

А.А. ФЕРЕНЕЦ, студентка гр. ИАЭП-3185 (КНИТУ-КАИ)

Научный руководитель И.С. МЕТЕЛЕВ,

старший преподаватель (КНИТУ-КАИ)

г. Казань

## ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Стремительный рост и развитие городов и городской инфраструктуры приводит к повышенному спросу на электроэнергию, что в свою очередь ведет к росту генерирующих мощностей. Параллельно разворачивается мировой энергетический кризис, связанный с переходом к зеленой энергетике, которая за последний год стала основной темой разговора всех международных форумов и конференций. Сокращение нагрузки уже не просто выбор, который могут сделать развитые страны, чтобы хоть как-то разгрузить энергосистему и справиться с растущим спросом, а почти единственное возможное решение, которое можно сделать уже сейчас. Пройдут годы, пока возобновляемые источники энергии смогут работать стablyно и будут способны обеспечивать энергией мегаполисы.

Кроме того, большая часть электростанций расположена далеко от центральных районов нагрузки, что приводит к потерям электроэнергии и высоким перепадам напряжения. В связи с этим все чаще возникает необходимость использования источников распределенной генерации [4].

Распределенная генерация (РГ) – это производство энергии на стороне потребителя, которое исключает потери на передачу электроэнергии, при этом излишки направляются в общую сеть. Основные достоинства использования источников РГ:

- повышение эффективности системы;
- снижение эксплуатационных расходов за счет экономии пиковой нагрузки;
- использование РГ на основе возобновляемых источников энергии уменьшает негативное влияние на окружающую среду;
- при отказе основного источника энергии РГ может выполнять роль резервного источника для энергосистемы, что способствует повышению качества энергии в распределительных системах.

**IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года**

236-2

---

Подключение источников РГ усложняет конфигурации энергосистемы, что может повлиять на эффективность работы релейной защиты. В некоторых случаях защита может не сработать или сработать ложно. В данной статье проведено исследование влияния подключения источников РГ на распределительные системы для того, чтобы максимально использовать их возможности и избежать потенциальных проблем.

Релейная защита (РЗ) является видом электроавтоматики, который позволяет энергосистеме нормально и надежно работать. Релейной защитой производится постоянное наблюдение за состоянием и режимом работы всех компонентов электроэнергетической системы, и происходит ее срабатывание в случае обнаружения повреждений и аварийных режимов. При наличии неисправностей защита определяет и отсоединяет поврежденную часть сети от энергосистемы, действуя на автоматический выключатель [1].

К функциям РЗ относятся:

- срабатывание, при наличии короткого замыкания (КЗ) в пределах защищаемой зоны;
- отказ, если отсутствует КЗ в зоне защиты;
- отказ, если КЗ находится за зоной защиты.

При условии выполнения вышеперечисленных функций действия защиты являются правильными.

Отказ работы РЗ в случае КЗ может привести к серьезным повреждениям электроустановок, распределительных устройств и др., а отказ работы в нормальном режиме электросети приводит к прекращению подачи электроэнергии потребителям.

Для обеспечения надлежащей работы РЗ предъявляются следующие требования: быстродействие, селективность, чувствительность и надежность работы.

Селективность заключается в отключении только поврежденного элемента системы с заданной выдержкой времени с помощью выключателей. Селективность защиты позволяет отключать минимальный возможный участок и, как следствие, сохранение нормального электроснабжения максимального числа потребителей.

Быстродействие защиты определяется требуемым временем отключения короткого замыкания.

Способность срабатывания при КЗ в пределах зоны защиты в неблагоприятных условиях называется чувствительностью. Ток КЗ зависит от места повреждения: чем дальше КЗ от источника питания, тем ток будет меньше. Величина этого тока дополнительно уменьшается при минимальном режиме работы системы. При таком условии может

возникнуть ток короткого замыкания, который будет соизмерим с током нормального режима и обеспечить чувствительность РЗ в этом случае достаточно сложно.

Под надежностью понимают возможность РЗ осуществлять заданные функции, при этом сохранять с течением времени установленные параметры в определенных пределах, которые соответствуют заданным режимам и условиям эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Любой из факторов, действующих на РЗ, может привести к ее ложному срабатыванию или отказу.

Распределительные электрические сети напряжением 6-10 кВ, как правило, имеют радиальную структуру с односторонним питанием сетевых элементов или работают в разомкнутом режиме. На линиях электропередачи (ЛЭП) должны предусматриваться защиты от междуфазных КЗ и защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ).

Источники РГ подключаются к сети непосредственно (гальванически связаны с сетевыми элементами) или через разделительные трансформаторы. Их подключение к распределительным системам влияет на направление потока мощности и увеличение тока короткого замыкания, соответственно токораспределение в линии изменяется [3]. Коэффициент токораспределения – это отношение тока, протекающего через РЗ, к полному току КЗ:

$$k_{tp} = \frac{I_{PZ}}{I_{KZ}}$$

Появление двухстороннего питания требует изменение параметров срабатывания этих защит и/или введение направленности их действия. Основные параметры релейной защиты – это уставки срабатывания ступеней защиты. Они зависят от коэффициента токораспределения.

Первичное сопротивление срабатывания первой ступени выбирается из условия отстройки от коротких замыканий на шинах противоположной подстанции:

$$z_{c3}^1 \leq k_h \cdot z_{l1} \cdot k_{tk}, \quad (1)$$

где  $k_h = (0,8 - 0,85)$  – коэффициент надежности, учитывающий погрешности трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, реле сопротивления и погрешности расчета,  $z_{l1}$  – сопротивление защищаемой линии.

Первичное сопротивление срабатывания второй ступени:

$$z_{c3}^2 = k_h \cdot \left( z_{l1} + \frac{k_h}{k_{tk}} \cdot z_{l2} \right), \quad (2)$$

где  $z_{c3}^2$  – первичное сопротивление срабатывания второй ступени дистанционной защиты линии Л1,  $z_{l1}$  – сопротивление защищаемой линии,  $z_{l2}$  – сопротивление смежной линии,  $k_{tk}$  – коэффициент токораспределения, учитывающий отношение тока короткого замыкания в месте установки защиты к току в линии, с защитой которой проводится согласование.

Сопротивление срабатывания третьей ступени выбирается из условия отстройки от нагрузочного режима:

$$z_{c3}^3 \leq \frac{U_{min} \cdot \sin \varphi_{\text{нагр.расч}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{допуск max}} \cdot \frac{k_h}{k_{tk}} \cdot k_b \cdot \sin \varphi_{\text{мч}}}, \quad (3)$$

где  $U_{min}$  – минимальное рабочее напряжение на шинах подстанции,  $I_{\text{допуск max}}$  – максимальный допустимый ток линии,  $k_b$  – коэффициент возврата,  $\varphi_{\text{нагр.расч}}$  – расчетный угол нагрузки,  $\varphi_{\text{мч}}$  – угол максимальной чувствительности реле [2].

Использование уставок релейной защиты при подключении источника распределенной генерации, рассчитанных без учета РГ, может привести к потере координации системы защиты, отсутствию селективности и чувствительности защит. Первичное сопротивление срабатывания первой ступени защиты может уменьшаться, если коэффициент токораспределения меньше единицы. Это приведет к смещению зоны действия первой ступени, и она станет меньше стандартных 85% линии. Возможен случай, когда при коротком замыкании в конце линии сработает не вторая ступень защиты, а первая. Тогда вся линия будет отключена, и электроснабжение нарушится.

Одно из возможных решений этой проблемы – это адаптивная защита, которая, анализируя состояние выключателей на источниках генерации и нагрузке, может работать с разными группами уставок.

#### Список литературы:

1. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. - М.: Высшая школа. 2008. - 639 с.
2. Копьев В.Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 153 с.
3. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 11. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110-750 кВ. - М.: Энергия, 1979. – 152 с.
4. Стенников В.А., Воропай Н.И. Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция / В.А.

**IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года**

236-5

---

Стенников, Н.И. Воропай. – Текст: электронный [сайт]. – URL: [http://energystrategy.ru/projects/Energy\\_21/4-2.pdf](http://energystrategy.ru/projects/Energy_21/4-2.pdf) (дата обращения: 05.05.2021)

Информация об авторах:

Ференец Анна Андреевна, студентка гр. ИАЭП-3185, КНИТУ-КАИ, 420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10, [a.a.ferenets@icloud.com](mailto:a.a.ferenets@icloud.com)

Метелев Иван Сергеевич, старший преподаватель, КНИТУ-КАИ, 420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 10, [ivan0893@mail.ru](mailto:ivan0893@mail.ru)