

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.316.11

В. А. Иваницкий, кандидат технических наук, доцент;
М. Е. Тюленёв, доцент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Описывается Simulink-модель для исследования процессов, протекающих в сети электроснабжения при однофазных замыканиях на землю. Представлены результаты моделирования замыканий на землю для сети 6 кВ с изолированной и компенсированной нейтралью. Модель позволяет осуществлять поиск обоснованных настроек для дугогасящих реакторов и устройств релейной защиты. На основании полученных результатов формулируются требования к устройствам компенсации токов однофазного замыкания на землю.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, дугогасящий реактор, изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль, релейная защита, моделирование

Наиболее распространенной причиной аварийных ситуаций в распределительных сетях среднего напряжения (6–10 кВ) является пробой изоляции одной из фаз на землю. В зависимости от величины и длительности протекания тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) процесс может развиваться либо с переходом в многофазные замыкания с последующим отключением участка сети, либо при успешной локализации замыкания с сохранением работоспособного режима электроснабжения. В связи с этим для энергетических служб крупных промышленных предприятий актуальной является задача контроля величины тока ОЗЗ и построения селективной релейной защиты. В соответствии с пунктом 2.8.13 Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей в сетях напряжением 6–35 кВ должна

осуществляться компенсация токов ОЗЗ, если он превышает установленные пределы. Следует обратить внимание, что при компенсации токов ОЗЗ существенно изменяются принципы построения релейной защиты от однофазных замыканий на землю. Определение наиболее благоприятных условий эксплуатации электрических сетей является сложной и многофакторной задачей. Причем ценой неправильно принятого решения иногда может быть значительный ущерб [1]. Поиск решений может быть реализован эффективно и совершенно безопасно посредством моделирования режимов работы анализируемой сети.

На рис. 1 приведена Simulink-модель [2] для расчета переходных и установившихся режимов сети электроснабжения при ОЗЗ.

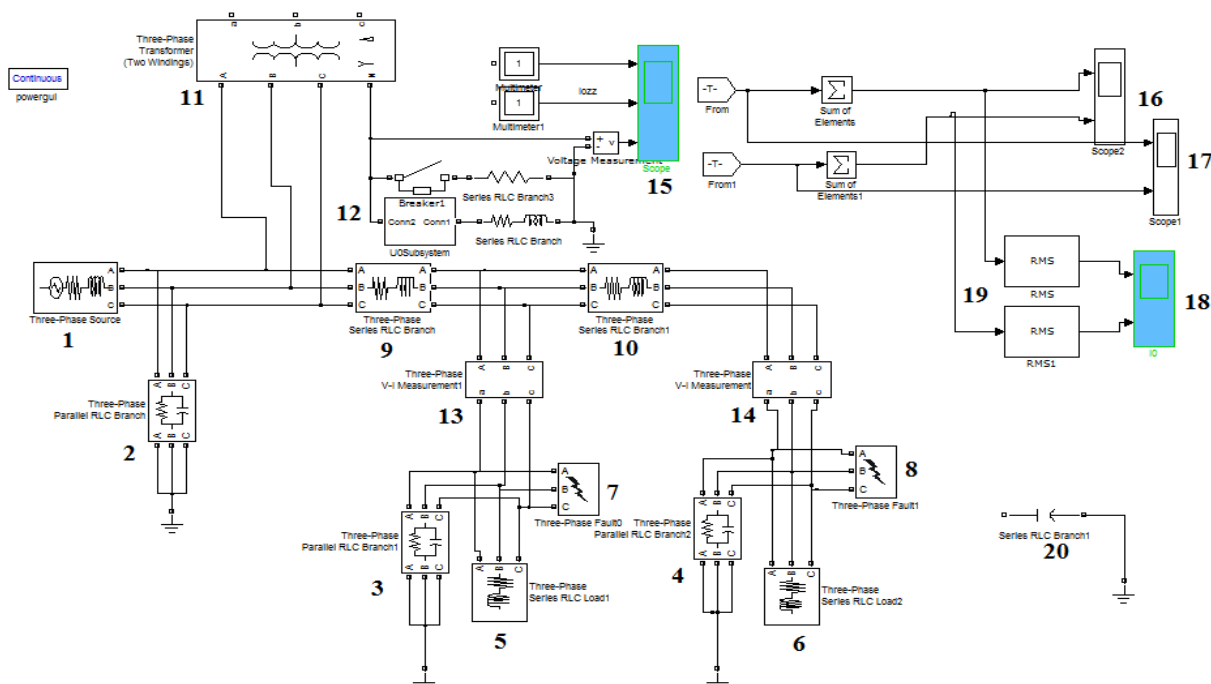


Рис. 1. Simulink-модель для расчета переходных и установившихся режимов сети электроснабжения при ОЗЗ

В модели использованы следующие блоки:

1 – трехфазный источник с изолированной нейтралью;

2, 3, 4 – RC ветви для интерпретации токов утечки отдельных участков сети;

5, 6 – эквивалентная статическая нагрузка узлов сети;

7, 8 – блоки, интерпретирующие короткие замыкания в сети (в рассматриваемых примерах осуществляется ОЗЗ фазы «С» в блоке 6);

9, 10 – блоки R-L сопротивлений, учитывающих параметры кабельных или воздушных линий;

11 – высоковольтный трансформатор с первичной обмоткой, включенной по схеме «звезда» с выведенной нейтральной точкой – служит для выделения нейтрали в сети электроснабжения;

12 – цепи заземления нейтрали, включающие дугогасящий реактор (R-L) для компенсации тока ОЗЗ, шунтирующий резистор с выключателем, выполняющий вспомогательные функции (описанные ниже), подсистема, моделирующая инвертор для компенсации остаточного тока ОЗЗ или искусственного смещения нейтрали, и блок измерения напряжения смещения нейтрали; при отсутствии компенсации тока ОЗЗ (изолированная нейтраль) элементы цепи 12 просто удаляются;

13, 14 – блоки измерения электрических параметров в соответствующих узлах нагрузки; измеренные величины через порты From передаются на осциллографы 16, 17, 18;

15 – осциллограф, отображающий мгновенные значения тока ОЗЗ, тока дугогасящего реактора (ДГР) и напряжения смещения нейтрали;

19 – блоки вычисления действующих значений (RMS);

20 – дополнительный конденсатор, используемый обычно для искусственного смещения нейтрали (например, при измерениях).

Представленную модель можно назвать простой, поскольку ее сборка в среде Simulink не требует значительных временных затрат. Но при этом получаемые результаты расчетов наглядно и, самое главное, адекватно отражают процессы, сопровождающие ОЗЗ. При желании степень детализации схемы электроснабжения может быть повышена достаточно быстро. Модель не требовательна к вычислительным ресурсам.

В рассматриваемом примере схема электроснабжения моделируется тремя эквивалентными емкостями участков сети 5, 8 и 2 мкФ (соответственно блоки 2, 3 и 4). Суммарная емкость сети $C_{\Sigma} = 5 + 8 + 2 = 15$ мкФ.

Формула, определяющая величину тока ОЗЗ, имеет вид:

$$I_c = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C_{\Sigma} \cdot U_{\text{ном}}.$$

Таким образом, полный ток ОЗЗ для нашего примера составляет 51,4 А (при напряжении сети 6300 В и угловой частоте 314 с^{-1}). На рис. 2 приведены временные диаграммы тока глухого металлического ОЗЗ и напряжения смещения нейтрали при отсутствии компенсации (без ДГР).

Как видно из диаграмм, в начальный момент времени 0,2 с возникает высокочастотный процесс перезаряда емкостей сети, завершающийся достаточно быстро установившимся током на уровне расчетного и напряжением смещения нейтрали, равным фазному напряжению сети. Напряжения фаз сети по отношению к заземляющим конструкциям при этом перераспределяются: в замкнутой фазе до нулевого значения, а в других – до линейного напряжения сети.

Однако чаще при ОЗЗ возникает дуга, свойства которой надо учитывать. То есть при переходе тока ОЗЗ через нуль дуга может погаснуть, а при достижении напряжения пробоя снова загореться. На рис. 3 приведен переходный процесс, обусловленный двумя последовательными пробоями изоляции (ОЗЗ).

Как следует из иллюстрации, наложение переходных процессов может приводить к увеличению амплитуды колебаний. В итоге эскалация перенапряжений приводит к пробоям других фаз и невозможности дальнейшего обеспечения электроснабжения.

Применение компенсации токов ОЗЗ не только уменьшает величину тока, протекающего в месте пробоя, но и ограничивает перенапряжения. Для сравнения на рис. 4 приведен аналогичный режим при включенном ДГР. На рис. 5 приведены временные диаграммы при установившемся ОЗЗ и резонансной настройке реактора. Результатом компенсации является уменьшение величины тока ОЗЗ до уровня 6 А амплитудного значения. А значит, снижение теплового эффекта в месте пробоя и вероятности перерастания аварии в междуфазное короткое замыкание. Поэтому большое значение имеет вопрос автоматизации быстрой и точной настройки реактора. Однако ДГР компенсирует только реактивную составляющую токов утечки сети и при этом вносит в цепь ОЗЗ свою активную составляющую.

Современное оборудование для компенсации токов ОЗЗ предусматривает также включение в цепь реактора инвертора, выполняющего функцию компенсации остаточного тока ОЗЗ, в том числе и активной составляющей. Сопутствующей задачей при реализации компенсации токов ОЗЗ является построение селективной релейной защиты. В сетях с изолированной нейтралью (без компенсации) в поврежденном присоединении ток нулевой последовательности определяется суммированием токов утечки смежных присоединений и достаточно легко локализуется посредством максимально токовой защиты. При компенсации токов ОЗЗ в поврежденном присоединении ток нулевой последовательности зачастую оказывается наименьшим (при резонансной настройке ДГР) или, по крайней мере, очень небольшим. При этом принцип максимально токовой защиты оказывается несостоятельным. Поиск повреждений с помощью поочередных отключений до выявления аварийного присоединения занимает достаточно много времени и не всегда согласуется с потребностями технологического процесса.

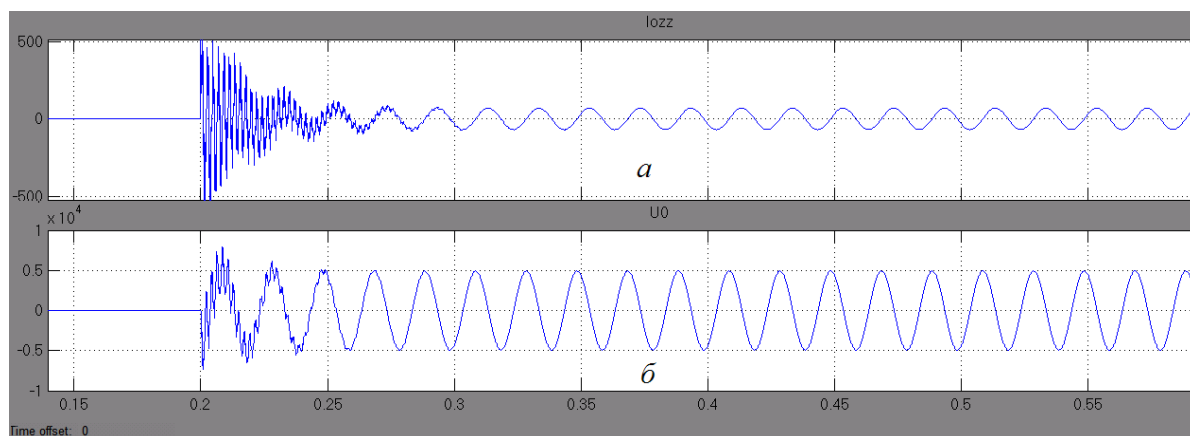


Рис. 2. Временные диаграммы тока ОЗЗ (а) и напряжения смещения нейтрали (б) при отсутствии компенсации

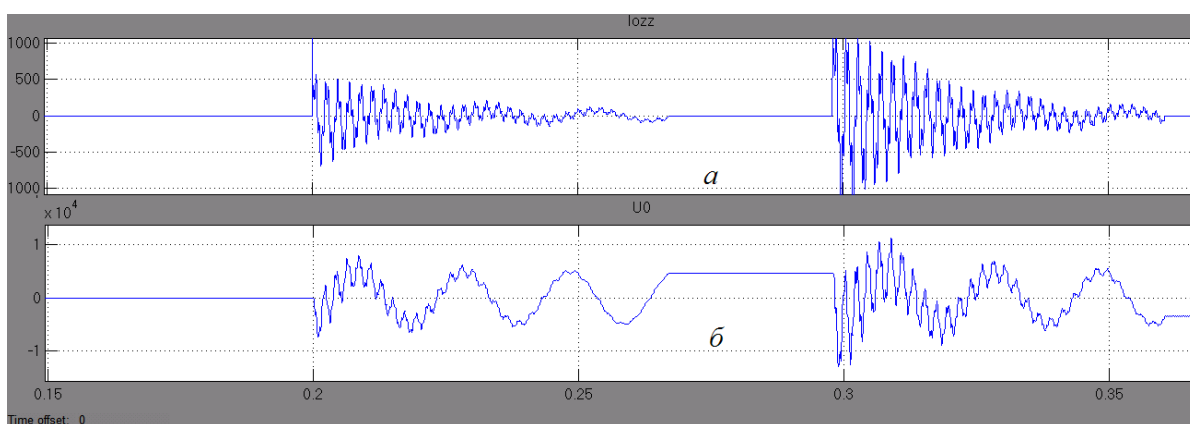


Рис. 3. Временные диаграммы тока ОЗЗ (а) и напряжения смещения нейтрали (б) при двух последовательных ОЗЗ и отсутствии компенсации

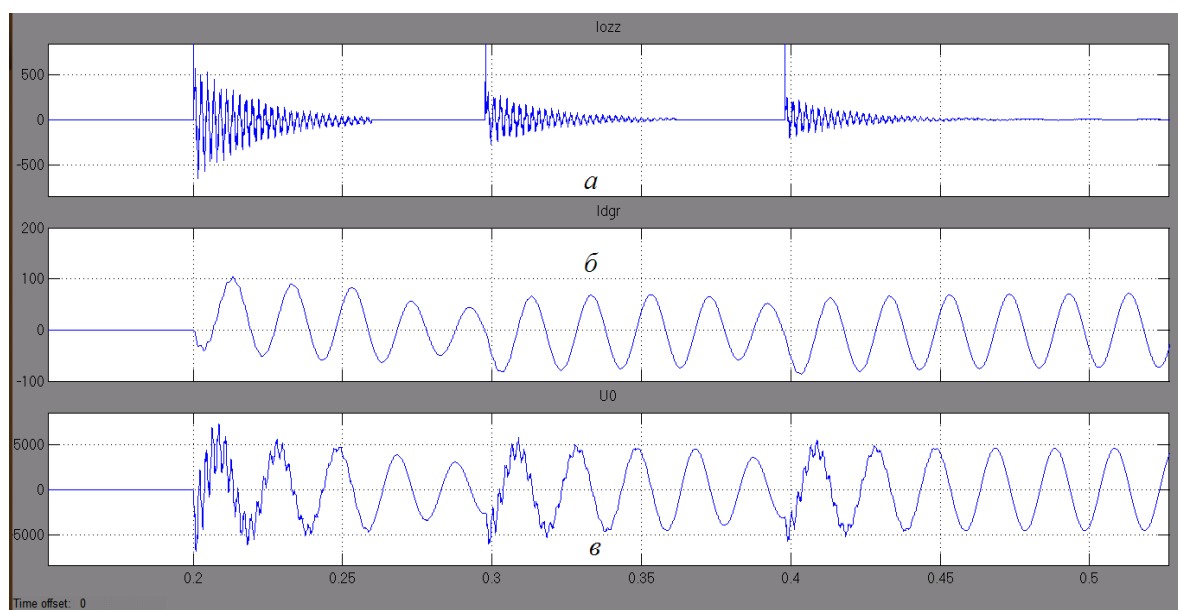


Рис. 4. Временные диаграммы тока ОЗЗ (а), тока реактора (б) и напряжения смещения нейтрали (в) при трех последовательных ОЗЗ и включенном ДГР

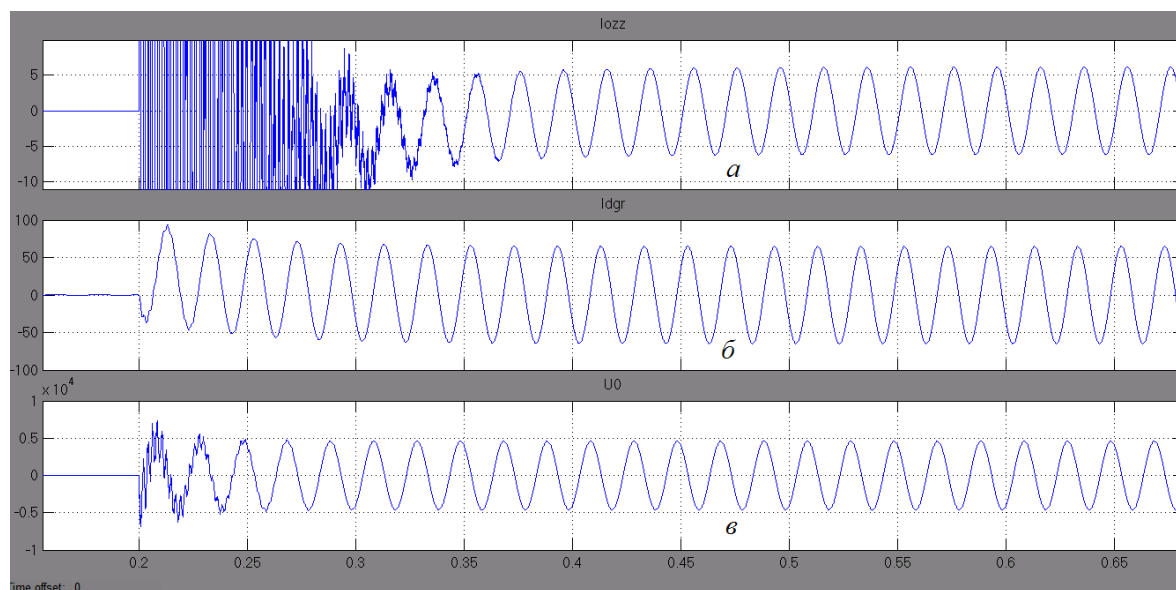


Рис. 5. Временные диаграммы тока ОЗЗ (а), тока реактора (б) и напряжения смещения нейтрали (в) при резонансной настройке ДГР

В настоящее время предлагается несколько весьма эффективных и хорошо апробированных методов локализации ОЗЗ. Например, для повышения чувствительности токовых защит нулевой последовательности и обеспечения селективного отключения в цепь заземления нейтрали кратковременно подключается дополнительный резистор. Подключение у различных производителей осуществляется либо непосредственно в цепь высокого напряжения па-

раллельно ДГР, либо через дополнительную низковольтную обмотку реактора, что является более экономичным, но не менее эффективным решением.

На рис. 6 приведены временные диаграммы действующих значений токов нулевой последовательности аварийного (с ОЗЗ) и исправного присоединений при кратковременном включении резистора в цепь заземления нейтрали.

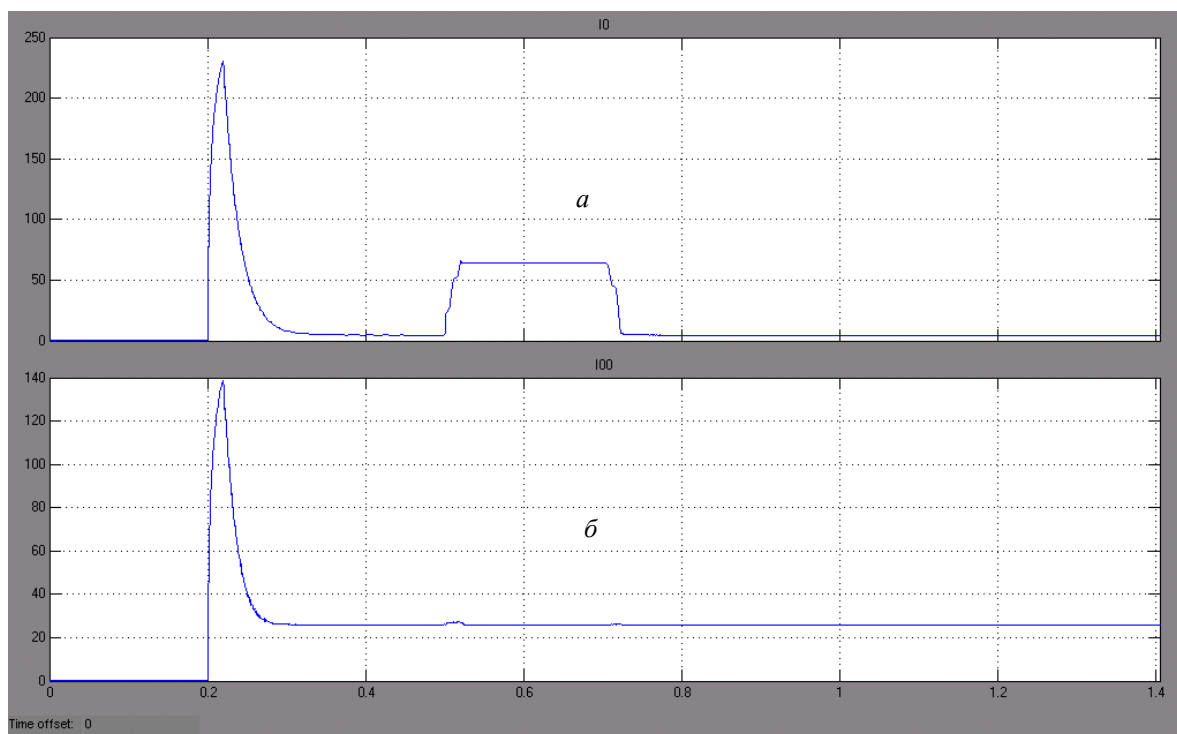


Рис. 6. Временные диаграммы действующих значений токов нулевой последовательности в поврежденной (а) и исправной (б) линиях при подключении резистора в цепи заземления нейтрали

Начальные броски токов обусловлены высоко-частотными составляющими и на время их действия, чтобы исключить ложные срабатывания, применяется временная задержка. Последующий импульс тока обусловлен принудительным подключением резистора. Причем увеличение тока происходит именно в поврежденной линии и именно в поврежденной фазе. Таким образом, способ обеспечивает однозначную локализацию повреждения. Согласование тока по величине и по длительности является нетрудной задачей, эффективно решаемой, например, с применением предлагаемой модели. Другой эффективный алгоритм защит от ОЗЗ построен на вычислении проводимости нулевой последовательности для всех отходящих присоединений. Дело заключается в том, что в неповрежденных линиях ток и напряжение нулевой последовательности сохраняют свою пропорциональность и только в линии, в которой произошло ОЗЗ, пропорциональность нарушается. Метод легко реализуется в микропроцессорных защитах.

Выводы:

1. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что для снижения вероятности развития ОЗЗ в многофазные замыкания необходима точная

компенсация тока короткого замыкания. Настройка ДГР должна осуществляться в автоматическом режиме с максимально возможным быстродействием. Полезной также является компенсация остаточного тока ОЗЗ.

2. Для построения защит от ОЗЗ в сетях с компенсированной нейтралью должны применяться алгоритмы, отличные от применяемых в сетях с изолированной нейтралью.

3. Для принятия решения по настройке ДГР и релейной защиты эффективным средством может служить моделирование возможных вариантов. Модель может быть полезной на стадии предпроектных работ, при проектировании, в процессе монтажа и наладки оборудования и при эксплуатации.

Библиографические ссылки

1. Иваницкий В. А., Тюленёв М. Е. Моделирование перенапряжений в сетях электроснабжения с изолированной нейтралью // Наука – производству. – 2006. – № 1. – С. 43–44.

2. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.

V. A. Ivanitskiy, PhD in Engineering, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University

M. E. Tyuleniyov, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University

Model for analysis of single-phase ground faults in power supply grids

The article describes the Simulink-model for the study of processes of single-phase ground faults in the power supply grids. There are simulation results for ground faults in the circuit 6 kV with isolated or compensated neutral. The model allows searching the based settings for arc suppression coils and relay protection units. The results of modeling formulate requirements for devices which compensate currents of single-phase ground fault.

Keywords: single-phase ground fault, arc suppression coil, insulated neutral, compensated neutral, relay protection, modeling

Получено: 08.11.2013

УДК 662.76(045)

Е. М. Кашин, аспирант;

В. Н. Диденко, доктор технических наук, профессор

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

АКТИВНЫЕ ЗОНЫ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ТВЕРДОГО ТОПЛИВА РОТОРНОГО ТИПА

Представлен обзор газогенератора роторного типа с вращающимися активными зонами, применяемого для газификации твердого органического топлива. Анализируются недостатки и основы протекания процессов в классических газогенераторах, а также в газогенераторе роторного типа. Рассматриваются особенности расположения топлива по активным зонам газогенератора.

Ключевые слова: газификация, газогенератор, пиролиз, окисление, восстановление

Рост цен на углеводородные топлива в 1970-х гг. привел к возобновлению интереса к технологиям газификации дерева. Необходимость развития данного направления обуславливается повышением энергетических потребностей человечества, с одной стороны, и осознанием конечной истощенности запасов ископаемых топлив – с другой. Также существуют и экологические проблемы, обусловленные ростом числа энергетических установок. Поэтому

замена невозобновляемого топлива возобновляемым становится в настоящее время весьма актуальным вопросом. Одним из источников альтернативной энергии является генераторный газ, вырабатываемый устройствами, называемыми газогенераторами. Для газогенераторов прямого процесса газификации генераторный газ имеет следующий состав:

– негорючая часть: углекислый газ CO_2 – 5,75 %; кислород O_2 – 0,2 %; азот N_2 – 50,7 %;