

УДК 621.31

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ВЕТРОГЕНЕРАТОРАМИ  
MODELING OF THE OPERATING MODES  
OF TRANSFORMER SUBSTATIONS WITH WIND GENERATORS**

А.Н. Мешкова, М.А. Арутюнов

Научный руководитель – И.В. Новаш, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

A. Meshkova, M. Arutsiunau

Supervisor – I. Novash, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Belarusian National Technical University, Minsk

***Аннотация:** в MatLab-Simulink разработана структурная модель трансформаторной подстанции с ветрогенераторами.*

***Abstract:** the structural model of transformer substation with wind generators is developed in MatLab-Simulink.*

***Ключевые слова:** подстанция, ветрогенератор, моделирование, вычислительный эксперимент.*

***Keywords:** substation, wind generator, simulation, computational experiment.*

### **Введение**

Методом вычислительного эксперимента можно исследовать аварийные режимы оборудования, которые невозможно провести в виде натурального эксперимента, а при анализе рабочих режимов выявить особенности работы оборудования, на которые не обращали внимания в процессе его эксплуатации.

### **Основная часть**

Для исследования режимов работы трансформаторной подстанций с ветрогенераторами использована система динамического моделирования (СДМ) MatLab-Simulink [1, 2].

На рисунке 1 показана, созданная в СДМ MatLab-Simulink с использованием библиотечных модулей элементов трехфазных систем из библиотеки Simulink-SimPowerSystems, структура модели ветроэлектростанции, подключенной через линию электропередачи к двухобмоточному силовому трансформатору, питаемому через линию связи системой конечной мощности. Модель позволяет с помощью виртуальных осциллографов и измерительных приборов проводить анализ режимов работы ветроустановок при различных внешних воздействиях.

Ветроэлектростанция мощностью 9 МВт моделируется тремя парами ветряных турбин мощностью 1,5 МВт (рисунок 2). В ветряных турбинах используются индукционные генераторы с короткозамкнутым ротором. Обмотка статора подключена непосредственно к сети, а ротор приводится в движение ветряной турбиной с регулируемым шагом. Угол наклона лопастей турбины регулируется, так чтобы ограничить выходную мощность генератора на ее номинальном значении для ветра, превышающего номинальную скорость. Для выработки энергии скорость ветряных турбин должна быть немного выше

синхронной скорости. Скорость варьируется примерно от 1 о. е. без нагрузки до 1,005 о. е. при полной нагрузке. Каждая ветряная турбина имеет систему защиты, контролирующую напряжение, ток и скорость машины.

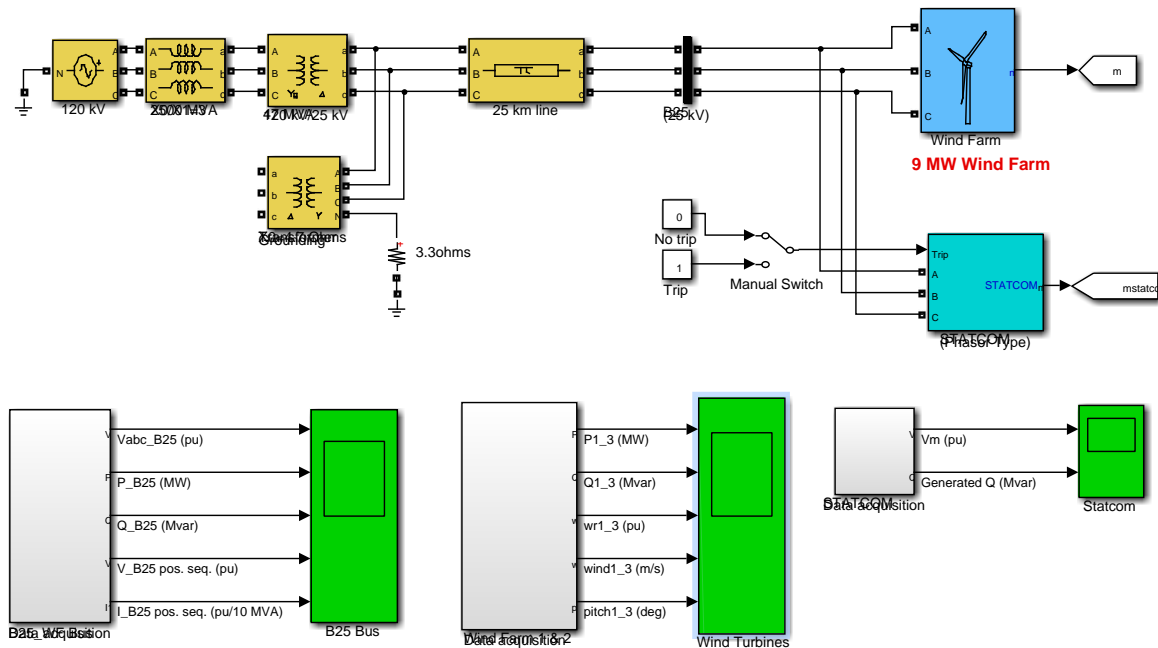


Рисунок 1 – Структура модели энергосистемы с ветроэлектростанцией

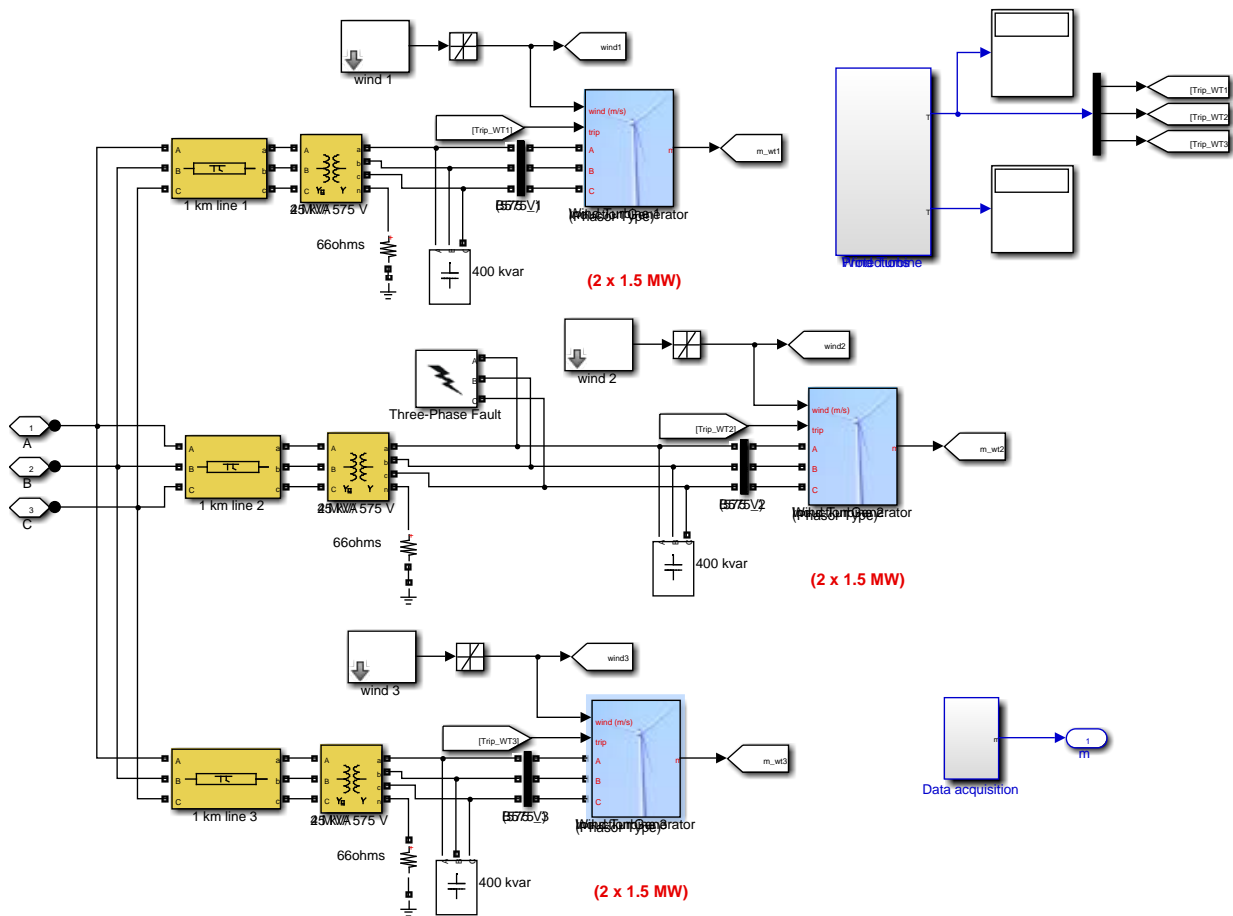


Рисунок 2 – Структура модели ветроэлектростанции

Каждый блок ветряной турбины представляет две турбины номинальной мощностью 1,5 МВт. Механическая мощность турбины, как функция скорости, изменяется при скорости ветра от 4 до 10 м/с. Номинальная скорость ветра, обеспечивающая номинальную механическую мощность, составляет 9 м/с. Модель ветряной турбины (из библиотеки FACTS) является векторной моделью, которая позволяет проводить исследования устойчивости при переходных процессах с длительным временем моделирования.

Скорость ветра турбин регулируется блоками «Wind 1»–«Wind 3». Первоначально, скорость ветра устанавливается на уровне 8 м/с, затем, начиная с  $t = 2$  с для "Wind turbine 1", скорость ветра за 3 с увеличивается до 11 м/с. Такой же порыв ветра применяется к Турбине 2 и Турбине 3, соответственно, с задержками в 2 с и 4 с. Затем при  $t = 15$  с возникает временная неисправность на выводах низкого напряжения «Wind Turbine 2». Визуализация этих режимов показана на рисунке 3 с расчетным временем 20 с.

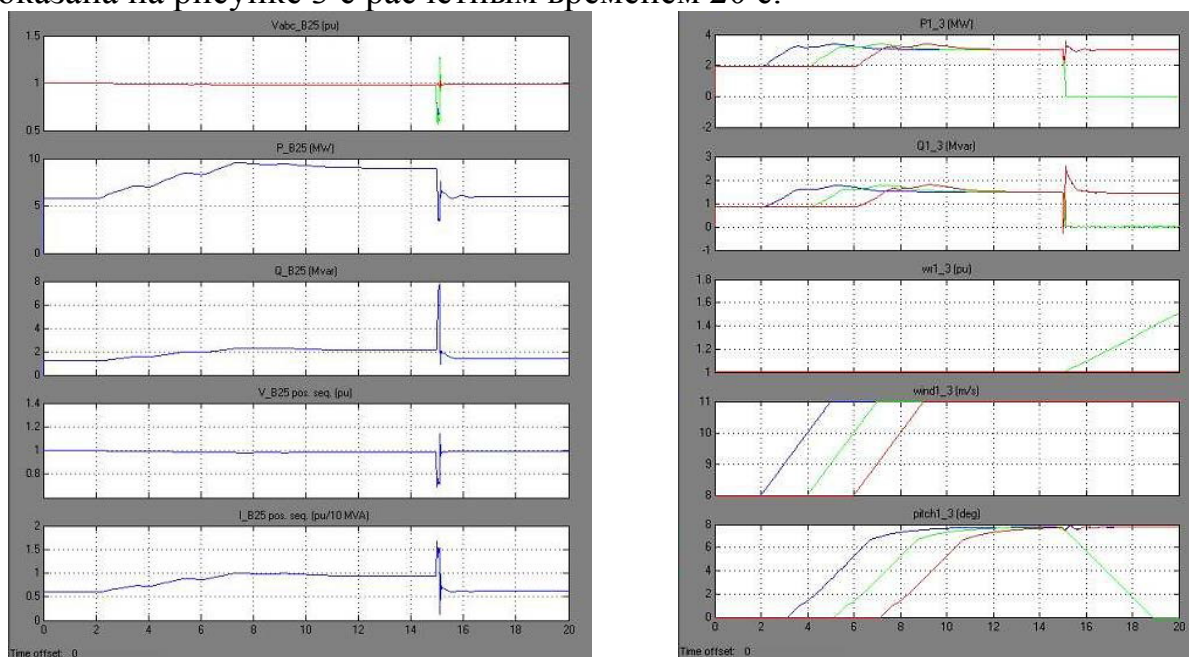


Рисунок 3 – Изменение режимов работы ветрогенераторов

Разработанная модели могут быть использована для создания модели более сложной распределительной сети с несколькими подстанциями.

### Заключение

В системе динамического моделирования MatLab-Simulink реализован пример моделирования режимов работы подстанции с ветроэлектростанцией, позволяющий анализировать рабочие и аварийные режимы ветрогенераторов.

### Литература

1. Герман-Галкин, С. Г. MatLab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. – СПб. : КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
2. Дьяконов, В. Simulink 4. Специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2002. – 528 с.