

УДК 621.316.1.05

Е. С. ПОДШИВАЛОВ, аспирант, E-mail: e.podshivalov-tcn-nn@yandex.ru
О. В. КРЮКОВ, д.т.н., зам. директора по науке,
ООО «ТСН-электро» (Нижний Новгород)

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ И КОНФИГУРАЦИЯ ГИБРИДНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ АПК

Аннотация: Рассмотрены основные проблемы внедрения распределенной генерации в систему электроснабжения промышленных объектов АПК, предложен способ повышения эффективности работы источников распределенной генерации за счет применения гибридных накопителей электроэнергии, произведен анализ работы гибридных установок различной конфигурации, выведены основные зависимости параметров установки от режимов работы и структуры сети.

Ключевые слова: распределенная генерация, накопители электроэнергии, аккумуляторная батарея, суперконденсатор, PSCAD.

E. S. PODSHIVALOV, graduate student, E-mail: e.podshivalov-tcn-nn@yandex.ru
O.V. KRYUKOV, Doctor of Tech. Sciences, Deputy director of science,
TCN-electro LLC (Nizhny Novgorod)

PARAMETERIZATION AND CONFIGURATION OF HYBRID POWER STORAGE DEVICES AT INDUSTRIAL FACILITIES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Abstract: The main problems of the introduction of distributed generation into the power supply system of industrial facilities of the agro-industrial complex are considered, a method for improving the efficiency of distributed generation sources through the use of hybrid power storage devices is proposed, the operation of hybrid installations of various configurations is analyzed, the main dependences of installation parameters on operating modes and network structure are derived.

Keywords: distributed generation, electric power storage, battery, supercapacitor, PSCAD.

В промышленном секторе АПК частыми проблемами являются: неравномерный график нагрузки на производственных объектах, низкое качество электроэнергии и надежность питающих сетей, нехватка установленной мощности, провалы и колебания напряжения и частоты на удаленных участках сети [1-3].

Основным решением проблем электроснабжения объектов АПК является внедрение в энергосистему источников распределенной генерации. Однако внедрение их в существующую систему электроснабжения (СЭС) какого-либо объекта, требует постоянную синхронизацию их с питающей сетью и выдачу мощности согласно

графику нагрузки объекта установки [4,5]. Это не всегда реализуемо по причине зависимости выдаваемой мощности источников распределенной генерации от внешних факторов [6,7]. Решением этой задачи является применение накопителей электрической энергии.

Наиболее перспективными на данный момент времени являются гибридные накопители электроэнергии (рис. 1), которые совмещают в себе преимущества батарей суперконденсаторов и аккумуляторных батарей [8,9].



Рис. 1. Структурная схема гибридного накопителя электроэнергии.

Данный вид накопителей электроэнергии интересен тем, что его можно конфигурировать, т.е. уменьшать или увеличивать степень гибридизации установки, в зависимости от параметров и характеристик работы СЭС объекта установки.

Для определения степени гибридизации и оценки эффективности работы данной установки в программном комплексе PSCAD была построена имитационная модель СЭС промышленного объекта АПК с применением гибридных накопителей электроэнергии (рис. 2).

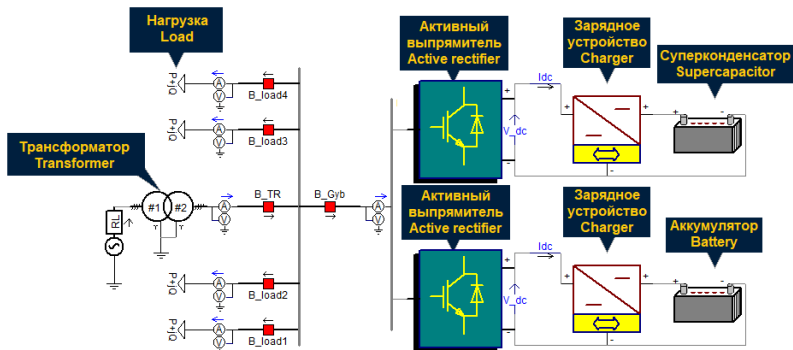


Рис. 2. Имитационная модель с применением гибридного НЭ.

Данная модель позволяет методом эксперимента определить наиболее рациональную степень гибридизации в зависимости от

характера и мощности нагрузок, режимов работы сети и совокупного графика нагрузки.

В результате проверки работоспособности накопителей электроэнергии с различной степенью гибридизации в заданных условиях, были выведены основные параметры и конфигурации батареи аккумуляторов и батареи суперконденсаторов, наиболее подходящих для моделируемой СЭС объекта, а также основные зависимости параметров установки от режимов работы и строения сети. На основе этого построены графики работы данной установки в различных режимах, по которым была проведена оценка общей эффективности применения гибридных накопителей в СЭС промышленных объектов АПК.

Выводы: Доказано, что применение гибридных накопителей электроэнергии является эффективным решением проблем внедрения источников распределенной энергии в существующие СЭС объектов АПК. Данный вид накопителей обладает гибкой конфигурацией, что позволяет на этапе разработки проекта адаптировать его под особенности режимов работы и структуры сети. Проведенное исследование показало характер зависимостей показателей работы установки от различной степени гибридизации.

Литература

1. **Бердников Р.Н., Фортон В.Е., Сон Э.Е., Шакарян Ю.Г.** Гибридный накопитель электроэнергии для ЕНЭС на базе аккумуляторов и суперконденсаторов // Энергия единой сети. 2013. № 2 (7). С 40-51.
2. **Кононенко А.Б., Косоротов А.А., Крюков О.В.** Расширение функциональных возможностей автоматизации и мониторинга распределительных устройств КТП «Каскад» // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2020. № 12. С. 26-31.
3. **Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В.** Энергоэффективные системы электроснабжения электроприводов нефтегазопроводов // В сборнике: Труды IX международной конференции АЭП-2016. Пермь. 2016. С. 380-384.
4. **Папков Б.В., Осокин В.Л., Куликов А.Л.** Об особенностях малой и распределенной генерации в интеллектуальной электроэнергетике // Вестник УГАТУ. 2018. № 4 (82). Т. 22. С. 119-131.
5. **Крюков О.В., Васенин А.Б.** Функциональные возможности энергетических установок при питании удаленных объектов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 2. С. 50-56.
6. **Серебряков А.В., Крюков О.В.** О новых возможностях технологий Smart Grid // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 2. С. 47-48.
7. **Серебряков А.В., Крюков О.В.** Оптимизация управления автономными энергетическими установками // Промышленная энергетика. 2013. № 5. С. 45-49.
8. **Степанов С.Е., Васенин А.Б., Путера А.Е.** Превентивный прогноз потребления электроэнергии при использовании систем аккумулирования // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2022. № 9 (158). С. 34-44.
9. **Груздев В.В., Волков А.С., Крюков О.В.** Методологический подход к прогнозированию технического состояния трансформаторов распределительных устройств // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2021. № 1 (138). С. 14-19.

УДК 621.316.925.1

М. В. ШАРЫГИН, д.т.н., доцент, НГТУ им. Р. Е. Алексеева
Л. Р. РОМАНОВ, аспирант, E-mail: RomanovL.R@yandex.ru
О. В. КРЮКОВ, д.т.н., зам. директора по науке,
ООО «ТСН-электро» (Нижний Новгород)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ РЕКЛОУЗЕРОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6–35 кВ

Аннотация: Рассмотрены особенности эксплуатации воздушных линий в распределительных сетях 6–35 кВ и способы повышения ее надежности. Предложен способ улучшения эффективности работы токовых защит реклоузеров за счет применения двумерной токовой защиты.

Ключевые слова: электроснабжение, воздушные линии электропередач, реклоузер, релейная защита, многомерная защита, PSCAD.

M. V. SHARYGIN, Doctor of Tech. Sciences, NSTU n.a. R.E. Alekseev
L. R. ROMANOV, graduate student, E-mail: RomanovL.R@yandex.ru
O.V. KRYUKOV, Doctor of Tech. Sciences, Deputy director of science,
TCN-electro LLC (Nizhny Novgorod)

CURRENT RELAY PROTECTION OF RECLOSERS IMPROVEMENT IN 6-35 KV DISTRIBUTION GRIDS

Abstract: The operation features of overhead power lines in distribution grids 6-35 kV and ways to improve its reliability are considered. A method for improving current relay protection efficiency of reclosers using two-dimensional current protection is proposed.

Keywords: power supply, overhead power lines, recloser, relay protection, multidimensional protection, PSCAD.

Согласно данным открытых источников, воздушные линии электропередачи (ЛЭП) занимают наибольшую долю по протяженности в распределительных сетях напряжением 6–35 кВ [1]. В свою очередь основной задачей при их эксплуатации является обеспечение надежного электроснабжения потребителей и минимизация трудовых и материальных затрат.

Однако ЛЭП являются наиболее уязвимым участком распределительных сетей напряжением 6–35 кВ. В особенности эта уязвимость проявляется при электроснабжении объектов, находящихся в удалении от городов. В свою очередь сельские распределительные и вдоль трассовые ЛЭП магистральных трубопроводов имеют целый ряд особенностей, затрудняющих применение традиционных принципов построения релейной защиты и автоматики (РЗА) [2]: 1) значительная протяженность ЛЭП с малыми токами короткого замыкания (КЗ); 2) малые мощности потребителей с $S_{ном}$ до 10–50 кВт; 3) неравномерная плотности нагрузок по всей длине воздушной линии (ВЛ).

Как правило, для повышения надежности электроснабжения в распределительных сетях 6–35 кВ выполняют мероприятия по

своевременному техническому обслуживанию и ремонту, замену устаревшего силового оборудования и устройств РЗА.

Тем не менее многолетний опыт эксплуатации электросетевых компаний показывает эффективность внедрения реклоузеров, в качестве средства повышения управляемости и надежности эксплуатации распределительных сетей 6–35 кВ [3].

Как правило реклоузеры оборудованы микропроцессорными терминалами РЗА с трех- или четырехступенчатыми токовыми защитами. Защиты могут быть выполнены как направленными для линий с двусторонним питанием, так и ненаправленными при одностороннем питании.

Как отмечалось ранее, в связи со значительной протяженностью и неравномерностью плотности нагрузок по всей длине вдольтрассовых ВЛ-10 кВ, в некоторых участках схемы будут низкие уровни токов КЗ при повреждениях на ответвлениях к потребителям.

В подобных условиях методика расчета ТО и МТЗ для реклоузеров имеет ряд особенностей, которые подробно рассмотрены в [4,5].

Предлагаемым вариантом повышения чувствительности и эффективности токовых защит реклоузеров, защищающих ВЛ одностороннего питания (рис. 1) является применения двумерной токовой защиты, оперирующей параметрами чисто аварийного режима.

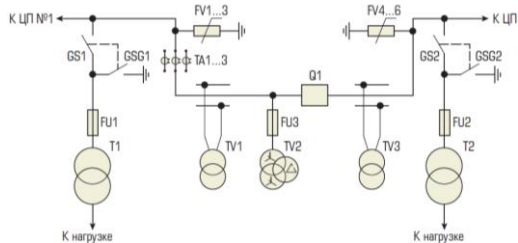


Рис. 1. Принципиальная схема реклоузера для сетей с односторонним питанием

Рассматриваемый алгоритм токовой защиты реагирует на приращение модуля действующего значения чисто аварийного тока и его фазы, вычисляемый по следующим формулам:

$$|I_{ав}| = |I(t) - I(t - 0.02)|; \quad (1)$$

$$|\varphi_{ав}| = |\varphi(t) - \varphi(t - 0.02)|. \quad (2)$$

где $I(t)$, $\varphi(t)$ – ток и его фаза, измеряемые в произвольный момент времени; $I(t - 0.02)$, $\varphi(t - 0.02)$ – значение тока и его фазы в предаварийном (запомненном) режиме.

Для оценки эффективности предложенного алгоритма токовой защиты построим имитационную математическую модель участка сети 10 кВ с односторонним питанием, воспользовавшись программным комплексом PSCAD (рис. 2).

На основе полученных статистических данных о работе сконфигурированного участка сети при задании случайного распределения параметров ее элементов были построены области распределения нормальных и аварийных режимов для классической токовой защиты и усовершенствованного варианта, после чего производилась оценка эффективности распознавания режимов данными защитами.

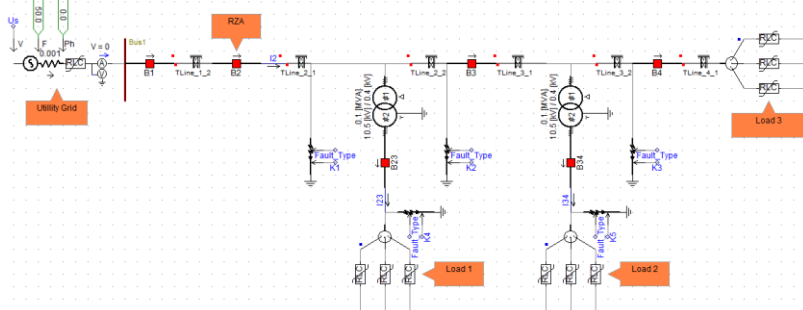


Рис. 3. Модель схемы вдольтрассовой ВЛ-10 кВ с односторонним питанием.

Выводы. Эффективным способом повышения надежности эксплуатации ВЛ в распределительных сетях 6–35 кВ является применения реклоузеров. Однако применение традиционного подхода к организации токовых защит не всегда позволяют обеспечить требуемую чувствительность. Предложен алгоритм двумерной токовой защиты, оперирующий параметрами чисто аварийного режима ($I_{ав}$, $\varphi_{ав}$), повышающий эффективность распознавания аварийных режимов.

Литература

1. **Программа** инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г. [Электронный ресурс]. – М.: ПАО «Россети», 2016. (https://www.rosseti.ru/investment/policy_innovation_development/doc/innovation_program.pdf).
2. **Крупин С. Н., Крюков О.В., Рубцова И. Е.** Принципы организации релейной защиты и автоматики вдольтрассовых ЛЭП магистральных газопроводов // Газовая промышленность. 2013. №12. С. 70-74.
3. **Реестр** инновационных решений ПАО «Россети». ПАО «Россети», 2017 – [Электронный ресурс]. https://www.rosseti.ru/media/zakupki/reestr_2004.pdf (Дата обращения: 04.02.2023).
4. **Крюков О.В., Степанов С.Е., Серебряков А.В.** Современный подход к организации ремонта по данным прогноза технического состояния и ресурса электрооборудования // Газовая промышленность. 2017. № 8 (756). С. 84-89.
5. **Крюков О.В.** Особенности релейной защиты и автоматики вдольтрассовых линий электропередачи // Электричество. 2018. № 11. С. 4-9.