



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.3.05

К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОСОБОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Котух А.Ю., Кваша Ю.А., Головинов В.В., Белугин С.С., Лозня В.В.

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», Зерноград, Россия (347740, Зерноград, Ростовская обл., Советская ул., 21), e-mail: vaco@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы особенностей применения различных режимов нейтрали, преимущества и недостатки электросетей при влиянии перенапряжений и замыканий на землю на работу оборудования в системе электроснабжения.

Ключевые слова: система электроснабжения, однофазные замыкания на землю, перенапряжения, режим нейтрали, дуговые замыкания, пробой изоляции, эксплуатация электросетей.

ON THE EVALUATION OF THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF THE METHODS OF GROUNDING THE NEUTRAL AND THEIR INFLUENCE ON THE DEVELOPMENT OF OVERVOLTAGES

Kotukh A.Yu., Kvasha Yu.A., Golovinov V.V., Belugin S.S., Loznya V.V.

Azov-Black Sea Engineering Institute of Donskoy GAU, Zernograd, Russia (347740, Zernograd, Rostov region, Sovetskaya st., 21), e-mail: vaco@mail.ru

The article deals with the issues of the features of the use of various neutral modes, the advantages and disadvantages of power networks under the influence of surges and ground faults on the operation of equipment in the power supply system.

Keywords: power supply system, single-phase ground faults, overvoltages, neutral mode, arc faults, insulation breakdown, power grid operation.

Центральным звеном в системах электроснабжения электрической энергией большинства потребителей выступают распределительные сети напряжением 6-10 кВ. Надежность процесса обеспечения электроэнергией потребителей напрямую зависит от устойчивого функционирования этих сетей, поэтому они требуют соблюдения определенных стандартов качества и надежности.

Многочисленные статистические данные показывают, что наибольшее количество повреждений электросетях 6-10 кВ происходит от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Ввиду этого, энергия, которая доходит до потребителей, имеет заметные отклонения по нормируемым показателям качества напряжения [1]. Эти девиации в основном вызваны ОЗЗ, которые инициируют возникновение перенапряжений. Данные процессы влияют на качество электроэнергии, вследствие чего отрицательно воздействуют не только на конечного

потребителя, но и на сети электроснабжающих организаций.

В современных электрических сетях России и стран СНГ применяются несколько режимов устройства нейтрали [2]:

1. Эффективно заземленная (глухозаземленная) нейтраль, где значения токов замыкания на землю (ЗНЗ) значительны; при этом напряжение составляет 0,4 кВ или более 110кВ;

2. Компенсированная нейтраль (значения емкостных токов варьируется на повышенном уровне, а напряжение составляет 6-35 кВ);

3. Изолированная нейтраль, где параметры емкостных токов незначительны, а напряжение составляет 6-35 кВ и 0,4 кВ);

4. Низкоомное и высокоомное заземление, в этом случае напряжение сетей может составлять 6 и 10 кВ.

Рассмотрим следующие преимущества функционирования электрической сети с *изолированной нейтралью*. Устойчивость системы при долгосрочном действии перенапряжений (ПН), которые создаются в переходных режимах однофазного замыкания на землю (ОЗНЗ), и для устройств, имеющих нормальную изоляцию [3]:

- Допускается автономное погашения дуги, а также самостоятельное устранение части замыкания;
- Практичное (в многочисленных обстоятельствах) разрешение предмета защиты и селективного оповещения устойчивых ОЗНЗ;
- Необязательность использования вспомогательных устройств и исключение расходов на заземление нейтрали;
- Допустимость работы электросетей с ОЗНЗ в ходе определенного времени до момента, при котором следует выполнять мероприятия по остановке неисправного компонента с предотвращением дальнейшего развития аварии.

В то же самое время имеются и недостатки, среди которых выделяют следующие моменты:

- Повышенный уровень генерируемых помех по линиям электропередач при дуговых замыканиях;
- Риск появления феррорезонансных процессов в электросети и, как следствие, дефектов трансформаторов напряжения;
- Существенное увеличение действующего значения тока в аварийной области при дуговых перемежающихся однофазных замыкания;
- Большая вероятность появления дуговых перемежающихся ОЗЗ;
- Возможность вторичных пробоев изоляции, а также превращения однофазных замыканий в двойные (многоместные) короткие замыкания (КЗ) из-за ПН с максимальным значением $3,5U_{\phi}$ при дуговых КЗ;
- Вероятность значительных дефектов электромашин током в области вблизи ОЗЗ, в первую очередь при дуговых перемежающихся замыканиях;
- Большой риск опасности для фауны, которая находится вблизи повреждения.

При исследовании особенностей работы электрической сети с *компенсированной*

нейтралью (резонансное заземление) необходимо учитывать следующие преимущества [4]:

- Возможность самоустранения наибольшего количества однофазных замыканий и самостоятельное гашение дуги (в случае определенного значения остаточного тока в области ОЗЗ);
- Снижение уровня воздействия дуговых замыканий на землю на линии связи;
- Защищенность от долгосрочного влияния ПН в переходных и установившихся режимах однофазного замыкания на землю для устройств, работающих с нормальной изоляцией;
- Почти полностью исключается вероятность появления дуговых перемежающихся однофазных замыканий на землю;
- Снижение кратности ПН на нетронутых фазах в отличие от режима с изолированной нейтралью;
- Допустимость работы электросети с однофазными замыканиями на землю до согласования с мероприятиями по остановке неисправного устройства с предотвращением дальнейшего развития аварии;
- Существенное уменьшение значения скорости восстановления напряжения на неисправной фазе вслед за обрывом тока ОЗЗ;
- Вероятность появления феррорезонансных процессов в электросети исключена;
- Снижение значения тока ОЗЗ в области аварии.

Недостатки электрической сети с компенсированной нейтралью:

- Вероятность вторичных пробоев в местах, где проходящая линия имеет наиболее ослабленную изоляцию;
- Возрастание возможности появления дуговых прерывистых однофазных замыканий и максимальных ПН на исправных фазах;
- Неспособность компенсации высших гармоник и активной составляющей тока в месте возникновения ОЗЗ без помощи специальной аппаратуры;
- Вероятность появления прерывистых дуговых ОЗНЗ, которые сопутствуют ПН на исправных фазах;
- Лишние расходы на заземление нейтрали посредством дугогасящего реактора и элементов аппаратуры для автоматического регулирования управлением компенсации;
- Сложности при устранении проблем с селективным оповещением замыкания на землю и защитой от него;
- Наличие лимита по суммарному значению емкостного тока в рассматриваемой сети;
- Возрастание значения остаточного тока в области ОЗЗ с ростом суммарного значения емкостного тока.

При исследованиях аварийных режимов работы электросетей с *низкоомным заземлением нейтрали* выделяют прежде всего следующие преимущества:

- Невозможность появления дуговых прерывистых замыканий (для случаев, когда величина активного тока незначительна и этого достаточно для его устранения);

- Снижение времени влияния ПН на изоляцию устройств сети на исправных фазах в переходных режимах ОЗНЗ;
- Надёжное срабатывание защиты при однофазных замыканиях;
- Фактически полное исключение вероятности развития однофазного замыкания на землю в двойное или межфазное короткое замыкание;
- Невозможность проявления феррорезонансных эффектов в электросети.

Недостатки системы с низкоомным заземлением нейтрали:

- Допустимость возрастания объема дефектов технических устройств (вследствие повышения значения тока ОЗНЗ - $I_{OЗЗ}$);
- Возрастание количества отключений устройств и ЛЭП вследствие кратковременных переходов самоликвидирующихся пробоев изоляции в их завершенные виды;
- Исключение возможности работы электросети с ОЗНЗ;
- Дополнительные расходы на заземление нейтрали посредством резистора;
- Возрастание количества отключений выключателей элементов электросети;
- Вероятность вторичных пробоев изоляции в местах, где линия проходит с наиболее ослабленной изоляцией вследствие ПН на исправных фазах;
- Вероятность появления дуговых прерывистых однофазных замыканий из-за небольшого активного тока, который накладывается на ОЗНЗ.

Оценивая качественные характеристики работы сети с *высокоомным заземлением нейтрали*, необходимо подчеркнуть следующие положительные особенности:

- Исключение вероятности появления феррорезонансных процессов в электросети;
- Снижение кратности ПН на исправных фазах в отличие от изолированной нейтрали;
- Несложное устранение проблем оповещения устойчивых однофазных замыканий на землю, а также защиты от них;
- Защищенность от долгосрочного влияния ПН в переходном режиме однофазного замыкания на землю для устройств с нормальной изоляцией;
- Вероятность самостоятельного гашения дуги и её самоустранения (если присутствует определенный лимит значения $I_{OЗЗ}$, где произошла неисправность электросети);
- Исключение вероятности появления дуговых перемежающихся ОЗНЗ;
- Вероятность работы электросети с однофазными замыканиями до согласования с мероприятиями по остановке неисправного компонента с предотвращением дальнейшей аварии (если установлены предельные значения тока ОЗЗ для конкретного места повреждения электросети).

В то же самое время приходится учитывать и недостатки:

- Усложнение факторов влияния на гашение дуги в области неисправности в отличие от электросетей, которые функционируют с изолированной нейтралью, либо с компенсацией емкостного тока ОЗНЗ;
- Трудности с поддержанием термической стойкости заземляющего резистора вследствие высокого значения его мощности при устойчивых ОЗНЗ;

- Ограничение по значению суммарного емкостного тока из-за лимитирования пропускной способности сети;
- Дополнительные расходы на заземление нейтрали посредством резистора;
- Возрастание значения тока на участке неисправности от ОЗЗ;
- Вероятность вторичных пробоев в местах, где линия проходит с наиболее ослабленной изоляцией вследствие ПН на исправных фазах;
- Вероятность появления прерывистых дуговых ОЗНЗ, которые сопутствуют ПН на исправных фазах.

Однофазное КЗ в случае использования глухого заземления нейтрали – это замыкание какой-либо фазы на землю, которое проявляется существенным увеличением значения тока замыкания. Значение напряжения между «фаза-земля» не превышает номинальной величины фазного напряжения, при этом перемежающиеся дуги становятся физически невозможны. Отключение однофазных коротких замыканий происходят автоматически. Такое отключение способствует в последующем к перерывам в снабжении электроэнергией потребителей [5].

Помимо этого, еще один «минус» данного вида заземления нейтрали состоит в существенном изменении и сложности конструирования заземляющих элементов, а также в их высокой цене. Происходит это ввиду необходимости использования большого количества заземляющих электродов, так как для электросистем с высоким значением тока замыкания на землю ПУЭ предполагают наибольшее значение $R=0,5$ Ом у заземляющего контура. В связи с существенным током однофазного короткого замыкания (иногда данное значение превышает величину тока трёхфазного КЗ), не все нейтрали трансформаторов заземляют наглухо.

Основной причиной аварийных отключений в самых протяжённых электрических сетях напряжением 6-10 кВ выступают однофазные замыкания на землю, которые могут перерасти в двухфазные замыкания. Подобные явления встречаются все чаще в связи с неспособностью устаревшей изоляции проводящих элементов выдерживать перенапряжения, которые больше всего распространены в сетях с компенсированной и изолированной нейтралью. Кроме того, нынешние кабели с применяемой изоляцией из сшитого полиэтилена, весьма слабо приспособлены к эксплуатации в условиях повышенных напряжений [4].

Таким образом, анализируя многочисленные и разноплановые исследования в электросетях 6-10 кВ, можно сделать вывод о том, что прослеживается явная необходимость к принятию ряда вспомогательных решений по защите от ОЗЗ, которая может быть реализована путём совершенствования уже имеющихся электрических схем распределительных устройств на подстанциях. Так кроме устройств ограничения перенапряжений типа ОПН следует предусмотреть возможность регистрации числа срабатывания РС-гасителей, а также создать возможность запуска искусственного металлического замыкания с помощью блока запуска ИМЗ. Дополнительно необходимо проводить мероприятия по плановой диагностике электрооборудования, что позволит предварительно определять зоны, которые находятся в предаварийном состоянии. Помимо этого, целесообразно использование безынерционных защит, которые устраняют зоны замиранья и обеспечивают длительный период для работы автоматики компенсирующих аппаратов.

Список литературы

1. ГОСТ Р 32144-2013. "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". – М.: Стандартинформ, 2014.- 20с.
2. Сумарокова, Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий / Л.П. Сумарокова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 288 с.

А.Ю.Котух и др. К оценке качественных характеристик способов заземления нейтрали и их влияние на развитие перенапряжений // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8 № 3(29) с. 131–136

3. Маньков, В.Д. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник / В.Д. Маньков, С.Ф. Заграничный. — СПб.: Политехника, 2005. — 400 с:
4. Конюхова, Е. А. Надежность -электроснабжения промышленных предприятий / Е.А. Конюхова, Э.А. Киреева. – М.: НТФ "Энергопрогресс", 2001. 92 с.; приложение к журналу "Энергетик"; Вып. 12(36»)
5. Привалов, Е.Е. Эксплуатация линий распределительных сетей систем электроснабжения / Е.Е. Привалов, А.В. Ефанов, С.С. Ястребов. – Ставрополь: СтГАУ-"Параграф", 2018. – 168 с.

References

1. GOST R 32144-2013. "Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems". – М.: Standartinform, 2014.- p.20
 2. Sumarokova, L.P. Power supply of industrial enterprises / L.P. Sumarokov. - Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2012. - p.288
 3. Mankov, V.D. Protective grounding and protective zeroing of electrical installations: a Handbook / V.D. Mankov, S.F. Overseas. - St. Petersburg: Polytechnic, 2005. - p.400
 4. Konyukhova, E.A. Reliability - power supply of industrial enterprises / E.A. Konyukhova, E.A. Kireeva. – М.: NTF "Energoproress", 2001. – 92 p.; supplement to the magazine "Energetik"; Issue. 12(36")
 5. Privalov, E.E. Operation of lines of distribution networks of power supply systems / E.E. Privalov, A.V. Efanov, S.S. Hawks. - Stavropol: SSAU-"Paragraph", 2018. - p.168
-