

Национальный технический университет
Украины
"Киевский политехнический институт"

На правах рукописи
УДК 621.316.932

Хассани Лотфи
(Марокко)

Совершенствование шунтирования
однофазного замыкания на землю в
распределительных сетях 6 - 35 кВ

Специальность 05.14.12 Техника высоких напряжений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1997

69

ДВ 36, 779

Диссертация является рукописью

Работа выполнена на кафедре

ЛННБ України ім.В.Стефаніка

Харьковского государственного



00760920 (0)

Научный руководитель - кандидат

профессор В.И.Гуль

Официальные оппоненты - доктор технических наук,

профессор В.Я. Синельников

- кандидат технических наук

Ю.Я. Рыбальченко

Ведущая организация

- Государственный украинский НИИ по проектированию электрических систем и электрических сетей

"Укрэнергосетьпроект"

Защита диссертации состоится "___" февраля 1997 г.

в ___ часов на заседании специализированного Совета К 01.02.19 в Национальном техническом университете Украины "КПИ" (корпус N 20, ауд. N___).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 252056, г. Киев - 56, пр. Победы, 37, НТУУ "КПИ", Ученому секретарю.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального технического университета Украины "КПИ".

Автореферат разослан "___" января 1997 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

к.т.н., профессор

Б.Н.Кондра

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Протяженность распределительных электрических сетей высокого напряжения (РСВН) в Марокко составляет примерно 70% общей протяженности высоковольтных сетей. Большая часть РСВН размещается на территории городов, типичным является кабельная сеть в центральной части города и воздушные линии на периферии. Нейтраль РСВН с номинальным напряжением 12,5 кВ и 22 кВ заземлена в центре питания (ЦП) через низкоомный резистор. Эксплуатация наблюдает частую работу выключателей сети, что снижает качество электроснабжения. С целью повышения эффективности эксплуатации автор предлагает использовать положительный опыт, накопленный в СНГ, по разземлению нейтрали РСВН и введению в сеть устройства защитного шунтирования (ЗШ) дефектной фазы при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ). При этом достигается, в частности, восстановление симметрии электрической нагрузки на изоляцию сети, ограничение перенапряжений при ОЗЗ примерно до линейного напряжения сети, снижение числа двухфазных замыканий через землю. Первично предложение автора обсуждалось в Office national de l'Electricite (Касабланка) и получило принципиальное одобрение. В известных устройствах ЗШ основным элементом является трехфазная группа однополюсных выключателей с номинальным напряжением РСВН; такую группу выключателей можно получить либо в результате переделки серийного трехфазного выключателя, либо путем специальной разработки (тиристорная схема). Для Марокко характерно применение фирменных (заводских) электрических аппаратов высокого напряжения без переделок на месте. Отсутствие на рынке однофазных выключателей для РСВН позволило автору поставить вопрос о разработке устройств ЗШ без высоковольтных выключателей. При таком подходе задача исследования и разработки более эффективного в применении устройства автоматического повторного заземления дефектной фазы (АПЗФ) РСВН для условий Марокко является актуальной и своевременной. Положительные результаты этой работы могут оказаться полезными и для других стран.

Цель работы. Целью работы является повышение надежности и безопасности функционирования РСВН с воздушными (ВЛ) и кабельными (КЛ) линиями и с изолированной или компенсированной нейтралью за счет ограничения времени горения открытой электрической дуги. Поставленная цель потребовала решения следующих задач:

ЛНБ ім. В. Г. Плехань
АН України

1. Проанализировать состояние вопроса об особенностях режима однофазного замыкания на землю ОЗЗ в РСВН и определить целесообразные направления исследования возможностей ограничения последствий ОЗЗ в сетях определенного типа, в частности с изолированной нейтралью и с участками ВЛ и КЛ среднестатистических длин.

2. Показать эффективность АПЗФ в РСВН с изолированной нейтралью для восстановления симметрии электрической нагрузки изоляции фаз сети при ликвидации дуговых форм ОЗЗ вследствие атмосферных перенапряжений как средства грозозащиты сетей с железобетонными опорами.

3. Предложить вариант принципиального решения устройства АПЗФ с улучшенными против известных решений техническими параметрами за счет использования при шунтировании электромагнитной связи и исключения коммутаторов высоковольтного исполнения.

4. Разработать методику расчета режима РСВН при двухместном замыкании дефектной фазы на разных напряжениях, т.е. непосредственно через дугу на землю и на вторичной стороне добавочного трансформатора (ДТ), с учетом частичного ограничения тока ОЗЗ индуктивностью ДТ.

Автор защищает:

1. Математическую модель для исследования квазиустановившегося режима в сети с изолированной нейтралью при одноместном замыкании на землю и повторном замыкании этой же фазы на землю на вторичной стороне добавочного трансформатора.

2. Результаты исследования влияния режима нейтрали и параметров добавочного трансформатора на условия надежного самораспада дуги однофазного замыкания на землю.

3. Методику выбора основных параметров элементов устройства АПЗФ в сети с заданными характеристиками и с учетом сопротивления электрической дуги в месте замыкания, а также схемные решения системы управления и сигнализации АПЗФ.

Методы исследований. Методологическую основу диссертационной работы составляет теория электрических цепей и метод симметричных составляющих для анализа неустановившегося процесса, теория атмосферных перенапряжений на линиях электропередачи, теория подобия и моделирования.

Научная новизна исследований состоит в следующем:

1. Разработан ряд математических моделей, с помощью которых установлена возможность ограничения квазиустановившегося тока в месте одно-

фазного замыкания на землю в распределительной сети высокого напряжения с изолированной нейтралью при повторном замыкании дефектной фазы на вторичном, низшем, напряжении добавочного трансформатора;

2. Разработана методика выбора близких к оптимальным параметров элементов АПЗФ с ДТ при выполнении достаточных условий распада открытой дуги в месте ОЗЗ по значениям критического тока в дуге и восстанавливающегося напряжения между опорными точками дуги;

3. Установлено, что использование ДТ для устройства АПЗФ дает эффект частичной компенсации емкостного тока однофазного замыкания на землю и исключает введение в схему АПЗФ специальных токоограничивающих элементов для режима двухфазного короткого замыкания;

4. Разработана и применена методика учета (итерационным и графоаналитическим методом) вольт-амперной характеристики (ВАХ) дуги замыкания при расчетах режимов электрической сети с однофазной несимметрией;

5. Показана возможность снижения требований к величине сопротивления заземления опоры распределительной сети по условиям перехода однофазного дугового замыкания от индуктированного перенапряжения в двухфазное дуговое КЗ по этой опоре.

Практическая ценность работы. Теоретические положения, сформулированные в работе в виде математических моделей режимов трехфазной сети при однофазной несимметрии с повторным замыканием дефектной фазы через электромагнитную связь на землю, доведены до алгоритмов и программ выбора основных параметров устройства повторного замыкания при задании характеристик сети и степени токоограничения в дуге первичного замыкания. Опыт расчетов и использования методики определения эффективности устройства АПЗФ позволил получить решение для конкретной сети, в частности, города Таурирт (Марокко). Полученное решение по устройству АПЗФ рекомендовано к реализации в диапазоне токов однофазного замыкания от 2А до 15А в сетях $U_n = 12,5$ кВ. Разработки использованы в учебном процессе.

Реализация результатов работы. Основные результаты работы и методика выбора параметров элементов схемы АПЗФ с добавочным трансформатором доложены 08.09.1995г. в Office national de l'Electricite (Касабланка, Марокко) и получено принципиальное одобрение с рекомендацией техни-

ческой доработки для конкретной сети и последующего предметного рассмотрения. Результаты работы используются в дипломном проектировании.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ХГПУ в 1993, 1994 и 1995 гг., а так же на секции международных конференций 1994 - 1995 г.

Публикации. Результаты диссертационной работы освещены в пяти публикациях с общим объемом 57 стр.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 45 наименований и 4 приложений. Основной текст содержит 136 страниц машинописного текста, иллюстрированного 37 рисунками и 16 таблицами.

Введение содержит результаты анализа современного состояния проблемы, определение цели и задач исследований, а также достигаемые показатели научной новизны и практической ценности диссертационной работы.

В первой главе рассмотрен на основе анализа литературных источников круг вопросов о принципе повторного замыкания (на землю) дефектной фазы в сетях с малыми токами замыкания на землю, об эффективности этого замыкания с точки зрения ограничения перенапряжений, улучшения электробезопасности и др. Сформулированы основные проблемы реализаций устройств АПЗФ и намечены пути их решения.

Во второй главе сформулировано предложение по организации повторного замыкания на землю дефектной фазы через электромагнитную связь, путем замыкания на стороне низшего напряжения ДТ. Исследована методика расчета режима сети при таком повторном замыкании и принцип оптимизации параметров устройства шунтирования в конкретной сети.

В третьей главе обоснован выбор критериев оценки эффективности повторного шунтирования. В качестве основных критериев приняты условия самораспада без повторного зажигания открытой электрической дуги ОЗЗ в распределительной сети на стороне высшего напряжения, ограничение квазиустановившихся напряжений "здоровых" фаз на уровне $U_{\text{фи}}$. Рассмотрены требования к величине сопротивления заземления искусственной нейтрали сети (нейтрали добавочного трансформатора) по условию демпфирования кратковременного переходного процесса при возникновении ОЗЗ.

В четвертой главе рассмотрены вопросы оценки ожидаемого числа ОЗЗ на ВЛ РСВН вследствие индуцированных атмосферных перенапряжений. Определены необходимые параметры устройства шунтирования, частично оптимизированные для данной сети. Рассмотрен пример для сети г. Тауирт, Марокко.

Заключение содержит основные выводы, предложения и результаты диссертационной работы.

Основное содержание работы

РСВН 6-35 кВ выполняет важную функцию как элемент системы электроснабжения. Согласно усредненным статическим оценкам, отказы в таких сетях распределяются следующим образом: результаты старения элементов сети - до 25%; недоработки сооружения и эксплуатации - до 30%; посторонние воздействия, в том числе и атмосферные - до 20%; другие причины - 25%. По данным наблюдений ОЗЗ в РСВН составляют не менее 75% общего числа замыканий. Изоляция нейтрали сети относительно земли делает допустимым в течение некоторого времени существование связи фазы с землей, однако при этом возрастает электрическая нагрузка на изоляцию "здоровых" фаз и становится более вероятным появление аварийного двухфазного замыкания через землю. ОЗЗ может быть кратковременным, т.е. без протекания квазиустановившегося сопровождающего тока с устойчивым характером или с перемежающейся дугой. В месте ОЗЗ ухудшаются условия электробезопасности, может развиваться пожар. Ограничить нежелательные последствия ОЗЗ возможно путем значительного уменьшения тока однофазного замыкания на землю $I_{OЗЗ}$. Замыкание через открытую электрическую дугу, что характерно для перекрытий изоляции воздушных линий электропередачи, при ограничении $I_{OЗЗ}$ до уровня $I_{кр}$, самоликвидируется и восстанавливается симметрия изоляции. Повторное замыкание в том же месте сети в данный момент времени не произойдет, если восстанавливающееся напряжение $U_{вос}$ между опорными точками дуги окажется меньше восстанавливающейся электрической прочности по пути перекрытия (напряжение квазиустойчивости изоляции $U_{кр}$). Таким образом, для восстановления симметрии изоляции после ОЗЗ следует создать условия:

$$I_{OЗЗ} < I_{кр}; U_{вос} < U_{кр}. \quad (1)$$

Известно (проф. Л.И.Сиротинский, и др.), что ток $I_{кр}$ находится в определенном соотношении с током металлического замыкания в месте образования дуги и рассчитывается для активного характера такого тока I_3 как:

$$I_{кр} = 0,2 I_3. \quad (2)$$

Реактивный ток $I_{кр}$ увеличивается против тока по (2). Напряжение $U_{кр}$ как пик гашения, согласно данным экспериментов (Н.Н.Беляков), для сетей 6-10 кВ составляет:

$$U_{кр} = (0,23 - 0,37) U_{\phi}. \quad (3)$$

Ограничение тока $I_{озз}$ достигается несколькими путями: заземлением нейтрали сети через настраиваемую индуктивность (например, через дугогасящие катушки), при ТАПВ линии и путем повторного (защитного) искусственного шунтирования дефектной фазы на землю. Следует отметить, что в странах т.н. дальнего зарубежья сети с катушками в нейтрали сетевых трансформаторов в настоящее время не находят применения (Е.Ф.Цапенко и др.). Использование трехфазного АПВ как реакции на появление $I_{озз}$ в сети с малым током замыкания и возникающий при этом перерыв электроснабжения следует признать неадекватным ситуации. По литературным данным, еще с 20-х годов в Европе и Америке для ограничения перенапряжений дуговых замыканий на землю применяли устройства в виде специальных выключателей между фазным проводом и землей. Отмечается, что при дуговом ОЗЗ дефектной фазы выключатель шунтирует дугу и гасит ее, в последующем контакты выключателя через специальное сопротивление $R_{отр}$ размыкаются и восстанавливается исходный режим сети. Вопросы применения устройств защитного шунтирования в наше время обстоятельно рассматривались в работах И.М.Сироты, В.В.Назарова, В.И.Щуцкого, В.Г.Сантоцкого и др. Многочисленные работы посвящены совершенствованию схем автоматического управления защитным шунтированием и исполнению пофазно управляемых выключателей, рассчитанных на номинальное напряжение распределительной сети, а также сочетания такого шунтирования с другими средствами повышения эксплуатационных показателей сети, выбору параметров резисторов $R_{отр}$ по условию ограничения тока двухфазного замыкания и др.

В настоящей работе исследовано новое решение защитного шунтирования, а именно - замыкание дефектной фазы через регулируемую электромагнитную связь с землей (см. рис. 1, рис. 2). Сеть имеет итоговые поперечные

параметры на землю (емкость фазы C_0 и сопротивление утечки изоляции $R_{утCo}$) и междуфазные ($C_{мф}$, $R_{утмф}$). В схему введен добавочный трансформатор ДТ с точкой нейтрали, заземляемой в общем случае через некоторое R_N . На вторичной стороне ДТ при появлении ОЗЗ автоматически замыкается низковольтный контактор (НВК) в соответствующей дефектной фазе. Отметим, что трансформатор ДТ по исполнению может быть трехфазными, но для пояснений удобно предположить ДТ в виде группы однофазных трансформаторов. При ОЗЗ в точке К1' через сопротивления R_d открытой дуги и R_3 заземления, например, опоры, под действием ЭДС с источника питания сети (трансформатор Т имеет соединение обмоток в треугольник) протекает суммарный ток от "здоровых" фаз. Естественно, величина этого тока невелика из-за ограничивающего действия сопротивлений цепи фаза-земля "здоровых" фаз. В случае, когда ДТ отсутствует, поперечная проводимость фазы определяется емкостью C_0 и резистором $R_{утCo}$; введение ДТ снижает поперечную проводимость за счет частичной компенсации сопротивления X_{C0} индуктивным сопротивлением холостого хода трансформатора ДТ. Ток замыкания $I_{озз}=I_a''$ (см. рис.2), т.к. часть I_a' суммы токов I_b+I_c идет по цепи дефектной фазы. Замыкание коммутатора в точке К2 резко снижает сопротивление первичной обмотки соответствующей фазы ДТ: в предельном состоянии мы имели бы переход от режима холостого хода к режиму короткого замыкания трансформатора. Происходит перераспределение токов I_a' и I_a'' , причем степень ограничения тока в цепи однофазного замыкания через дугу (ток I_a) зависит от таких параметров, как мощность трансформатора ДТ, сопротивление Z_m в цепи низковольтного коммутатора К и сопротивление заземления нейтрали R_N . Методика определения этих параметров с учетом требований (1), (2), (3) основана на расчетах режима сети с двухместным замыканием на землю. Расчетные схемы составлены для метода симметричных составляющих (рис.3 и 4).

Математическая модель процесса при замыкании, например в К1, описывается как:

$$\left. \begin{aligned} U_{KA0,1_{re}} + jU_{KA0,1_{lm}} + (I_{KA1,1_{re}} - jI_{KA1,1_{lm}}) \left\{ (R_d + R_{L0} + R_{30}) + j(X_{L0} + X_{30}) \right\} = 0; \\ - (U_{KA0,1_{re}} + jU_{KA0,1_{lm}}) - (U_{KA1,1_{re}} + jU_{KA1,1_{lm}}) + \\ (I_{KA1,1_{re}} - jI_{KA1,1_{lm}}) \left\{ (R_d + R_{L2} + R_{12}) + j(X_{L1} + X_{12}) \right\} = 0; \\ U_{KA1,1_{re}} + jU_{KA1,1_{lm}} + (I_{KA1,1_{re}} - jI_{KA1,1_{lm}}) \left\{ (R_d + R_{L1} + R_{11}) + j(X_{L1} + X_{11}) \right\} = \\ = U_{cp, \phi_{re}} + jU_{cp, \phi_{lm}}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Преобразования системы (4) приводят к выражениям:

$$\left. \begin{aligned} U_{K\lambda 0,1_{re}} + I_{K\lambda 1,1_{re}}(R_{\lambda} + R_{\lambda 0} + R_{\lambda 30}) + I_{K\lambda 1,1_{im}}(X_{\lambda 0} + X_{\lambda 30}) &= 0; \\ U_{K\lambda 0,1_{im}} + I_{K\lambda 1,1_{re}}(X_{\lambda 0} + X_{\lambda 30}) - I_{K\lambda 1,1_{im}}(R_{\lambda} + R_{\lambda 0} + R_{\lambda 30}) &= 0; \\ -U_{K\lambda 0,1_{re}} - U_{K\lambda 1,1_{re}} + I_{K\lambda 1,1_{re}}(R_{\lambda} + R_{\lambda 2} + R_{\lambda 32}) + I_{K\lambda 1,1_{im}}(X_{\lambda 2} + X_{\lambda 32}) &= 0; \\ -U_{K\lambda 0,1_{im}} - U_{K\lambda 1,1_{im}} + I_{K\lambda 1,1_{re}}(X_{\lambda 2} + X_{\lambda 32}) - I_{K\lambda 1,1_{im}}(R_{\lambda} + R_{\lambda 2} + R_{\lambda 32}) &= 0; \\ U_{K\lambda 1,1_{re}} + I_{K\lambda 1,1_{re}}(R_{\lambda} + R_{\lambda 1} + R_{\lambda 31}) + I_{K\lambda 1,1_{im}}(X_{\lambda 1} + X_{\lambda 31}) &= U_{cp,\phi Re}; \\ U_{K\lambda 1,1_{im}} + I_{K\lambda 1,1_{re}}(X_{\lambda 1} + X_{\lambda 31}) + I_{K\lambda 1,1_{im}}(R_{\lambda} + R_{\lambda 1} + R_{\lambda 31}) &= U_{cp,\phi Im}; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В матричной форме имеем:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & (R_{\lambda} + R_{\lambda 0} + R_{\lambda 30}) & (X_{\lambda 0} + X_{\lambda 30}) \\ 0 & 1 & 0 & 0 & (X_{\lambda 0} + X_{\lambda 30}) & -(R_{\lambda} + R_{\lambda 0} + R_{\lambda 30}) \\ -1 & 0 & -1 & 0 & (R_{\lambda} + R_{\lambda 2} + R_{\lambda 32}) & (X_{\lambda 2} + X_{\lambda 32}) \\ 0 & -1 & 0 & -1 & (X_{\lambda 2} + X_{\lambda 32}) & -(R_{\lambda} + R_{\lambda 2} + R_{\lambda 32}) \\ 0 & 0 & 1 & 0 & (R_{\lambda} + R_{\lambda 1} + R_{\lambda 31}) & (X_{\lambda 1} + X_{\lambda 31}) \\ 0 & 0 & 0 & 1 & (X_{\lambda 1} + X_{\lambda 31}) & -(R_{\lambda} + R_{\lambda 1} + R_{\lambda 31}) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_{K\lambda 0,1_{re}} \\ U_{K\lambda 0,1_{im}} \\ U_{K\lambda 1,1_{re}} \\ U_{K\lambda 1,1_{im}} \\ I_{K\lambda 1,1_{re}} \\ I_{K\lambda 1,1_{im}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_{cp,\phi Re} \\ U_{cp,\phi Im} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Обозначения в (4), (5) и (6) соответствуют рис. 2, рис. 3 и рис. 4.

В работе рассмотрен вопрос переходного режима в сети непосредственно после замыкания К1. Последовательное соединение схем отдельных последовательностей при одноместном замыкании на землю позволяет путем ряда преобразований определить параметры эквивалентного одночастотного контура; показано, что при заземлении нейтрали ДТ через $R_N \rightarrow 0$ демпфирование процесса делает последний аperiodическим. Сопротивление дуги R_d в соответствии с ее вольт-амперной характеристикой (ВАХ) имеет характер, показанный на рис.5 (кривая а); исследования В.В. Бургсдорфа, И.К.Федченко, О.С.Ильенко и др. позволяют принять:

$$R_d = 1.05 \cdot I_d \cdot I_d' \text{ Ом}, \quad (7)$$

где: I_d длина дуги, м; I_d' - действующее значение тока в дуге, кА.

Величина R_d при ОЗЗ в сети найдена итерационным методом. По варианту графоаналитического решения находим пересечение рассчитанной (кривая б, рис.5) для ряда задаваемых в сети сопротивлений R_d зависимости R_d от (I_d) и ВАХ дуги по выражению (7).

Рассмотрение ряда схем и условий электроснабжения городов Марокко позволило автору определить, как типичный, город со смешанной сетью: примерно 20-25 км составляет суммарная длина воздушных участков сети периферийной части города и 2-5 км кабельных участков полупетли распре-

сети напряжением 12,5 кВ. Воздушные линии хорошо экранированы строениями и деревьями от прямого попадания молний. Однако, в ряде регионов Марокко, из-за частых гроз в сети отмечаются многочисленные (десятки раз в год) перекрытия изоляции при грозах, вероятнее всего вследствие индуктированных перенапряжений. Действительно, по литературным источникам удельное число грозовых отключений линии 12,5 кВ с глухозаземленной нейтралью согласно эксплуатации составляет 27,1 и индуктированные перенапряжения дают около 70% всех грозовых отключений (Ф.А. Гиндуллин, А.А. Дульзон). Коэффициент η перехода импульсного перекрытия в дугу промышленной частоты для РСВН оказывается на уровне 0,9 (Руководящие указания (Проект) по защите от внутренних и грозовых перенапряжений сетей 3-750 кВ). Величина $\eta \approx 1$ при индуктированных перенапряжениях может быть связана с продолжительностью таких перенапряжений: вспышки молнии длятся до 2 с (М.Юман, И.С. Стекольников). Показано, что в расчетах числа двухфазных перекрытий на опоре из-за индуктированных перенапряжений следует учитывать влияние реально большого (сотни Ом) сопротивления R_d и при этом возможны (с использованием в сети АПЗФ как средства повышения электробезопасности) смягчения (против ПУЭ-86) требований к величине сопротивления R_o опоры. Целесообразно в дальнейшем выполнение исследований в условиях Марокко для уточнения как η , так и величины R_o .

Отмечено в порядке постановки вопроса, что в маловероятном случае сети с весьма небольшой нагрузкой и при неполнофазных режимах, ДТ может определять появление феррорезонансных перенапряжений. Методика, включающая оценку ожидаемого числа перекрытий от индуктированных напряжений и выбор на основе расчетов вариантов параметров схемы защитного шунтирования, иллюстрирована на примере схемы электроснабжения г. Тауирт (Марокко). Методика программно обеспечена. Приведены решения схем автоматического выявления фазы с ОЗЗ, схем управления низковольтным контактором К. Для ДТ мощностью 160 кВ.А рекомендованы контакторы типа КТ 6013 при параллельном соединении их фаз. При сохранении ОЗЗ более чем через 2-3 с после срабатывания АПЗФ эта схема сохраняет включение контактора для разгрузки по току в месте ОЗЗ; предусмотрено также в этой ситуации неавтоматическое шунтирование ОЗЗ разъединителями в цепи фаза-земля на подстанции при наличии соответствующего персонала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В настоящей работе решена важная задача повышения эффективности и технического совершенства устройства ограничения последствий дуговых однофазных замыканий на землю в РСВН с изолированной нейтралью. В работе получил развитие известный принцип снижения величины тока в дуге замыкания путем снижения напряжения на дуге при повторном искусственном замыкании на землю дефектной фазы. Смешанные электрические сети напряжением $U_n = 12,5$ кВ характеризуются протяженностью ВЛ, в несколько раз большей суммарной длины КЛ. В этой ситуации ток однофазного замыкания на землю достигает десяти ампер и число дуговых перекрытий изоляции фаз может быть близко к числу индуктированных перенапряжений. Теоретические исследования позволили предложить методы и подходы для реализации эффективного устройства АПЗФ в РСВН, в результате чего может снизиться количество перерывов и улучшатся условия электробезопасности электроснабжения потребителей.

При этом получены следующие результаты.

1. Проведен комплексный анализ оценки эффективности АПЗФ в электрических распределительных сетях разных типов.
2. Доказана целесообразность использования АПЗФ как дополнительного важного средства грозозащиты в смешанных (участки кабельные и воздушные на железобетонных опорах) РСВН в различных условиях эксплуатации.
3. Исследовано предложенное на кафедре ПЭЭ ХГПУ исполнение устройства повторного заземления дефектной фазы сети СН через электромагнитную связь добавочного трансформатора, с функцией частичной компенсации тока ОЗЗ. Показана достаточность замыкания дефектной фазы через эту электромагнитную связь по условию успешного распада открытой дуги ОЗЗ.
4. Разработан общий подход к расчету методом симметричных составляющих для сети с сопротивлением Z_N заземления искусственной нейтрали при однократном ОЗЗ в дефектной фазе и при повторном заземлении этой же фазы через электромагнитную связь добавочного трансформатора. Реализован комплекс программ для расчетов токов и напряжений в такой сети. Исследовано влияние сопротивления цепи заземления нейтрали и поперечных параметров сети на демпфирование высокочастотного процесса, влияющего на потенциалы фаз.

5. Предложена методика расчета режима сети при дуговом ОЗЗ. Отмечено, что при индуцированных перенапряжениях сопротивление дуги в цепи ОЗЗ на железобетонной опоре превышает сопротивление заземления R_3 опоры, удовлетворяющее нормам ПУЭ, вследствие чего вариации величины R_3 несущественно повлияют на ожидаемое число грозовых отключений сети. Однако с увеличением R_3 относительно усиливается влияние условий электробезопасности на выбор сопротивления R_3 опоры.

6. Предложено преимущественное использование АПЗФ в смешанных воздушно-кабельных сетях с U_n до 15 кВ при токе замыкания на землю $2A \leq I_{\text{з.н}} < 15A$; при больших токах в соответствии с опытом дальнего зарубежья нейтраль должна заземляться через резистор с автоматическим выделением поврежденного участка сети при резервировании потребителя.

7. В результате проведенных исследований разработаны основные положения инженерной методики расчета для заданной сети параметров главных узлов устройства АПЗФ с добавочным трансформатором. Методика проиллюстрирована на примере расчета и анализа процессов при ОЗЗ в распределительной сети типичного для Марокко города (г.Таурирт).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных работах:

1) Хассани Лотфи, Гуль В.И. Алгоритм исследования влияния характера сопротивления шунта при защитном шунтировании однофазных замыканий в электрической сети на квазиустановившиеся перенапряжения в здоровых фазах // Тез. докл. конф. Харьков, 3-5 мая, 1994. с.66

Вклад соискателя заключается в анализе предполагаемых условий работы контактора как короткозамыкателя вторичной обмотки добавочного трансформатора.

2) Хассани Лотфи, Гуль В.И. Использование низковольтного контактора для автоматического повторного замыкания в сети среднего напряжения // Матер. конф. 19-21 апр. Харьков, 1995. с.43

Личный вклад соискателя заключается в подготовке исходных данных по распределительной сети $U_n = 12,5$ кВ г. Таурирт, разработке метода учета сопротивления дуги, в выполнении расчетов по методике диссертанта и формировании технического решения и выводов.

3) Хассани Лотфи, Витченко О.В. Создание условий самораспада дуги ОЗЗ при АПЗФ на низковольтной стороне добавочного трансформатора (на

примере электрической сети г.Таурирт (Марокко)//Деп. в ГНТБ Украины, N215, Киев 1996,- 12с.

Творческий вклад соискателя состоял в подготовке последовательности расчета однофазных и двухфазных замыканий вследствие индуктированных перенапряжений, выявления роли сопротивления R_d на обратные перекрытия и в выполнении расчетов.

4) Хассани Лотфи, Гуль В.И. Автоматическое повторное заземление фазы распределительной сети ВН как средство ограничения отказов из-за индуктированных перенапряжений / Деп. в ГНТБ Украины, N 214, Киев, 1996, - 13с.

Вклад соискателя заключается в подготовке математической модели расчета режима сети с изолированной нейтралью при двухкратном замыкании дефектной фазы, в том числе через добавочный трансформатор. Соискатель выполнил программы для расчета, сделал анализ ряда расчетов.

5) Хассани Лотфи, Гуль В.И, Минченко А.А. Положения расчета режима электрической распределенной сети при повторном замыкании дефектной фазы через добавочный трансформатор / Деп. в ГНТБ Украины, N 213, Киев, 1996, - 30с.

Соискателем лично разработана математическая модель для расчетов. Сделан вывод о характере влияния сопротивления цепи шунта на показатели режима сети.

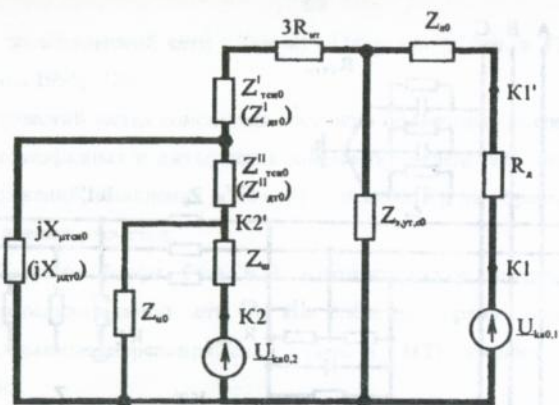


Рис. 3. Схема замещения прямой (обратной) последовательности при двухкратной несимметрии

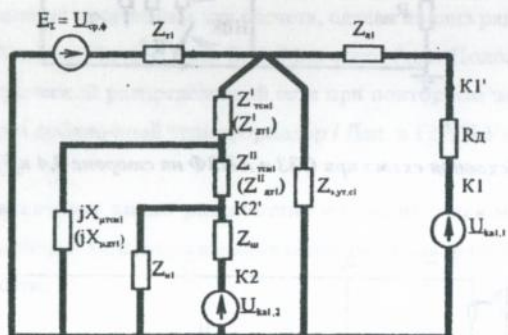


Рис. 4. Схема замещения нулевой последовательности при двухкратной несимметрии

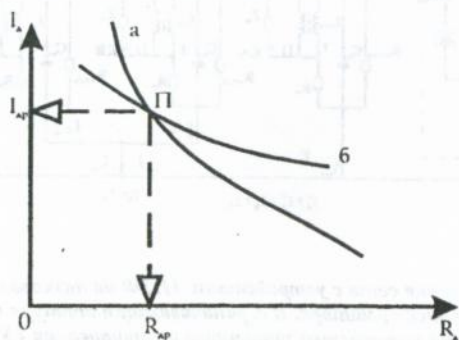


Рис. 5. К учету сопротивления R_d при ОЗЗ в сети; а — R_d (I_d) по эксперименту; б — расчеты схем замещения при вариации R_d

АННОТАЦИЯ

Лотфи Хассани. Совершенствование шунтирования однофазного замыкания на землю в распределительных сетях 6-35 кВ. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.12 - Техника высоких напряжений. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Киев 1996г.

Приведены исследования распределительных электрических сетей среднего напряжения, как объекта ограничения продолжительности однофазных дуговых замыканий (на землю), в частности при воздействии индуцированных перенапряжений. Предложен принцип повторного искусственного шунтирования на землю дефектной фазы через электромагнитную связь добавочного трансформатора, выполнены исследования по выбору необходимых в данной сети параметров и элементов такого устройства. Дано решение для типичного города (г.Таурирт) в Марокко.

ANNOTATION

HASSANI LOTFI. Improvement of shunting of the single phase-earth locking in distribution networks of 6-35 kV. Manuscript.

Dissertation for competition of Scientific Degree Of Candidate of Technical Science on the speciality 05.14.12 - High voltage techniques. National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnical Institute", Kyiv 1996.

Electrical distribution networks of intermedial voltages were studied as regulatory objects of single phase-earth arc locking. In particular under the effect of induced overvoltages. The principle of repeated artificial shunting to earth of defected phase with the help of electromagnetic connections of additional transformers has been used, also research work was done concerning the selection of the necessary parameters and elements of a given network for such a device. A solution for a typical city (the city of Taurirt) in Marocco is included.

Подп. к печ. 04.01.97 Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №1
Способ печати офсетный. Усл.печ. л.1.0
Уч.-изд. л.1.0 Тираж 100 экз. Зак. №6-872

Фирма «ВИПОЛ»
252151, г. Киев, ул. Волынская, 60

441346

AB 36.779

AB 36.779