

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Целью является отражение проблематики сетей низкого напряжения (НН) в связи с внедрением в них децентрализованных источников энергии (ДИЭ), что создает необходимость повышения качества защиты, автоматики и контроля в этих сетях. Для этого была создана имитационная модель сети НН с ДИЭ (фотоэлектрическая система) в программном пакете Matlab. Разработан ряд моделей имитирующих работу защит и автоматики. На базе созданных моделей исследованы различные стационарные и переходные режимы работы сети, которые позволили проверить адекватность работы блоков защит, автоматики и сети в целом.

**Ключевые слова:** моделирование, сеть низкого напряжения, децентрализованные источники энергии, возобновляемые источники энергии, устройства защиты, Smartgrid, Microgrid, Matlab.

**Введение.** В настоящее время увеличивается удельный вес ДИЭ в распределительных сетях (Microgrid - микро сеть), что в значительной степени влияет на характеристики и режимы работы сети. В работе рассмотрена сеть НН, которая состоит из мелких (до 100 кВт) децентрализованных источников, использующих возобновляемую энергию. Реализация будущих сетей НН требует решения существующих технических вопросов, таких как: баланс мощности, качество энергии и надежность защиты. Одним из наиболее ключевых вопросов остается обеспечение защиты сети НН на должном уровне.

**Цель работы.** Создание виртуальной модели защиты для распределительных сетей НН с ДИЭ.

**Материал и результаты исследования.** Существуют различные варианты трактовки таких понятий как Smartgrid или Microgrid. Как правило, термин Microgrid используется по отношению к распределительной сети НН с возможностью автономной работы, а понятие Smartgrid применяется к совокупности множества сетей НН, связанных информационно и через сеть СН [1-3]. Пример сети, которая исследовалась, приведен на рис. 1.

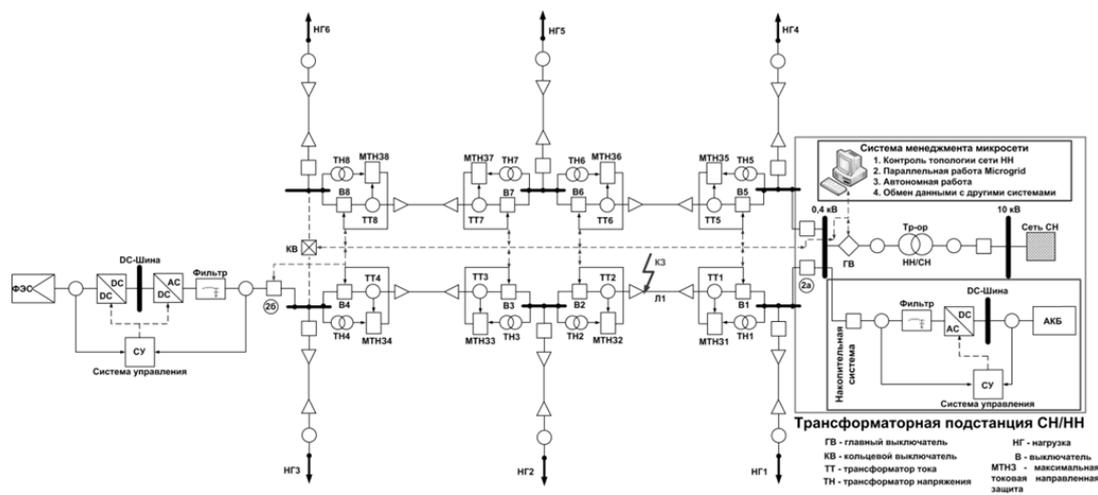


Рис. 1 Схематическая структура типичной сети Microgrid

Сеть состоит из шин постоянного и переменного тока, нагрузок, фотоэлектрической установки [4-5] и инвертора напряжения. Инвертор в такой сети играет большую роль в управлении и контроле параметров режимов работы данной сети. Структура этой сети со всеми основными компонентами и системой управления реализована в Matlab. Для схемы рис.1, были исследованы различные сценарии повреждений [6].

Существует два типа повреждений Microgrid: внутренние и внешние (в сети СН). В первом случае система защит должна изолировать место повреждения, отключив наименьший участок Microgrid. Во втором случае защита должна отключить Microgrid от сети СН, сделав это так быстро, насколько это необходимо для того чтобы защитить потребителя. В процессе работы такой защиты возникает момент

сегментирования Microgrid, т.е. образование большого количества автономных систем или подсистем Microgrid, при этом должно учитываться наличие источника и системы контроля в данной подсистеме.

В основе концепции системы защит в сети НН типа Microgrid будет лежать логика, которая используется в уже существующих системах защит (максимальная токовая защита, дифференциальная защита, дистанционная защита, защита нулевой последовательности), но с учетом особенности структуры и работы сетей НН.

Свойства новой системы защит [7]:

- способность автоматически адаптироваться к изменениям в структуре и работе сети;
- использование высокоскоростного обмена данными между электронными интеллектуальными устройствами, на основе стандарта МЭК 61850-5;
- измерения, расчеты и управление в режиме реального времени; селективная и надежная работа при повреждениях различного рода;
- максимальная минимизация ложных срабатываний устройств защиты и отключений ДИЭ.

Для защиты сети НН с ДИЭ разработаны и реализованы в программном пакете Matlab имитационные модели максимальной токовой направленной (рис. 2) и дифференциальной защиты (рис.3), а также модель трубчатого предохранителя с легкоплавкой вставкой (рис. 4).

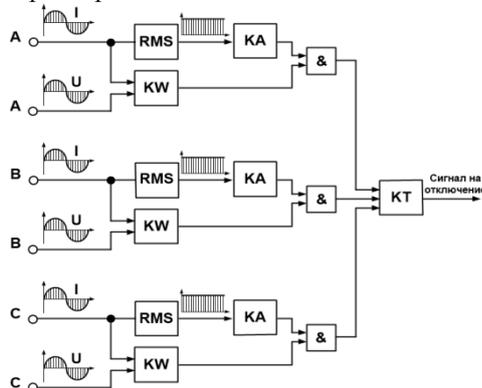


Рис. 2 Функциональная схема МТНЗ:

KA – пусковой орган тока; KT – орган выдержки времени; KW – орган направления мощности; RMS – определение действующего значения входной величины; & - логический элемент И; 1 – логический элемент ИЛИ.

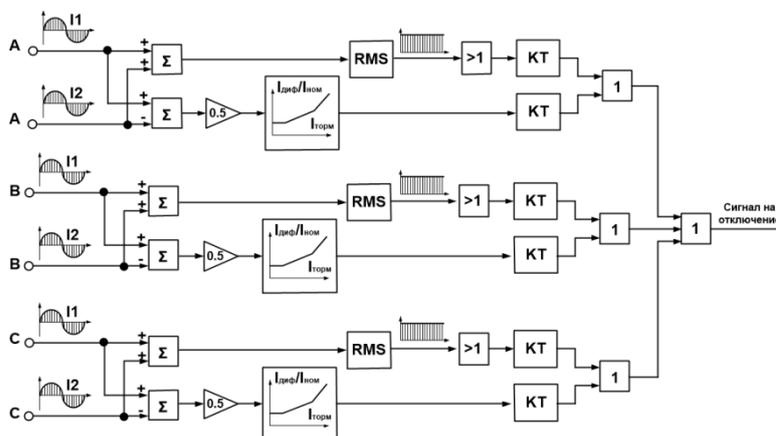


Рис. 3 Функциональная схема дифференциальной защиты:

KT – орган выдержки времени; 1 – логический элемент ИЛИ; RMS – определение действующего значения входной величины

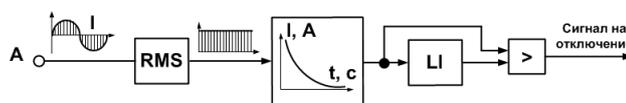


Рис. 4 Функциональная схема трубчатого предохранителя  
LI – интегратор с ограничением.

На примере внутреннего трехфазного замыкания на землю (рис. 1, точка КЗ), рассмотрим реализацию одного из основных требований к новой системе защит – изолирование наименьшего участка Microgrid. Повреждаемый участок будет защищаться созданным блоком максимальной токовой направленной защиты (МТНЗ).

Время моделирования 1с, время длительности короткого замыкания от 0,3с. до 1с. Ожидается, что защита должна изолировать поврежденную линию (рис. 1, Л1) и включить резервный выключатель. Осциллограммы фазных токов и напряжений, в точках, отмеченных на рис.1, как 2а и 2б, приведены на рис. 5.

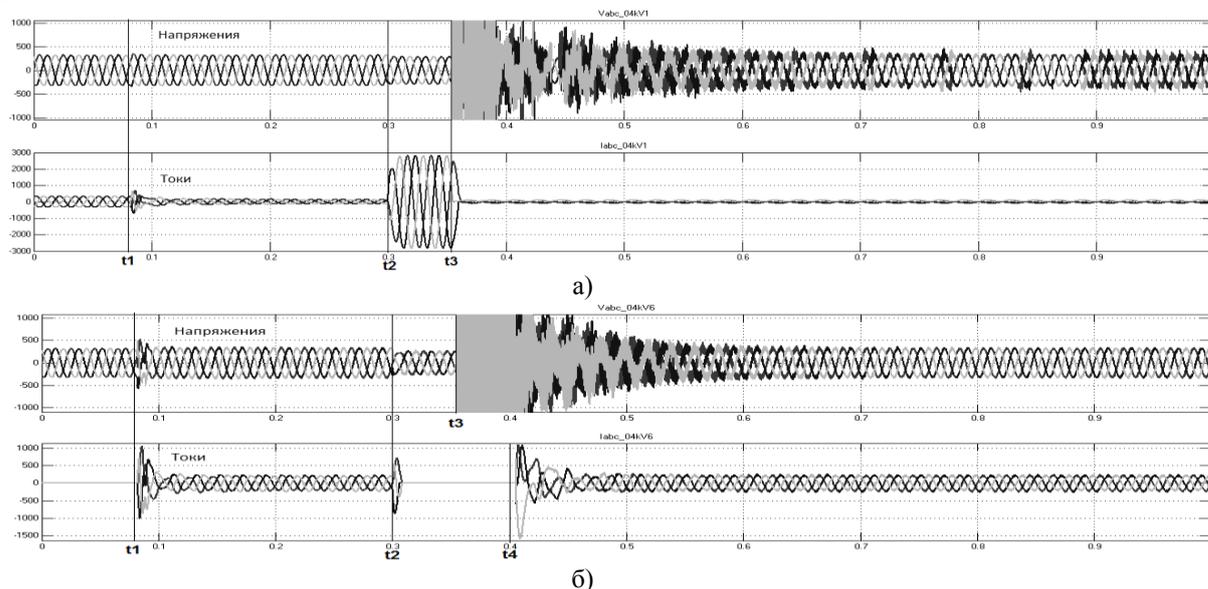


Рис. 5 Осциллограммы фазных токов и напряжений: а - точка за трансформатором в поврежденном присоединении, б - точка после ФЭС

В момент времени  $t_1=0,08$ с. происходит синхронизация инвертора ФЭС с сетью и его подключение к сети, это выражено переходным процессом (ПП) на обеих осциллограммах. В момент времени  $t_2=0,3$ с. произошло замыкание трех фаз на землю, на рис.3а это выражено характерным увеличением токов в фазах, а на рис.5б в период повреждения инвертор отключился от сети. После изолирования поврежденной линии  $t_3=0,35$  (рис. 1, Л1) и повторной синхронизации инвертора ( $t_4$ ), ДИЭ был снова подключен к сети. Защита изолирует поврежденную линию отключив выключатели В1 и В2, и восстановила связь участка Microgrid с сетью СН через кольцевой выключатель (КВ). При внешнем повреждении, на стороне СН, Microgrid действием РЗ отключается от сети СН (отключение ГВ) и переходит в автономный режим работы.

Физическая реализация системы защит на основе электронных интеллектуальных устройств будет достигаться, основываясь на принципах минимальной стоимости и максимальной работоспособности. Существующие терминалы защит имеют очень высокую стоимость и не могут быть приобретены обычным потребителем, а энергоснабжающие компании не заинтересованы в больших капиталовложениях для модернизации существующих распределительных сетей. Примером для реализации интеллектуального контроля и управления в распределительной сети НН может стать продукция компании Siemens LOGO! или аналогичная. Такая продукция имеет относительно невысокую стоимость и широкий спектр возможностей [8].

**Выводы.** Рассмотрен вопрос моделирования интеллектуальной системы защит для сетей НН с ДИЭ. Создана математическая модель указанной сети в Matlab. Разработан ряд логических блоков, имитирующих работу защит и автоматики. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке концепции будущей системы защит для сетей подобного типа.

#### Список литературы

1. Каталог публікацій [Електронний ресурс]: Вибрані публікації / Валерій Вяткін – Електрон. дані. – © Valeriy Vyatkin, 2010. – «Smartgrid -больше чем smartgrid», Валерій Вяткін, Оклендський Університет, Нова Зеландія - Режим доступу: <http://www.vyatkin.org/publ/Vyatkin%20talk%20SmartGrid.pdf>
2. Матеріали офіційного документу: R. H. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Meliopoulos, R. Yinger and J. Eto, “The CERTS Microgrid Concept,” White paper for Transmission Reliability Program, Office of Power Technologies, U.S. Department of Energy, 2001.
3. Матеріали наук. конф. I. Vechiu, A. Llarria, O. Curea, H. Camblong, “Control of Power Converters for Microgrids,” March 26-29, Ecologic Vehicles-Renewable Energies, Monaco, 2009.

4. Матеріали наук.-техн. конф. А. В. Левшов, А. Ю. Федоров, А. В. Молодиченко, «Математическое моделирование фотоэлектрических солнечных элементов», 12-14 травня 2011р., м. Святогірськ, Наукові праці «ДонНТУ», Серія «Електротехніка і енергетика» Випуск 11(186), ISSN 2074-2630, Донецьк, 2011. – С. 246-249.
5. Матеріали наук.-техн. конф. А. В. Левшов, А. Ю. Федоров «О математическом моделировании фотоэлектрических модулей», 21-24 травня 2013р., м. Донецьк, Наукові праці «ДонНТУ», Серія «Електротехніка і енергетика» Випуск 1(14), ISSN 2074-2630, Донецьк, 2013. – С. 153-158.
6. Матеріали наук.-техн. конф. А. Fedorov, C. Hübner, C. Diedrich, A. Levshov, «Untersuchung von Fehlerszenarien in elektrischen Verteilnetzen mit hohem Anteil dezentraler Einspeisung», 25-26 September 2013, Magdeburg Maschinenbau-Tage: Effizienz, Präzision, Qualität, OVGU ISBN 978-3-940961-90-7, Magdeburg, 2013.
7. Матеріали офіційного документу: Alexandre Oudalov, Antonio Fidigatti, Thomas Degner, etc. «Novel protection systems for microgrids», Final Version, Partial Report – Switzerland, 2009. – 168 p.
8. Матеріали офіційного документу: «Руководство LOGO! Справочник по аппарату», Siemens, 03.2009. – 302 с.

**A. Fedorov**

**Donetsk National Technical University**

### **SIMULATION OF PROTECTION IN THE LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK WITH DECENTRALIZED ENERGY SOURCES**

*The aim is to reflect the perspective of low voltage networks (LV) in connection with the introduction of their decentralized energy resources (DER), which creates the need for better protection, automation and control in these networks. For this simulation model was created LV network with the DER (PV system) in the software package Matlab. Was created a number of models simulating the function of protections and automation. On the basis of the created models were investigated various stationary and transient conditions of the network, which allowed to verify the adequacy of protection units, automation and network as a whole.*

1. Catalog of publications [Electronic resource]: Selected Publications / Valeriy Vyatkin – Electronic data. – © Valeriy Vyatkin, 2010. – «Smartgrid - more than Smartgrid», Valeriy Vyatkin, University of Auckland, New Zealand - Access: <http://www.vyatkin.org/publ/Vyatkin%20talk%20SmartGrid.pdf>
2. Materials of official document: R. H. Lasseter, A. Akhil, C. Marnay, J. Stephens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Meliopoulos, R. Yinger and J. Eto, “The CERTS Microgrid Concept,” White paper for Transmission Reliability Program, Office of Power Technologies, U.S. Department of Energy, 2001.
3. Materials of scientific-technical. conf.: I. Vechiu, A. Llarria, O. Curea, H. Camblong, “Control of Power Converters for Microgrids,” March 26-29, Ecologic Vehicles-Renewable Energies, Monaco, 2009.
4. Materials of scientific-technical. conf.: A. Levshov, A. Fedorov, A. Molodichenko, "Mathematical modeling of photovoltaic solar cells," 12-14 May 2011, Svyatogirsk, Proceedings "DonNTU", "Electrical and Energy » Issue 11(186), ISSN 2074-2630, Donetsk, 2011. – p. 246-249.
5. Materials of scientific-technical. conf.: A. Levshov, A. Fedorov « Mathematical modeling of photovoltaic modules », 21-24 May 2013, Donetsk, Proceedings "DonNTU", «Electrical and Energy» Issue 1(14), ISSN 2074-2630, Donetsk, 2013. – p. 153-158.
6. Materials of scientific-technical. conf.: A. Fedorov, C. Hübner, C. Diedrich, A. Levshov, «Untersuchung von Fehlerszenarien in elektrischen Verteilnetzen mit hohem Anteil dezentraler Einspeisung», 25-26 September 2013, Magdeburg Maschinenbau-Tage: Effizienz, Präzision, Qualität, OVGU ISBN 978-3-940961-90-7, Magdeburg, 2013.
7. Materials of official document: Alexandre Oudalov, Antonio Fidigatti, Thomas Degner, etc. «Novel protection systems for microgrids», Final Version, Partial Report – Switzerland, 2009. – 168 p.
8. Materials of official document: «Guide LOGO! Reference unit», Siemens, 03.2009. – 302 p.

УДК 621.316.925 (923.2)

**А. Ю. Федоров**

**Донецький національний технічний університет**

### **МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХИСТУ В РОЗПОДІЛЬЧІЙ МЕРЕЖІ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ З ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИМИ ДЖРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

*Метою є відображення проблематики мереж низької напруги (НН) у зв'язку з впровадженням до них децентралізованих джерел енергії (ДДЕ), що створює необхідність підвищити якість захисту, автоматики і контролю в цих мережах. Для цього була створена імітаційна модель мережі НН з ДДЕ (фотоелектрична система) в програмному пакеті Matlab. Розроблено ряд моделей, які імітують роботу захисту і автоматики. На базі створених моделей досліджено різноманітні сталі та перехідні режими роботи мережі, які дозволили перевірити адекватність роботи блоків захисту, автоматики і мережі в цілому.*