

Министерство образования Украины

Днепропетровский горный институт

На правах рукописи

СТЕПАНЕНКО Юрий Викторович

УДК 621.316.13:621.316.925

ЗАЩИТЫ ОТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ
ДЛЯ КАРЬЕРНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Специальность 05.09.03 - "Электротехнические комплексы и
системы, включая их управление
и регулирование"

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1997

Работа выполнена на кафедре систем электроснабжения Днепропетровского горного института

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Ф. П. Шкрабец

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор В. А. Еунько

кандидат технических наук,
Ю. Т. Разумный

Ведущее предприятие: Научно-исследовательский институт
автоматизации черной металлургии
"НИИАчермет", г. Днепропетровск

Защита состоится "18" декабре 1992 г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета Д. 068. 03. 02 в Днепропетровском горном институте (320600, ГСП, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "17" ноябре 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
канд. техн. наук, доцент

В. Т. Заика



ЛННБ України ім.В.Стефаника



00816833 (Т)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из важнейших отраслей тяжелой индустрии является горнодобывающая промышленность. Дальнейшее развитие горного производства обуславливается растущими потребностями экономики в топливе, рудах черных и цветных металлов и других полезных ископаемых.

Развитие отрасли сопровождается ростом энерговооруженности труда. Увеличение протяженности электрических сетей, передаваемой мощности, количества электроустановок, а также климатические, горно-технические и другие условия оказывают существенное влияние на число однофазных замыканий на землю, которые в распределительных сетях 6...35 кВ являются довольно частым событием и составляют не менее 70...90% общего числа повреждений.

Защита от однофазных замыканий на землю представляет собой наиболее эффективное средство ограничения длительности существования замыкания и возникновения несчастных случаев.

Однако, недостаточная надежность функционирования защиты приводит к созданию опасных ситуаций, при которых возрастает вероятность попадания людей под воздействие электрического тока, а также при ложной работе к значительному экономическому ущербу из-за перерыва электроснабжения добычного и транспортного горно-технического оборудования.

Цель работы - разработка средств защиты карьерных распределительных сетей, обладающих помехоустойчивостью и высокой чувствительностью при сложных несимметричных повреждениях и отстройкой от емкостной несимметрии изоляции, для повышения функциональной надёжности.

Научная задача работы заключается в установлении закономерностей, связывающих параметры нулевой последовательности при емкостной несимметрии и сложных несимметричных повреждениях, и учета их при разработке и совершенствовании принципов действия и устройств первой и второй ступеней защиты.

Идея работы состоит в использовании фазо-импульсного принципа сравнения сигналов напряжения и тока нулевой последовательности для создания устройства первой ступени защиты от замыканий на землю, и сравнении уровня потенциала на заземляющей сети с предельно допустимыми для создания устройства второй (резервной) ступени защиты.

Защищаемые научные положения и результаты. Их новизна.

Положения. 1. При обрыве одной фазы сети с одновременным замыканием на землю со стороны электроприемника положение векторов напряжения и токов нулевой последовательности изменяется на угол 180 градусов, а значения указанных величин уменьшаются по сравнению с обычным однофазным замыканием на землю практически вдвое, что следует учитывать при обосновании характеристик устройств защиты.

2. При емкостном характере несимметрии изоляции сети относительно земли напряжение нулевой последовательности может достигать значений, достаточных для срабатывания устройств защиты от замыканий на землю независимо от режима работы нейтрали сети.

Результаты. 1. Разработана математическая модель для установления характера изменения параметров нулевой последовательности, учитывающая емкостной характер несимметрии изоляции сети.

2. Установлены зависимости токов и напряжений нулевой последовательности при замыкании на землю со стороны электроприемника и при смешанном повреждении, учитывающие переходные сопротивления в местах повреждения и связывающие параметры сети и электроприемника.

3. Предложен и обоснован фазо-импульсный принцип действия и на его основе функциональная и принципиальная схемы устройства направленной защиты для распределительных сетей с изолированной нейтралью, позволяющие улучшить технические характеристики защиты.

4. Разработаны принцип действия и устройство второй ступени защиты от замыканий на землю, в отличие от известных основанное на контроле потенциала на заземляющей сети, что позволяет сократить ущерб от простоя оборудования из-за неоправданных отключений.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается соответствием принятых при разработке математической модели допущений задачам и цели исследований; сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований в производственных условиях с погрешностью не более 10%; соответствием результатов теоретических исследований результатам экспериментальных, выполненных в рамках лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний; защитой новизны технического решения авторским свидетельством; актом о практическом использовании результатов диссертационной работы.

Научное значение работы заключается в выявленных зависимостях амплитудных и фазовых значений напряжения и токов нулевой последова-

тельности от параметров сети при емкостном характере несимметрии иоляции и замыканиях на землю со стороны электроприемника.

Практическое значение работы заключается: в использовании результатов исследований для оценки работоспособности существующих средств защиты первой и второй ступеней и обосновании технических требований к разрабатываемым устройствам защиты; в обосновании нового функционального и схемного решения устройства направленной защиты первой ступени, позволяющего улучшить технические характеристики; в обосновании принципа и устройства второй ступени защиты, позволяющего улучшить условия электробезопасности, сократить время простоя оборудования и связанный с ним экономический ущерб.

Реализация результатов работы.

Результаты теоретических исследований параметров нулевой последовательности и схемное решение устройства первой ступени защиты использованы НПО "Днепрчерметавтоматика" при разработке технического задания на ОКР и внедрении реле направленной защиты от замыканий на землю для карьерных электрических сетей типа ЗЗН-1.

Схема устройства второй ступени защиты использована при разработке Руководящих технических материалов "Методические указания по устройству и эксплуатации защиты от замыканий на землю в сетях 6...35 кВ на открытых горных работах".

Апробация работы. Основные положения и результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и получили одобрение на расширенном заседании IV секции ИС АН СССР и школы-семинара "Научные и электрофизические проблемы повышения надежности работы сетей 6...35 кВ" (г. Челябинск, 1987г.), на Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы безопасного и надежного электроснабжения сельхоз- и промпредприятий; экономия электроэнергии" (г. Севастополь, 1988г.), на Всесоюзной научно-практической конференции "Охрана труда в цветной металлургии" (г. Челябинск, 1990г.), на Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электроснабжения промышленности и транспорта" (г. Днепропетровск, 1990г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано девять печатных работ, в том числе авторское свидетельство.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 170 стр. машинописного текста, содержит 5 таблиц, 50 рисунков, библиографический список из 113 наименований и 6 приложений на 19 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Большой вклад в разработку и совершенствование устройств защиты от однофазных замыканий на землю внесли ученые Айдаров Ф. А., Яценев Ю. Р., Белых В. П., Бухтояров В. Ф., Волотковский С. А., Гладилин Л. Б., Жидков В. О., Кочалев П. Ф., Колосюк В. П., Меньшов Б. Г., Петров О. А., Поляков В. Е., Серов В. И., Сирота И. М., Даленко Е. Ф., Щуцкий В. И., Ягудаев Б. М. и другие. Однако, существующие устройства защиты от однофазных замыканий на землю не удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым к защитам карьерных распределительных сетей. Одной из основных причин недостаточной надежности и эффективности функционирования выпускаемых ныне средств защиты является несовершенство принципов их построения.

В первой главе диссертационной работы рассмотрены особенности эксплуатации карьерных сетей, характерные для них виды несимметричных повреждений, дана оценка состояния и работоспособности существующих средств защиты.

Особенности эксплуатации карьерной распределительной сети оказывают существенное влияние на изоляцию токоведущих частей электроустановок, повреждаемость элементов системы электроснабжения, возникновение аварийных ситуаций. При определенных условиях значение распределенных параметров линий (особенно воздушных) в одной из фаз могут отличаться от параметров изоляции соседних фаз, тем самым вызывая несимметрию изоляции карьерной сети относительно земли. Упомянутая несимметрия возникает также при обрыве штока масляного выключателя в одной из фаз отключаемой ЛЭП.

В процессе эксплуатации системы электроснабжения одной из основных причин нарушения нормального режима работы отдельных электроустановок и системы в целом являются различного рода повреждения. В карьерных распределительных сетях наиболее частым событием являются однофазные замыкания на землю (70...90% общего числа повреждений) и двойные замыкания (9...17%). Кроме того, для карьерных воздушных сетей характерны сложные повреждения, возникающие при обрыве провода одной из фаз линии с одновременным замыканием на землю. При этом в сети возникают кратковременные перенапряжения, электроприемники работают в неполнофазном режиме, что может привести к термическому повреждению электрооборудования, снижению напряжения и искажению его симметрии, наведению ЭДС в соседних линиях

связи и сигнализации, нарушению устойчивости отдельных элементов и системы электроснабжения в целом, ложной работе устройств защиты.

Разработка устройства, отвечающего всем предъявляемым требованиям, тесно связана с оценкой состояния и работоспособности существующих средств защиты. С этой целью на горнорудных предприятиях был проведен анкетный опрос энергослужб, на основании которого можно отметить: опыт эксплуатации первой и второй ступеней защиты от замыканий на землю отражает неудовлетворительную их работу.

Проведенный анализ состояния вопроса позволил сформулировать следующие задачи исследований:

1. Для правильного выбора средств защиты, для оценки возможности создания новых принципов и устройств защиты, исследовать влияние емкостной несимметрии изоляции сети на амплитудные и фазовые характеристики напряжений и токов нулевой последовательности в широком диапазоне изменения параметров распределительной сети для различных режимов нейтрали.

2. Исследовать характер изменения амплитудных и фазовых значений напряжения и токов нулевой последовательности в установившемся режиме однофазного замыкания на землю со стороны электроприемника в сетях с изолированной нейтралью.

3. Провести научный анализ работоспособности существующих устройств первой и второй ступеней защиты от замыканий на землю.

4. Разработать с учетом результатов исследований принципы и устройства защиты первой и второй ступеней для карьерных сетей с изолированной нейтралью, обладающие высокой чувствительностью, селективностью и функциональной надежностью.

Во второй главе выполнены исследования влияния емкостной несимметрии изоляции сети на амплитудные и фазовые характеристики напряжений и токов нулевой последовательности в широком диапазоне изменения параметров распределительной сети.

Для этого на основании общепринятых допущений были составлены схемы замещения, содержащие элементы, оказывающие существенное влияние на исследуемые характеристики параметров нулевой последовательности.

На основе методов теории электрических цепей получены выражения для напряжения и токов нулевой последовательности при емкостной несимметрии в контролируемом при соединении и во внешней сети.

Для сети с изолированной нейтралью эти выражения имеют следующий вид:

$$\dot{U}_0 = - \frac{\dot{U}_\Phi j\omega C_g}{3/R + j\omega(3C + C_g)} ;$$

$$\dot{I}_0 = \frac{3\dot{U}_\Phi \omega C_{g1}}{(3/R)^2 + (3\omega C + \omega C_{g1})} \rightarrow$$

$$\rightarrow \left[\omega \left[(1/R - 1/R_1)(3C + C_{g1}) - 3/R(C - C_1) \right] + j \left[3/R(1/R_1 - 1/R_1) + \omega^2(C - C_1)(3C + C_{g1}) \right] \right] ;$$

$$\dot{I}_{oc} = - \frac{3\dot{U}_\Phi \omega C_g}{(3/R)^2 + (3\omega C + \omega C_g)^2} \left\{ \omega \left(\frac{3C + C_g}{R_1} - \frac{3C_1}{R} \right) + j \left[\omega^2 C_1(3C + C_g) + \frac{3}{R_1 R} \right] \right\} ;$$

для сети с компенсированной нейтралью:

$$\dot{U}_0 = - \frac{\dot{U}_\Phi j\omega C_g}{3/R + 1/R_\kappa + j(3\omega C + \omega C_g - 1/(\omega L))} ;$$

$$\dot{I}_0 = \dot{U}_\Phi j\omega C_{g1} \frac{3/R + 1/R_\kappa - 3/R_1 + j(3\omega C - 3\omega C_1 - 1/(\omega L))}{3/R + 1/R_\kappa + j(3\omega C + \omega C_{g1} - 1/(\omega L))} ;$$

$$\dot{I}_{oc} = - 3\dot{U}_\Phi j\omega C_{g1} \frac{j\omega C_{g1}(1/R_1 + j\omega C_{g1})}{3/R + 1/R_\kappa + j(3\omega C + \omega C_{g1} - 1/(\omega L))} ;$$

для сети с резистором в нейтрали:

$$\dot{U}_0 = - \frac{\dot{U}_\Phi j\omega C_g}{3/R + 1/R_N + j(3\omega C + \omega C_g)} ;$$

$$\dot{I}_0 = \dot{U}_\Phi j\omega C_{g1} \frac{3/R - 3/R_1 + 1/R_N + j(3\omega C - 3\omega C_1)}{3/R + 1/R_N + j(3\omega C + \omega C_{g1})} ;$$

$$\dot{I}_{oc} = -3\dot{U}_{\Phi} j\omega C_g \frac{1/R_1 + j\omega C_1}{3/R + 1/R_N + j(3\omega C + \omega C_g)}$$

где \dot{U}_{Φ} - фазное напряжение сети; R и C - соответственно активное сопротивление изоляции и ёмкость относительно земли одной фазы всей электрически связанной сети; ω - угловая частота; C_g - ёмкость несимметрии; R_k и L - соответственно активное сопротивление и индуктивность компенсирующего устройства; R_N - сопротивление резистора, включенного в нейтраль сети; R_1 и C_1 - соответственно активное сопротивление и ёмкость относительно земли одной фазы контролируемого присоединения; C_g и C_{g1} - соответственно ёмкость несимметрии изоляции всей электрически связанной сети и контролируемого присоединения.

Проведенный анализ результатов исследований показал, что при возрастании ёмкости несимметрии наблюдается значительное увеличение напряжения нулевой последовательности. Уменьшение значения ёмкости сети относительно земли также вызывает увеличение напряжения смещения нейтрали. Максимальное значение последнего отмечается в компенсированных сетях при настройке индуктивности в резонанс с ёмкостью сети (рис. 1). Фазовый угол напряжения нулевой последовательности при различной ёмкости несимметрии и изменении параметров изоляции сети в реальных пределах изменяется в диапазоне от 270 до 180 градусов. Наибольшая зависимость фазы от параметров изоляции наблюдается в сети с изолированной нейтралью. При прочих равных условиях наименьшее изменение угла между вектором напряжения сети и вектором напряжения нулевой последовательности отмечается в сети с резистором в нейтрали.

Величина тока нулевой последовательности при емкостной несимметрии изоляции сети в значительной степени зависит от ёмкости несимметрии. Зависимости величины собственного тока нулевой последовательности при несимметрии во внешней сети практически аналогичны приведенным для \dot{I}_0 , при этом амплитудные значения определяются величиной собственной ёмкости присоединения. Фазовые соотношения между векторами напряжения сети и векторами токов нулевой последовательности изменяются в пределах 90 градусов. Зоны нахождения указанных векторов зависят от режима работы нейтрали сети.

В третьей главе рассматривается характерный для воздушных линий вид несимметричных повреждений, возникающих при обрыве провода

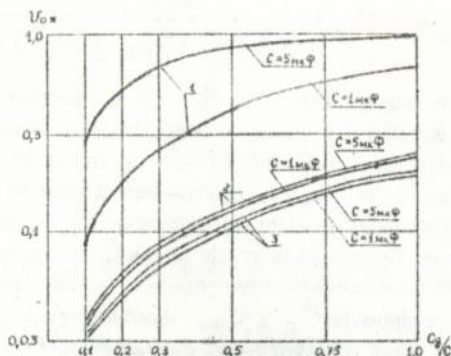


Рис. 1. Зависимость напряжения нулевой последовательности от соотношения емкостей несимметрии и изоляции сети с нейтралью: 1 - компенсированной, 2 - изолированной, 3 - с резистором в нейтрали

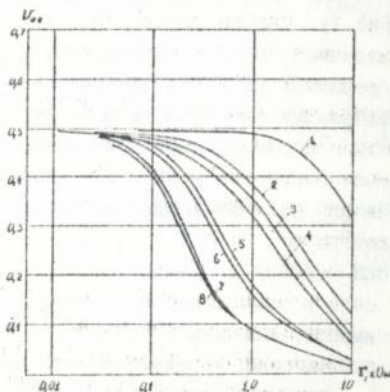


Рис. 2. Изменение напряжения нулевой последовательности при повреждении со стороны электроприёмника при C (мкФ) и R (кОм) соответственно равных: 1 - 0,1 и 100; 2 - 0,1 и 10; 3 - 1 и 100; 4 - 1 и 10; 5 - 3 и 100; 6 - 3 и 10; 7 - 6 и 100; 8 - 6 и 10

одной из фаз с одновременным замыканием на землю. При этом возможны следующие разновидности повреждений: обрыв провода и замыкание на землю со стороны источника питания; обрыв провода и замыкание на землю со стороны электроприемника; обрыв провода и замыкание на землю как со стороны источника, так и со стороны электроприемника (смешанное). Первое повреждение практически не отличается от обычного однофазного замыкания. Представляет интерес характер изменения параметров нулевой последовательности при последних двух повреждениях.

Выражения для напряжения и тока нулевой последовательности при замыкании на землю со стороны электроприемника, собственного тока при замыкании вне контролируемого присоединения в сети с изолированной нейтралью с учетом параметров изоляции, электроприемника и переходных сопротивлений в месте повреждения соответственно имеют вид:

$$\dot{U}_0 = \dot{U}_\Phi \cdot \frac{3r + 2R - 3\omega^2 CL_n R - j3\omega(L_n + CRr)}{(3r + 2R - 3\omega CL_n R)^2 + 9\omega^2(L_n + CRr)^2};$$

$$\dot{I}_0 = - \frac{3\dot{U}_\Phi}{R_1} \cdot \frac{P(R_1 - R) + Q\omega(C - C_1)RR_1 + j[P\omega(C - C_1)RR_1 - Q(R_1 - R)]}{P^2 + Q^2};$$

$$\dot{I}_{0c} = \frac{3\dot{U}_\Phi R}{R_1} \cdot \frac{P + Q\omega C_1 R_1 + j(P\omega C_1 R_1 - Q)}{P^2 + Q^2},$$

где R и C - соответственно активное сопротивление и емкость изоляции относительно земли всей электрически связанной сети; R_1 и C_1 - соответственно активное сопротивление и емкость изоляции контролируемого присоединения; \dot{U}_Φ - фазное напряжение сети; ω - угловая частота; r - переходное сопротивление в месте повреждения; L_n - междуфазная индуктивность обмотки электроприемника; $Q = 3\omega(L_n + CRr)$; $P = 3r + 2R - 3\omega^2 CL_n R$.

Напряжение и токи нулевой последовательности при смешанном повреждении во внешней сети определяются следующими выражениями:

$$\dot{U}_0 = -\dot{U}_\Phi R \frac{(r_2 - r_1)P_1 + \omega L_n Q_1 + j[\omega L_n P_1 - (r_2 - r_1)Q_1]}{P_1^2 + Q_1^2};$$

$$\dot{i}_0 = \frac{3\dot{U}_\Phi}{R} \cdot \frac{rP_1R' - \omega C'(\omega L_n P_1 - rQ_1)RR_1 + j[\omega C'RR_1rP_1 + (\omega L_n P_1 - rQ_1)R]}{P_1^2 + Q_1^2};$$

$$\dot{i}_{0c} = \frac{3\dot{U}_\Phi R}{R_1} \frac{P_1(r - \omega^2 L_n C_1 R_1) + Q_1 \omega (L_n C_1 R_1 r) + j[P_1 \omega (L_n C_1 R_1 r) - Q_1 (r - \omega^2 L_n C_1 R_1)]}{P_1^2 + Q_1^2};$$

где R_2 и R_1 - соответственно переходное сопротивление в месте повреждения со стороны электроприемника и источника питания; $r = r_2 - r_1$; $P_1 = 2Rr_1 + Rr_2 + 3r_1r_2 - 3\omega^2 CL_n Rr_1$; $Q_1 = \omega(3L_n r_1 + L_n R + 3CRr_1r_2)$; $R' = R_1 - R$; $C' = C - C_1$.

Выполненные исследования показали, что характер изменения напряжения и токов нулевой последовательности при замыкании на землю со стороны электроприемника в зависимости от параметров сети и переходного сопротивления в точке повреждения, подобен характеру изменения указанных величин при обычном однофазном замыкании на землю. Особенностью такого повреждения является то, что при прочих равных условиях значения напряжения и токов нулевой последовательности для реальных параметров сети практически в два раза меньше, а их векторы сдвинуты на 180 градусов (рис. 2). При смешанных повреждениях характер изменения исследуемых величин остается таким же, а их действующие значения и фазы зависят от взаимного соотношения величин переходных сопротивлений в местах повреждения.

Исследования данных видов повреждений показали повышенную опасность дальнейшего развития аварии, а также поражения электрическим током вследствие увеличения времени воздействия тока на организм человека при наиболее вероятном отказе устройств защиты.

Четвёртая глава посвящена анализу работоспособности существующих устройств и принципов действия защиты от замыканий на землю первой и второй ступеней.

Существующие устройства защиты от несимметричных повреждений в распределительных сетях с изолированной нейтралью не удовлетворяют основным, предъявляемым к ним требованиям. Защиты, реагирующие на высшие гармонические установившегося тока замыкания на зе

лю отказывают при замыкании через переходные сопротивления. При наложении на сеть переменного тока частотой ниже или выше промышленной, защиты присуще значительное время срабатывания или ложная работа в переходном режиме соответственно. Наложение постоянного тока в карьерной сети не используется из-за невозможности обеспечить селективность действия. Защиты, реагирующие на броски начального емкостного тока переходного процесса, ненадежно функционируют при замыкании на землю в момент нулевого или близкого к нулю значения фазного напряжения, при переходном сопротивлении порядка сотен и более Ом.

Наиболее распространенными видами защит из числа применяемых в настоящее время в карьерных сетях являются простая токовая, реагирующая на действующее (среднее) значение полного тока нулевой последовательности, и токовая направленная, реагирующая на направление мощности нулевой последовательности в установившемся режиме однофазного замыкания на землю. Токковые защиты обеспечивают контроль всех видов повреждений, но обладают серьезным недостатком - неселективным отключением неповрежденных участков сети, особенно при небольшом числе присоединений. К тому же наблюдаются ложные срабатывания названных устройств при сопровождающих повреждение переходных процессах в сети. Направленные защиты работают неселективно вследствие фазовых искажений сигналов тока и напряжения из-за переходных сопротивлений в месте повреждения, переходных процессов, замыканий через перемежающуюся дугу. Переходный процесс, сопровождающий восстановление нормального режима работы сети, также приводит к ложным отключениям неповрежденных линий.

Емкостная несимметрия изоляции сети оказывает определяющее влияние на значение напряжения нулевой последовательности и, следовательно, является одной из причин снижения эффективности работы простых токовых и направленных защит. При замыкании на землю со стороны электроприемника токи срабатывания защит могут оказаться выше значений параметров нулевой последовательности, что соответственно ведёт к несрабатыванию токовых защит и вызывает непредсказуемую работу направленных устройств защиты.

Значение напряжения несимметрии при любом режиме работы нейтрали сети при определенных физических параметрах изоляции может превысить уставки срабатывания второй ступени защиты, вызывая ложную работу существующих устройств. Для устранения неоправданных срабатываний необходимо исключить действие на отключение второй

ступени защиты от однофазных замыканий на землю при допустимом уровне потенциала на газемляющей сети в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038-82.

Анализ работоспособности существующих принципов действия защиты, а также результаты исследований амплитудных и фазовых зависимостей токов и напряжений позволили выбрать принцип действия устройства направленной защиты, основанный на оценке взаимного положения векторов тока и напряжения нулевой последовательности с узкой угловой характеристикой и отстройкой от переходных процессов. Последнее может обеспечиваться блокировкой входа или устройства, действующей после определённого времени с начала работы защиты. Для исключения ложной работы за счет фазовых искажений необходимо: исключить фазовые искажения, связанные с различием уровней запуска и входного сигнала формирователей импульсов; исключить разброс по длительности при формировании импульсов тока и напряжения нулевой последовательности.

Пятая глава посвящена вопросам практической реализации результатов исследований. На основе анализа характера изменения параметров нулевой последовательности при емкостной несимметрии изоляции и замыканиях на землю со стороны электроприёмника обоснованы характеристики и разработаны схемы устройств 1 и 2 ступеней защиты.

Устройство второй ступени защиты (рис. 3) содержит фильтр напряжения нулевой последовательности ФННП, через который к сети подключено реле максимального напряжения KV, реле времени КТ с контактом, замыкающимся с выдержкой времени 0,5 с, исполнительное реле KL с контактом в цепи отключающей катушки вводного масляного выключателя Q, блок контроля уровня потенциала на газемляющей сети БКУП с зависимой выдержкой времени, в который входят несколько токовых реле и столько же реле времени. Число реле определяется необходимым количеством ступеней контроля уровня потенциала. Выбор уставок производится по предельно допустимым уровням напряжений прикосновения и токов через человека в соответствии с ГОСТ.

Функциональная схема устройства направленной защиты, в котором устранены фазовые искажения, приведена на рис. 4. При однофазном замыкании на входы устройства поступают синусоидальные сигналы тока и напряжения нулевой последовательности. В элементе 1 сигнал тока сдвигается на угол близкий к 90 эл. град. и здесь же выделяется основная гармоника тока. Компаратор 2 формирует на своём выходе импульс, длительность которого определяется амплитудой входного

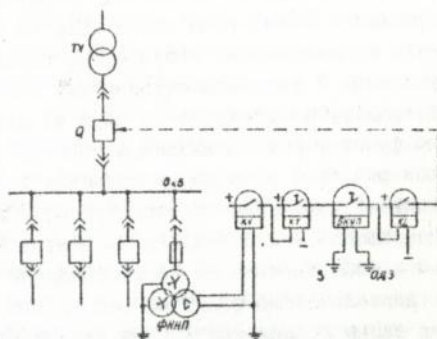


Рис. 3. Принципиальная схема предлагаемого устройства второй ступени защиты от однофазных замыканий на землю

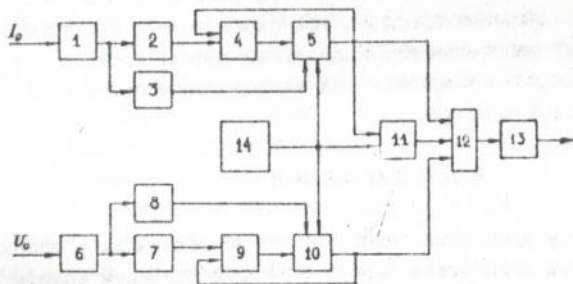


Рис. 4. Функциональная схема устройства направленной защиты от замыканий на землю

сигнала и напряжения срабатывания компаратора. По переднему фронту выходного импульса происходит переключение в единичное состояние триггера разрешения 4, тем самым разрешая работу формирователя импульсов 5. В момент перехода сигнала тока через нуль на выходе компаратора 3 формируется положительный импульс, по переднему фронту которого формирователь 5 вырабатывает импульс длительностью около 1 мс (18...25 эл. град.), поступающий на один из входов схемы совпадения 12, а задним фронтом устанавливающий триггер 4 в нулевое состояние. Частотный фильтр 6 в канале напряжения нулевой последовательности обеспечивает выделение основной гармоники, которая поступает на входы компараторов 7 и 8. Работа элементов 7-10 аналогична соответствующим в токовом канале. Сформированные элементом 10 импульсы напряжения длительностью 6...7 мс (около 120 эл. град.) подаются на третий вход схемы совпадения 12. На второй вход последней поступает разрешающий сигнал длительностью 100 мс с выхода элемента блокировки 11, который запускается задним фронтом первого импульса тока с формирователя 5, что обеспечивает отстройку устройства от возникающего в момент повреждения переходного процесса. После отработки сигнала разрешения элемент 11 обеспечивает в течение 100 мс запрет сравнения сигналов тока и напряжения нулевой последовательности, чем обеспечивается отстройка от переходного процесса, возникающего в сети после отключения повреждения.

Экономический эффект от внедрения устройств защиты обеспечивается за счет исключения простоев технологического оборудования по причине ложной работы защит. Социальный эффект состоит в увеличении уровня электробезопасности при эксплуатации сетей и оборудования напряжением 6...10 кВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные в диссертационной работе исследования и разработанные с их учетом устройства первой и второй ступеней защиты от замыканий на землю позволяют повысить надёжность и улучшить условия электробезопасности систем электроснабжения горных предприятий.

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации заключаются в следующем:

1. Разработана математическая модель для установления характера изменения параметров нулевой последовательности, учитывающая емкостной характер несимметрии изоляции сети.

2. Получены зависимости токов и напряжений нулевой последовательности при замыкании на землю со стороны электроприёмника и при смешанном повреждении, учитывающие переходные сопротивления в местах повреждения и связывающие параметры сети и электроприёмника, которые позволили установить, что в сетях с изолированной нейтралью по сравнению с аналогичным повреждением со стороны источника значения напряжения и токов нулевой последовательности в два раза меньше, а их векторы смещены на 180 градусов.

3. Выполнен анализ работоспособности существующих средств защиты первой и второй ступеней, показавший, что их применение не обеспечивает выполнение основных требований, предъявляемых к устройствам защиты карьерных распределительных сетей.

4. Обоснован фазо-импульсный принцип действия направленной защиты от замыканий на землю, основанный на оценке взаимного положения векторов тока и напряжения нулевой последовательности с узкой угловой характеристикой и отстройкой от переходных процессов.

5. Разработаны функциональная и принципиальная схемы устройства направленной защиты для карьерных сетей с изолированной нейтралью напряжением 6...10 кВ, обладающего высокой чувствительностью, селективностью, функциональной надежностью. Правильность аналитических выводов и схемных решений подтверждены результатами испытаний.

6. Разработаны принцип действия и устройство второй ступени защиты от замыканий на землю, в отличие от известных основанное на контроле потенциала на заземляющей сети, что позволяет сократить ущерб от простоя оборудования из-за неоправданных отключений.

7. Ожидаемый экономический эффект от внедрения направленной защиты составляет в ценах 1989 года 23,8 тыс. руб. в год на одно устройство. Социальный эффект от внедрения устройств защиты состоит в увеличении уровня электробезопасности при эксплуатации сетей и оборудования напряжением 6...10 кВ.

Основные положения опубликованы в следующих работах:

1. Степаненко Ю. В. Вторая ступень защиты от замыканий на землю // Охрана труда в цветной металлургии: Тез. докл. науч. - практ. конф. - Челябинск, 1990. - С. 37-38.

2. Степаненко Ю. В. Выполнение второй ступени защиты от замыканий на землю // Проблемы безопасного и надежного электроснабжения сельхоз- и промпредприятий; экономия электроэнергии: Сб. трудов науч. - техн. конф. - Севастополь, 1988. - С. 23-24.

3. Степаненко Ю. В. Токи нулевой последовательности при замыкании фазы на землю со стороны электроприемчика // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - Киев, 1991. - Вып. 59. - С. 34-37.

4. Шкрабец Ф. П., Машковский В. А., Степаненко Ю. В. Напряжение нулевой последовательности при замыкании фазы на землю со стороны электроприемника. - В кн.: Известия Днепропетровского горного института. - М.: Недра, 1990. - С. 209-211.

5. Шкрабец Ф. П., Мирошниченко В. А., Степаненко Ю. В. О рациональном режиме нейтрали карьерной распределительной сети // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - Киев, 1990. - Вып. 57. - С. 15-18.

6. Шкрабец Ф. П., Мирошниченко В. А., Степаненко Ю. В. Несимметричные повреждения в карьерных распределительных сетях // Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электроснабжения промышленности и транспорта: Тез. докл. Всесоюз. науч. - техн. конференции. - Днепропетровск, 1990. - С. 327-329.

7. Шкрабец Ф. П., Степаненко Ю. В. Исследование напряжения несимметрии в трехфазных сетях с различными режимами нейтрали // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - К., 1989. - Вып. 55. - С. 32-35.

8. Шкрабец Ф. П., Чирва В. Х., Попруга В. И., Степаненко Ю. В. Определение ущерба от перерывов электроснабжения карьеров Никопольского месторождения // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1988. - Вып. 53. - С. 28-32.

9. А. С. 1529343 СССР, МКИ Н02Н 3/16. Устройство для второй ступени защиты от однофазных замыканий на землю / Ф. П. Шкрабец, А. Г. Ликаренко, В. Н. Чмиль, Ю. В. Степаненко (СССР). - N 4411612/24-07; заявлено 10.03.88; опубл. 15.12.89, Бюл. N 46.

Личный вклад соискателя в работы, опубликованные в соавторстве: разработан алгоритм расчета параметров тока и напряжения нулевой последовательности [4,5]; дано аналитическое описание электромагнитных процессов при емкостной несимметрии изоляции сети [6,7]; математически описаны составляющие ущерба [8]; разработана функциональная схема устройства [9].

АНБ им. В. Стефанюк
АН УРСР

Подписано в печать 13.11.1992 г. Формат 60x84/16
Бум. тип. N 3. Офс. печ. Усл. печ. л. 1.0
Уч.-изд. л. 1.0 Тираж 100 экз. Заказ N 926. Бесплатно.
ОУС, Днепропетровск, ул. Столярова, 3

AB 26.039

AB 26.039