | 20 [pu]      |
| Neutral Series Reactance          | 0 [pu]       |
| Iron Loss Resistance              | 30.0 [pu]    |
| Number of coherent machines       | 1.0          |

[sync\_machine] Synchronous Machine

Initial Conditions

|   |             |
|---|-------------|
| Terminal Voltage Magnitude at Time = 0- | 1.05 [pu]   |
| Terminal Voltage Phase at Time = 0-     | 0.406 [rad] |

[sync\_machine] Synchronous Machine

Initial Conditions if Starting as a Machine

|  |                |
|--|----------------|
| Terminal Real Power at Time = 0- ; Out +     | 0.16 [MW]      |
| Terminal Reactive Power at Time = 0- ; Out + | 0.786 [MVAR]   |
| Initial Rotor Angle ref. Stator              | 3.141592 [rad] |
| D-axis Armature Current; In +                | 0.0 [pu]       |
| Q-axis Armature Current; In +                | 0.0 [pu]       |
| Initial Field Current                        | 0.0 [pu]       |
| Initial Machine Speed                        | 1.0 [pu]       |

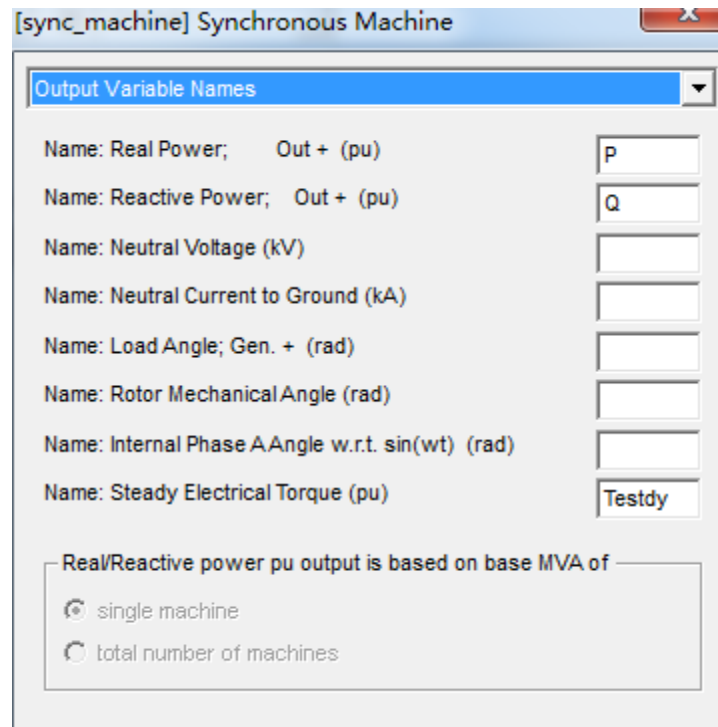


图 3-9 同步电机参数

可以在文件夹“Master Library/Machines”中找到

如图 3-9 所示，永磁同步发电机的输入为由轴系模型得到的机械角速度，输出为发电机的输出电磁转矩。同时，在永磁同步发电机右端有一个接头，可输出三相交流电。在参数设置的对话框中，可对永磁同步发电机的容量、电压、频率等进行设置。同时，PSCAD 软件提供的永磁同步发电机模型还可输出电压电流相位角，该角度值在变流器机侧控制派克变换、派克逆变换中被使用。

### 3.2.5 单输入电平比较器

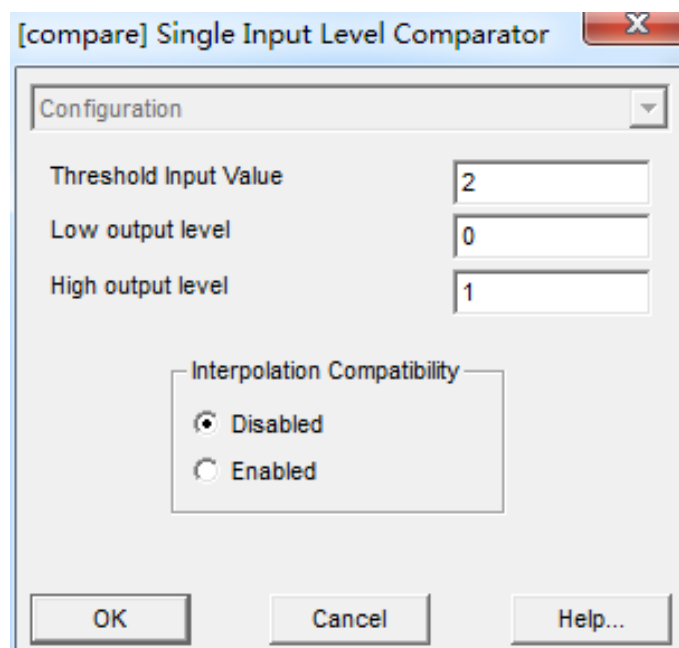
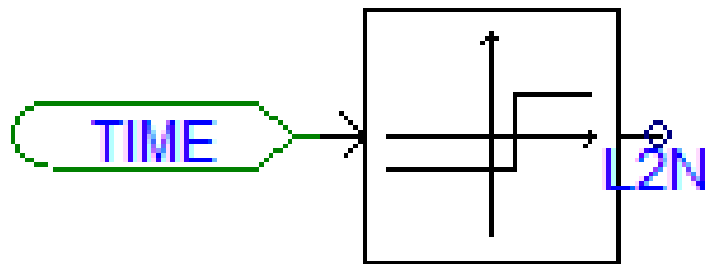


图 3-10 单输入电平比较器参数：风速是恒定 1m/s，t=2S 通入

可以在文件夹“Master Library/CSMF”中找到

### 3.2.6 电压源



源阻抗类型 →

基准电压 →

电压输入时间常数 →

[source3] Three Phase Voltage Source Mod... ✕

Configuration

|                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| Source Name                        | Source1         |
| Source Impedance Type:             | L               |
| Source Control:                    | Fixed           |
| Base MVA (3-phase)                 | 2.5 [MVA]       |
| Base Voltage (L-L, RMS)            | 0.398 [kV]      |
| Base Frequency                     | 50.0 [Hz]       |
| Voltage Input Time Constant        | 0.00 [s]        |
| Zero Seq. differs from Pos. Seq. ? | No              |
| Impedance Data Format:             | RRL Values      |
| External Phase Input Unit          | Radians         |
| Graphics Display                   | Single line vie |

Specified Parameters

Behind the Source Impedance

At the Terminal

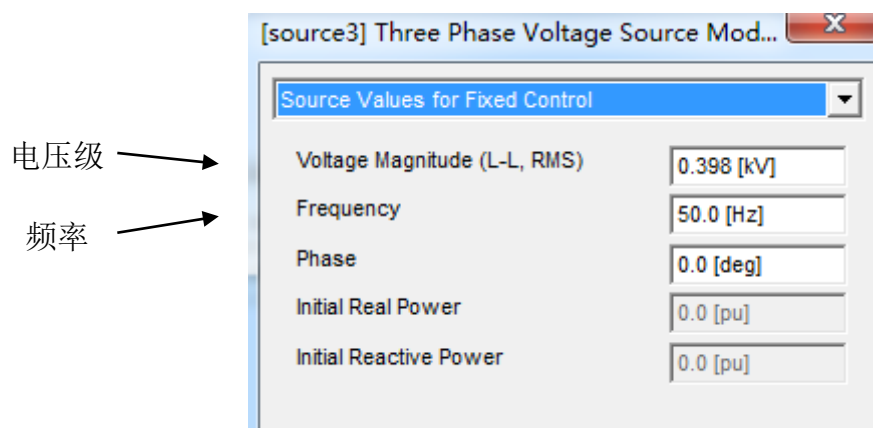
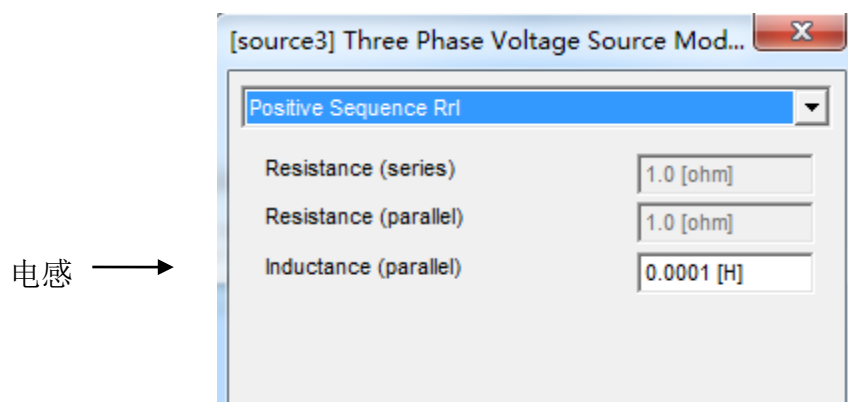


图 3-11 三相电压源参数

可以在文件夹“Master Library/Sources”中找到

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/318024016136006104>