

Особенности выполнения защит линий при наличии ветровых электростанций

В.А. ЕФРЕМОВ, А.В. ЕФРЕМОВ, М.Ю. ПЕТРУШКОВ, Е.В. ШИРОКИНА
ООО «Релематика», ЧувГУ им. И.Н. Ульянова

Россия

Efremov_VA@relematika.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

возобновляемые источники энергии, ветряные электростанции, защита линии электропередачи, разрешающие и блокирующие сигналы, расчет параметров срабатывания

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире наблюдается гигантский рост инвестиций в возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Например, в России с 2010 г. произошел более чем 5-кратный рост вложений в эту отрасль [1].

ВИЭ обладают неоспоримым преимуществом перед традиционной энергетикой как с экологической точки зрения, так и с позиций, например, транспортных затрат на доставку энергоносителей. Особенность географического расположения страны предопределяет востребованность ветряных электростанций (ВЭС). В удаленных, труднодоступных регионах гибридные электростанции «ветер-дизель» позволяют значительно сокращать транспортные расходы на доставку энергоносителей в эти районы. По расчетам специалистов, ветровой потенциал Европы способен обеспечить электроэнергией потребности всей Земли. Перспективы внедрения ВЭС в России поистине безграничны.

Внедрение ВЭС в энергетику предполагает решение не только значительного количества технических и технологических задач, но и выявляет ряд сложностей, связанных с подключением ВЭС к энергосистемам и организацией релейной защиты и автоматики новых объектов.

Последнее рассмотрим более подробно. В отличие от электростанций традиционной энергетики, ВЭС представляет собой источник тока с незначительным диапазоном изменения рабочих и аварийных токов с максимальным значением до $1.2I_{ном}$ [2]. Следует иметь в виду, что величина тока, получаемая с инвертора ВЭС, зависит от уровня напряжения фаз сети.

Согласно ПУЭ [3], на линиях электропередачи (ЛЭП) с двусторонним питанием необходима установка быстродействующих защит с абсолютной селективностью. В связи с тем, что ВИЭ с инверторами по сути являются источниками тока, известные способы защиты ЛЭП с абсолютной селективностью с применением ВЧ-связи оказываются неприемлемы. В отличие от электростанций традиционной энергетики, ВИЭ с инверторами представляют собой источник тока с незначительным диапазоном изменения рабочих и аварийных токов, т. е. величины токов симметричных составляющих в режиме короткого замыкания (КЗ) в зоне защиты со стороны ВЭС и на обеих подстанциях (ПС) линии при КЗ «за спиной» питающей ПС не информативны и не могут быть использованы в качестве информативных параметров для целей РЗА.

Таким образом, для ЛЭП с ВЭС ни одна из применяемых на сегодняшний день защит с абсолютной селективностью применима быть не может. ООО «Релематика» были разработаны и предложены специальные алгоритмы работы защит.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Известно, что самой быстродействующей защитой ЛЭП является направленная высокочастотная защита (НВЧЗ). На ее базе и построена защита ЛЭП с ВЭС. Анализ алгоритмов показал, что при коротком замыкании на линии в зоне или за пределами зоны

защиты полуккомплекта НВЧЗ со стороны подстанции с ВИЭ наблюдается недостаточная чувствительность основных измерительных органов НВЧЗ: реле направления мощности обратной последовательности (РНМОП) и реле сопротивления (РС). Со стороны питающей ПС энергосистемы недостаточная чувствительность будет наблюдаться при повреждениях «за спиной» данной ПС.

Анализ режимов сети. В осциллограммах аварий на линии, записанных на подстанции ВЭС, прослеживается тенденция большего увеличения токов в неповрежденных фазах по отношению к росту тока в поврежденной фазе. Такая ситуация возникает из-за резкого снижения напряжения при аварии (рис. 1, рис. 2).

Из осциллограммы на рис. 1 видно, что после ввода 1-й очереди ВЭС нагрузочные токи составляют чуть более 35 А. В аварийном режиме (рис. 2) токи фаз **A**, **B** (поврежденная фаза) и **C** составляют соответственно 115 А, 66.1 А и 67 А, т. е. в поврежденной фазе наблюдается минимальный ток, что можно объяснить тем, что напряжение в этой фазе упало до 14.7 кВ.

Выявленная ситуация позволяет сделать важный вывод о том, что токи, в т. ч. и аварийные со стороны ВЭС при КЗ на линии, не информативны и не могут быть использованы в качестве

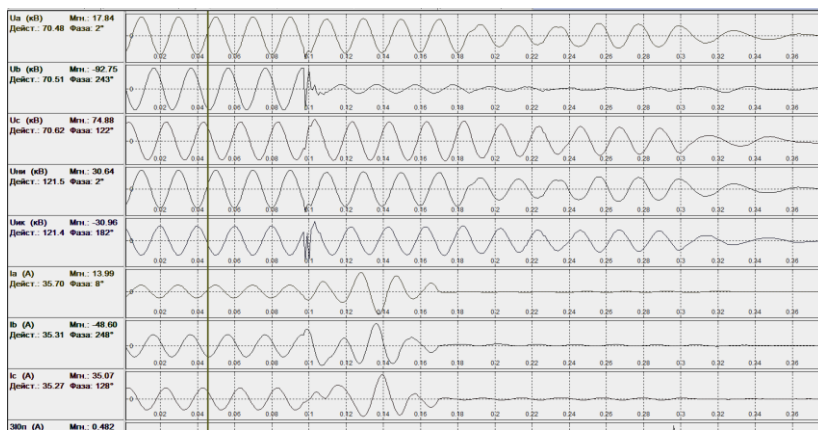


Рис. 1. Осциллограмма токов и напряжений на ВЭС при КЗ в фазе **B**

информативных параметров для целей РЗА. Следует отметить, что и все реле с двумя подведенными величинами, где присутствуют токи (реле направления мощности – РНМ, реле сопротивления – РС), также оказываются бесполезными. Таким образом, для целей РЗА со стороны подстанции ВЭС могут быть применены только напряжения и их симметричные и аварийные составляющие. Однако

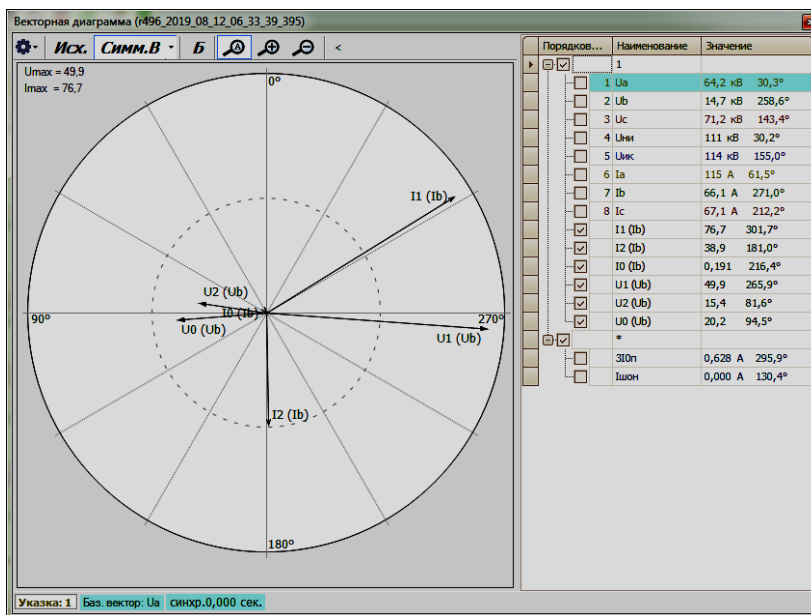


Рис. 2. Векторная диаграмма при КЗ в фазе **B** линии

применение измерительных органов (ИО) по напряжению не может обеспечить селективность работы защиты. Обеспечение селективности работы защиты со стороны ВЭС требует дополнительных мер, например использования информации с удаленного конца линии со стороны питающей энергосистемы. В то же время при КЗ «за спиной» ВЭС в зоне чувствительности защит аварийные токи значительно превышают рабочие и могут быть

использованы для определения направления на КЗ относительно шин подстанции (ПС).

Со стороны питающей ПС токи и напряжения соответствуют их классическому

представлению и могут быть применены для построения стандартной РЗА, похожей на РЗА тупиковой линии.

Таким образом (рис. 3), в РЗА на ПС ВЭС в качестве информационных параметров, на которых может строиться защита при КЗ в зоне, используются фазные реле напряжения и/или реле симметричных составляющих напряжения с разрешающими сигналами телеуправления со стороны питающей ПС, а в случае КЗ «за спиной» при несимметричных повреждениях используются традиционные РНМ обратной последовательности (РНМОП) и реле тока прямой последовательности или обратноподключенное реле сопротивления для идентификации трехфазных симметричных повреждений. При выявлении КЗ «за спиной» со стороны ВЭС, как в классических направленных высокочастотных защитах (НВЧЗ), должен быть подан блокирующий сигнал на питающую ПС. Со стороны питающей подстанции должен быть задействован полукомплект НВЧЗ или чувствительные третьи ступени комплекта ступенчатых защит (КСЗ) с формированием разрешающего сигнала при наличии команды на отключение своего выключателя.

Схемные решения для защиты линии с ВЭС.

Как уже было отмечено, для обеспечения абсолютной селективности защиты линии с ответвленными ПС, соединяющей питающую ПС энергосистемы и ПС ВЭС, была разработана специальная логика ВЧ-отключения (рис. 3, рис. 4, рис. 5) [4].

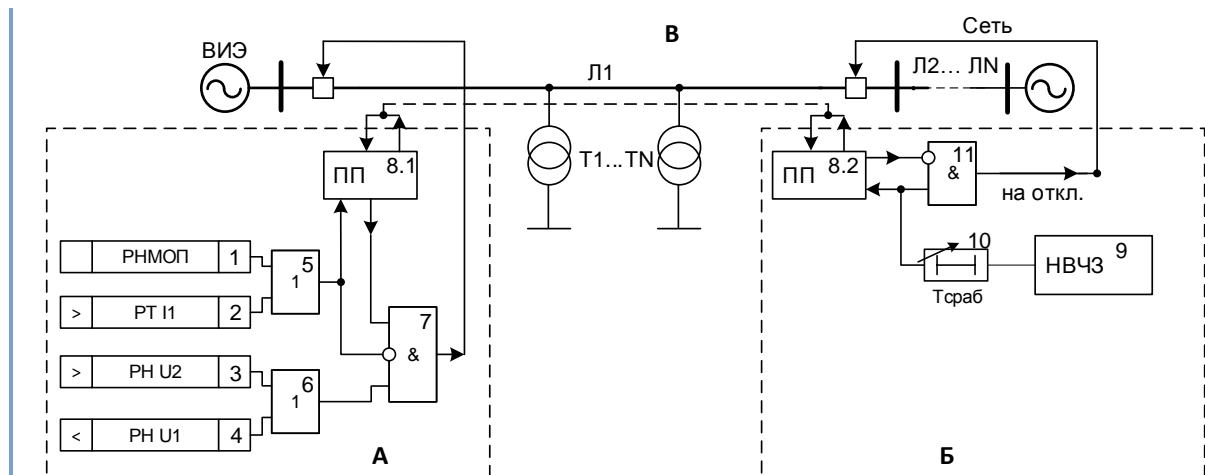


Рис. 3 Структурная схема защиты

Структурной схеме (рис.3) защиты показаны блоки А и Б полукомплектов защиты для ПС с ВИЭ и питающей ПС, модуль В – однолинейная схема защищаемой сети включающей структурное изображение защищаемой ЛЭП Л1 и ЛЭП Л2-ЛН на стороне питающей сети, выключатели на защищаемой ЛЭП, трансформаторы Т1-ТN ответвленных ПС, ПС с ВИЭ, питающая ПС. Блок А полукомплекта защиты со стороны ПС с ВИЭ включает в себя РНМОП (элемент 1), максимальное реле тока прямой последовательности РТ П1 (элемент 2), максимальное реле напряжения обратной последовательности РН U2 (элемент 3) и минимальное реле напряжения прямой последовательности РН U1 (элемент 4), логические элементы 5 и 6 «ИЛИ», которые управляют приемопередатчиком (ПП) данного конца (элемент 8.1). Блок Б соответственно полукомплекта защиты со стороны питающего конца включает ПП (элемент 8.2), пускаемый от НВЧЗ (элемента 9) с некоторой задержкой (элемент времени 10 с выдержкой времени на срабатывание (ВВС)). Выход ПП блока Б (элемент 8.2) посредством логического элемента «И» (элемент 11) блокирует отключение линии.

Принцип работы данной логики заключается в следующем; при коротком замыкании в линии срабатывают ИО КСЗ на стороне питающей ПС (рис. 4) и кратковременно формируют разрешающий ВЧ сигнал («Пуск ВЧ передатчика»). Этот сигнал принимается на стороне ВЭС («ВЧ прием») (рис. 5) и при отсутствии блокирующего сигнала со своей стороны разрешает отключение линии.

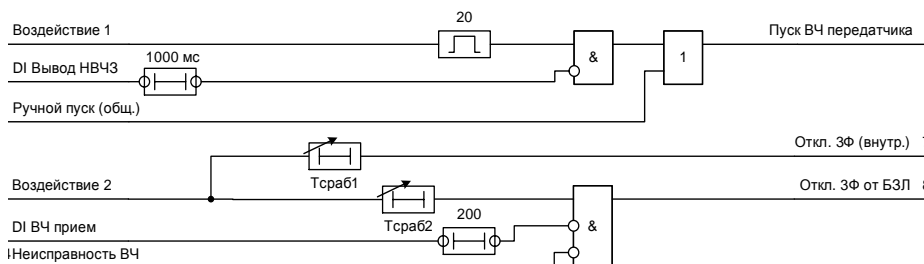


Рис. 4. – Логика ВЧ-отключения со стороны питающей подстанции

Блокирующий сигнал в линии формируется только при КЗ за спиной ВЭС. Направленность при КЗ за спиной ВЭС определяется РНМОП (сигнал «ТЗНП РНМОПобр») с контролем от U_2 и модулем обратных РС (рис.5). Для выявления трехфазных КЗ за спиной ВЭС дополнительно измеряется уровень тока прямой последовательности I_1 и уровень фазных напряжений (U_a, U_b, U_c). Если при КЗ измеренный ток на ПС ВЭС превысил величину $I_{Iном}$ и при этом просели все три фазных напряжения, то делается вывод о наличии трехфазного КЗ за спиной ВЭС. При выполнении вышеперечисленных условий со стороны ПС ВЭС формируется блокирующий сигнал («Пуск ВЧ передатчика»), который запрещает формирование отключающего сигнала со стороны питающей ПС.

Отключение со стороны ВЭС (рис.5) производится по факту получения разрешающего ВЧ-сигнала («ВЧ Прием») от питающей ПС с контролем срабатывания ИО напряжения прямой U_1 , обратной U_2 или нулевой $3U_0$ последовательностей.

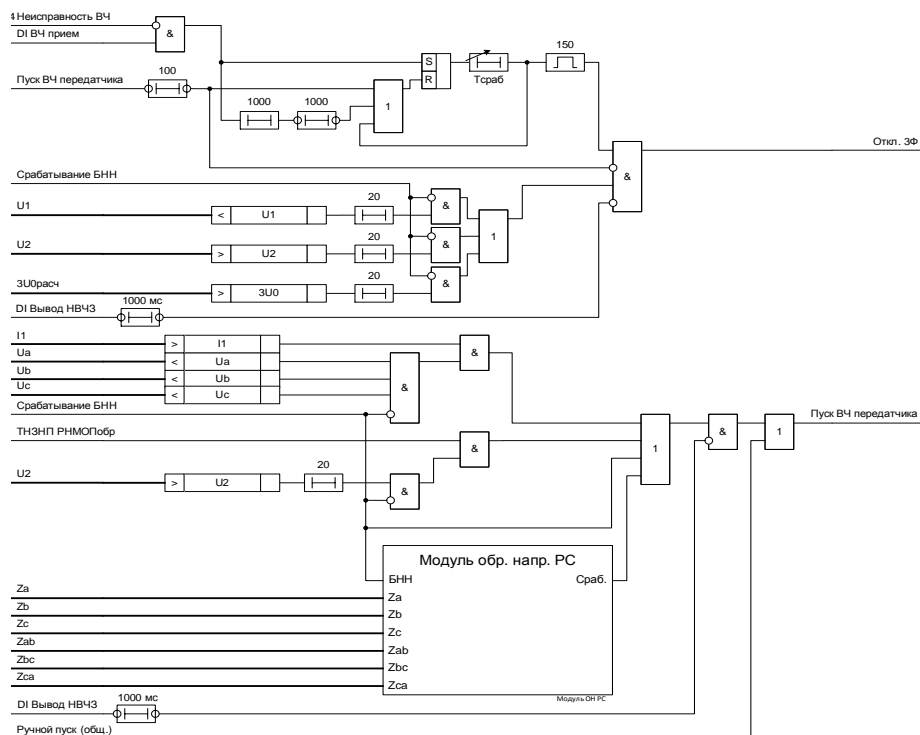


Рис. 5. – Логика ВЧ-отключения со стороны ВЭС

Формирование сигнала «Воздействие 2» в логике терминала со стороны питающей ПС (рис. 4) происходит от первых ступеней КСЗ и токовой отсечки (ТО), работающих без выдержки времени на срабатывание, а появление сигнала «Воздействие 1» происходит, соответственно, от медленнодействующих ступеней КСЗ. Традиционно все ИО напряжения и РС должны контролироваться БНН – блокировкой при неисправностях цепей напряжения (сигнал «Срабатывание БНН»).

Разработанный алгоритм предполагает, что при КЗ в зоне срабатывания НВЧЗ (или 1-х...3-х ступеней ДЗ или направленной ТЗНП) на питающей ПС формируется разрешающий сигнал и

при отсутствии блокирующего сигнала с ПС ВЭС производится отключение и производится отключение на самой питающей ПС и посыл разрешающего сигнала на отключение ПС ВЭС. На ПС ВЭС при этом производится прием разрешающего сигнала и с контролем срабатывания при симметричных КЗ реле фазного напряжения (Уф или U1), а при несимметричных КЗ – реле напряжения по 3U0 или по U2, формируется сигнал на отключение выключателя. Заметим, что при КЗ в зоне защиты, равно как и при КЗ «за спиной» на питающей ПС, на ПС ВЭС может сработать только фазное реле напряжения или реле, реагирующее на напряжение симметричных составляющих.

При КЗ «за спиной» ПС ВЭС по ней протекают токи КЗ от питающей ПС, величина которых позволяет селективно определять направление мощности и срабатывать либо реле направления мощности обратной последовательности при несимметричных КЗ, либо реле тока прямой последовательности или обратноподанное реле сопротивления при симметричных КЗ, которые по схеме «ИЛИ» блокируют отключения своего и посредством пуска ВЧ-сигнала и противоположного концов линии.

Как и любая защита с ВЧ-блокировкой, указанная защита использует измерительные органы (ИО) РС и реле тока нулевой последовательности, т. е. может применяться и как ступенчатая защита с относительной селективностью, например, в случае, когда защита на другом конце не в работе.

В рассматриваемом случае защита имеет абсолютную селективность и защищает линию целиком (от измерительных трансформаторов тока (ИТТ) питающей ПС до ИТТ ВЭС) с высоким быстродействием, т. е. защита выполняет функции защиты абсолютной селективности. Так как такая защита не попадает ни под один из четырех классических видов защит абсолютной селективности, было рекомендовано называть данную защиту аналогом защиты с абсолютной селективностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Традиционные защиты с ВЧ-сигналами для линий с ВЭС не применимы.
2. На ПС ВЭС в качестве информационных параметров для целей РЗА могут быть использованы напряжения и их симметричные составляющие.
3. Для обеспечения абсолютной селективности на линиях с ВЭС применена комбинация из разрешающих и блокирующих ВЧ-сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11 ноября 2013 г. № 2084-р "О схеме территориального планирования РФ в области энергетики".
- [2] Сайт Gigavat.com. Раздел Ветроэнергетика. Ветроэнергетическая установка
- [3] Правила устройства электроустановок, 7 изд., утв. Приказом Минэнерго России от 08.07.2002.
- [4] Терминал направленной высокочастотной защиты с функцией КСЗ линий 110-220 кВ типа «ТОР 300 НВЧЗ 54Х». Руководство по эксплуатации. Описание устройства и работы терминала АИПБ.656122.011-044 РЭЗ ver.18.1.