

АНАЛИЗ ЗАЩИТ ВЕТРОУСТАНОВОК ИНТЕГРИРОВАННЫХ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ

В.Е. Рудник, Р.А. Уфа, Я.Ю. Малькова

Научный руководитель - зав. НИЛ МЭЭС М.В. Андреев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одним из перспективных направлений, позволяющих в значительной степени модернизировать электроснабжение нефтегазовых месторождений, является возобновляемая энергетика, в частности ветроэнергетика. Существуют различные типы ветроэнергетических установок (ВЭУ), среди них наиболее распространенная и используемая на сегодняшний день для работы в электроэнергетической системе (ЭЭС) это ВЭУ 4 типа, представляющая собой ветротурбину с синхронным генератором на базе постоянных магнитов (СГПМ), имеющую связь с энергосистемой через вставку постоянного тока (ВПТ), состоящей из двух статических преобразователей напряжения (СПН), выполняющих функции инвертора и выпрямителя, а также через силовой трансформатор (Тр). Актуальным является вопрос защиты ВЭУ 4 типа от различных возмущений в ЭЭС.

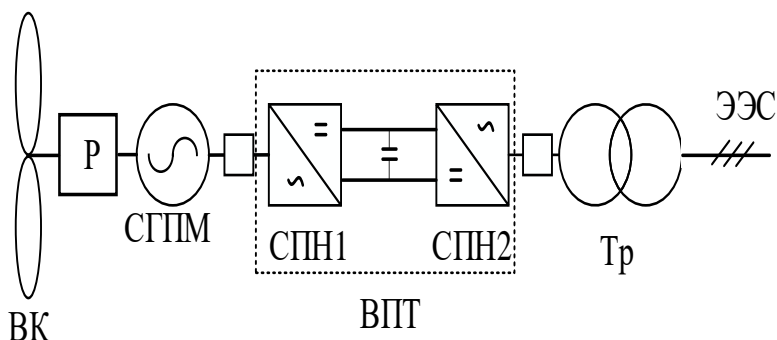


Рис. 1. Структурная схема ВЭУ 4 типа, где ВК - ветроколесо, Р - редуктор, СГПМ - синхронный генератор на базе постоянных магнитов, СПН1,2 – статический преобразователь напряжения, ВПТ – вставка постоянного тока, Тр – силовой трансформатор, ЭЭС – электроэнергетическая система

Существуют различные виды релейной защиты и автоматики (РЗА) для ВЭУ:

- Защита, реагирующая на направление мощности;
- Токовая защита без выдержки времени;
- Направленная токовая защита;
- Направленная максимальная токовая защита нулевой последовательности;
- Токовая защита от замыканий на землю без выдержки времени;
- Максимальная токовая защита (МТЗ);
- и т.д.

В настоящее время для защиты ВЭУ используют комплексные терминалы РЗА, например, такой как W650, разработанный компанией General Electric [1]. Терминал W650 был разработан в качестве основного устройства защиты ВЭУ включающий в себя набор функций, ранее выполняемых отдельными устройствами релейной защиты. W650 включает в себя: токовую защиту без выдержки времени, максимально токовую защиту, токовую защиту от замыканий на землю без выдержки времени, направленную токовую защиту, направленную токовую защиту от замыканий на землю и т.д.

При функционировании ВЭУ в ЭЭС одним из важных моментов является устойчивое функционирование как ВЭУ, так и функционирование ВЭУ с ЭЭС в целом. Для устойчивой работы к ВЭУ имеется ряд требований:

- Поддержание требуемого уровня напряжения в точке присоединения ВЭУ [3, 6];
- Требования к устойчивости в переходных процессах, вызванных короткими замыканиями [3, 6];
- Возможность регулирования активной мощности и частоты;
- Требования к условиям подключения и синхронизации;
- Требования к автоматическому повторному включению (АПВ);
- Требования к дистанционному управлению;

Для решения обозначенных выше условий требуется проведение исследований с целью установления соответствия объектов ВЭУ актуальным требованиям. Зарубежными требованиями установлено, что электростанции на базе ВЭУ должны оставаться в работе, должны работать параллельно с ЭЭС, обеспечивая поддержание уровня напряжения при различных аварийных ситуациях – способность поддержания непрерывности электроснабжения при низком напряжении (Fault.Ride.Through (FRT) или Low.Voltage.Ride.Through (LVRT)) [4,5].

LVRT дает возможность оставаться в работе ВЭУ в случаях значительного снижения напряжения. Сетевые операторы (СО) разных стран предъявляют требования к ветроустановкам, для того чтобы обеспечить возможность кратковременной работы при неисправностях в сети, приводящих к падению напряжения на 85% и в некоторых случаях ниже [6]. Функционирование LVRT определяет, что ВЭУ должна поддерживать требуемый уровень напряжения выдачей в сеть реактивной мощности, таким образом поддерживая устойчивую работу.

Определение LVRT характеристики (диапазона ее характерных точек) и соответствующая настройка релейной защиты требует проведения исследований и расчетов, учитывающих специфику функционирования каждой конкретной ВЭУ в ЭСС. В противоположном случае это может стать причиной отключения генерирующих установок и развития аварийной ситуации. Для примера во Франции в 2018 году появление короткого замыкания на линии 50 кВ привело к падению напряжения до 50 % и отключению части генерирующего оборудования, которые имели функцию LVRT, что не соответствовало характеристике из стандарта.

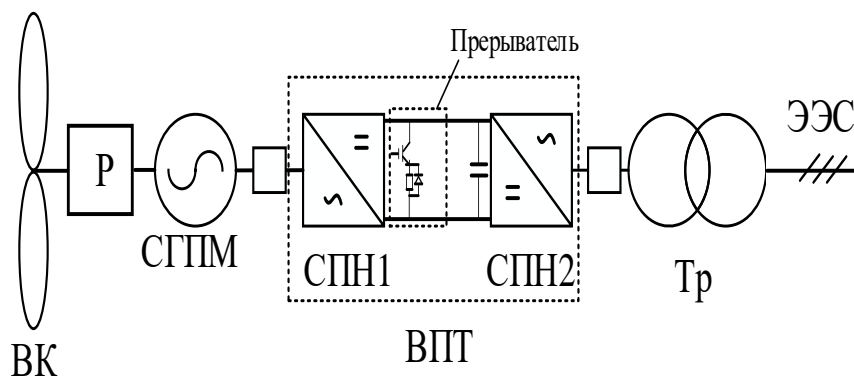


Рис. 2. Структурная схема ВЭУ 4 типа, имеющая в своем составе «Прерыватель»

Этот пример демонстрирует актуальность задачи корректной настройки и тестирования LVRT характеристики.

Для ВЭУ 4 типа необходимо учитывать так называемый «прерыватель», представляющий из себя параллельный резистор, который используется в системе защиты ВПТ (рис.2.). В режимах, когда происходит авария из-за большого количества мощности в системе ВЭУ, конденсатор цепи постоянного тока (ПТ) заряжается и возрастает напряжение ПТ, может произойти возрастание тока, которое в последующем может вывести из строя ВПТ. «Прерыватель» включается в том случае, если уровень напряжения ПТ превышает уставку (превышение допускается на 40% от номинального значения) [2]. При включении резистора в цепь ПТ конденсатор должен разрядиться и напряжение цепи ПТ уменьшается ниже порогового значения. Этот цикл повторяется с частотой переключения прерывателя.

Для соблюдения требования к автоматическому повторному включению, должна учитываться настройка АПВ линий электропередач (ЛЭП) на границе с ВЭУ, а также должны быть учтены особенности статического преобразователя напряжения, выполняющего функцию инвертора, его топологию и т.д. Что касается требований к условиям подключения и синхронизации, то синхронизация ВЭУ с ЭЭС должна выполняться в условиях длительно допустимых уровней частоты и напряжения.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что защита ВЭУ при её функционировании в ЭЭС является важным вопросом, который требует дальнейших проработок.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание "Наука" № FSWW-2020-0017.

Литература

1. General Electric, W650 Wind generator protection system/ Advanced wind turbine protection and control system. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.gedigitalenergy.com Дата обращения: 20.01.2020.
2. Hennchen N., "Wind turbine converter fits E.ON Regulation", Frisia Schaltanlagen GmbH, accessible November 2007.
3. Nelson, R. J., & Ma, H. Short-circuit contributions of full-converter wind turbines. Paper presented at the IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2011.
4. Говорун М.Н. Подходы к организации информационного обмена между ВЭС, СЭС и ДЦ и дистанционного (теле-) управления оборудованием ВЭС, СЭС.
5. Кучеров Ю.Н., Березовский П.К., Илюшин П.В., Веселов Ф.В. Нормативно-техническое регулирование интеграции источников распределенной генерации, включая ВИЭ, в энергосистему. Совместное заседание секций технического регулирования в электроэнергетике и секции тепловых электростанций Научно-технической коллегии НП «НТС ЭЭС», подкомитета ПК-5/ТК016 «Электронная энергетика» г. Москва, 8 июля 2015 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ntsees.ru/sites/default/files/prezentaciya_po_standartizacii_trebovaniy_k_raspredgeneracii_za_rubezhom_2_10-07-2015.pdf
6. СТО 70238424.27.100.059-2009 Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания. Нормы и требования. Стандарт организации НП "ИНВЭЛ". Дата введения: 2009–08–31