

УДК 621.31.8

**ДИСТАНЦИОННОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ УЧАСТКА ЛИНИИ
С ЗАМЫКАНИЕМ НА ЗЕМЛЮ И ЕГО ИДЕНТИФИКАЦИЯ
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ
С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

В.А. Чернышов¹, Е.А. Печагин²

*Кафедра «Электроснабжение»,
ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет» (1);
кафедра «Электрооборудование и автоматизация», ГОУ ВПО «ТГТУ» (2);
pechagin@mail.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: бесперебойное электроснабжение; время поиска повреждения; однофазное замыкание на землю; отыскание места замыкания; устройства релейной защиты; участки отходящих линий; электробезопасность сельских сетей.

Аннотация: Показано, что хотя сам факт замыкания на землю не является аварийным режимом работы, но он, как правило, со временем может перейти в этот режим – режим двойного замыкания на землю. Предложен способ, повышающий надежность электроснабжения потребителей и безопасность электрической сети с изолированной нейтралью за счет быстрого выделения из сети поврежденного участка с получением информации о его местонахождении.

Одним из важных факторов повышения эффективности функционирования предприятий, в том числе и агропромышленного направления, служит надежное, бесперебойное электроснабжение технологических процессов. К сожалению, в настоящее время электроснабжение сельскохозяйственных объектов не отвечает необходимым требованиям, из-за частых повреждений в электрических сетях, особенно в сетях среднего (35 кВ) и низкого (0,38 кВ) напряжений. Наиболее частыми видами повреждений являются обрывы проводов и замыкания на землю (ЗНЗ) [1]. Следует отметить, что хотя сам факт ЗНЗ не является аварийным режимом работы, но он, как правило, со временем может перейти в этот режим. Время этого перехода достаточно мало, оно может находиться в пределах нескольких секунд. Основным видом, возникающего при этом аварийного режима – режима двойного замыкания на землю (ДЗНЗ), является возникновение короткого замыкания $I_{к.з.}$. Рассмотрим данное обстоятельство на примере рис. 1.

Предположим, что на линии W1 в одной из фаз, например в фазе А, произошло ЗНЗ. Известным фактом является то, что при этом напряжение «здоровых» фаз, относительно земли, повышается в корень из трех раз. Если дуга в месте короткого замыкания поврежденной фазы будет перемеживающейся, то есть появляющаяся и исчезающая с частотой 50 Гц, то в данном случае, напряжение на

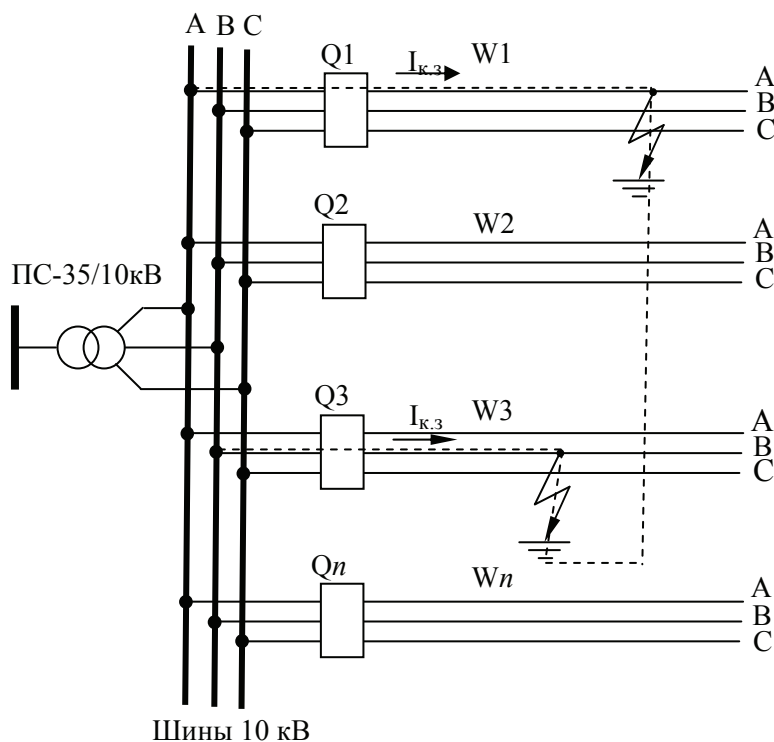


Рис. 1. Исходная схема режима ДЗНЗ

«здоровых» фазах может увеличиться более чем в 6 раз. Явление же перемежающейся дуги достаточно часто возникающая ситуация.

При таком повышении напряжения происходит пробой изоляции, как правило там, где она наиболее ослаблена. Пусть, например пробой наступил в фазе В, линии W3, причем пробой может наступить в любой точке электрически связанной цепи, то есть это может случиться и в фазах линий W1, W2 или Wn.

Пробой фазы В на землю линии W3 при замкнутой на землю фазе А линии W1, создает ток ДЗНЗ, сравнимый по величине с током короткого замыкания, проходящего по следующему пути: фаза А на шине трансформаторной подстанции – выключатель Q1 – фаза А линии W1 (с замыканием на землю) – земля – фаза В линии W3 (где произошел пробой изоляции) – выключатель Q3 – фаза В на шине трансформаторной подстанции. Поскольку появился ток ДЗНЗ, то сработает защита одного из выключателей Q1 или Q3, настроенная на меньшее время отключения, например выключателя Q3. Он отключит линию W3. Ток короткого замыкания исчезнет, а линия W1 останется во включенном состоянии с возможным замыканием на землю. Замкнутой на землю может остаться линия W3. Такая ситуация может просуществовать до тех пор, пока не произойдет очередной пробой изоляции, например фазы В или С линии W1...Wn.

Таким образом, ДЗНЗ сопровождаются следующими ситуациями:

- появлением в одной из фаз линии ЗНЗ;
- пробоем изоляции другой фазы в наиболее слабом месте электрически связанной системы и переходом в ДЗНЗ;
- появлением тока ДЗНЗ, соизмеримого с током короткого замыкания;
- отключением одной из линий (с возможно оставшемся ЗНЗ);
- включенным состоянием оставшейся линии (также с возможным ЗНЗ).

Замыкания на землю в сельских распределительных сетях 10 кВ с изолированной нейтралью согласно правилам устройства электроустановок не требуют мгновенного отключения и позволяют продолжать электроснабжение потребителей при этом повреждении до его отыскания, однако, в современных экономических условиях развития электроэнергетики эти требования надо рассматривать как минимальные и, в любом случае, оперативный персонал должен немедленно приступить к отысканию места повреждения и устранить его в кратчайший срок.

Анализ существующих устройств, способов и методов, обеспечивающих электробезопасность сельских сетей с изолированной нейтралью показал, что устройства релейной защиты имеют относительно низкую надежность и селективность их действия, что не только вызывает недоверие эксплуатационного персонала к данным устройствам, но и увеличивает время поиска повреждения, вероятность электрических травм людей и животных, перехода однофазных замыканий на землю в междуфазное короткое замыкание [2–4]. Данное обстоятельство объясняется тем, что защиты предназначены для работы с внешними датчиками – трансформаторами тока нулевой последовательности и трансформаторами напряжения, не обеспечивающими соответствующий класс точности [5, 6].

Отыскание места замыкания на землю при помощи токовых указателей на линии, находящейся под напряжением, требует особой осторожности и занимает длительный промежуток времени.

Один из существующих способов определения линии с ЗНЗ в распределительных сетях с изолированной нейтралью заключается в увеличении тока в линии с ЗНЗ в момент включения одной из фаз шин низковольтного напряжения силового трансформатора на землю через токоограничивающее сопротивление, производимого при появлении напряжения нулевой последовательности [7].

Недостатком данного способа является то, что он не позволяет дистанционно отключить и идентифицировать участок линии с ЗНЗ, в результате чего необходимо осуществлять осмотр данной линии с целью отыскания на ней ЗНЗ и только после этого производить ее отключение для ремонта. Процесс отыскания места ЗНЗ может занимать 2–5 ч. В течение этого времени, вследствие перенапряжения, может произойти двойное ЗНЗ в любом месте электрически связанной сети, а также существует большая опасность для находящихся вблизи места повреждения людей и домашнего скота.

Указанная задача решается благодаря тому, что в известном способе определения линии с ЗНЗ в распределительных сетях с изолированной нейтралью, заключающемся в увеличении тока в линии с ЗНЗ в момент включения одной из фаз шин низковольтного напряжения силового трансформатора на землю через токоограничивающее сопротивление, производимого при появлении напряжения нулевой последовательности, в соответствии с предлагаемым решением производят серию кратковременных периодических включений этой фазы на землю, при этом фиксируют число пауз между периодическими увеличениями тока, появляющимися на участках отходящих линий, имеющих секционные выключатели, и, если оно (число пауз) равно порядковому номеру одного из участков, при отсчете с конца линии, производят его отключение секционным выключателем, при этом по числу пауз между произведенными периодическими, кратковременными включениями одной из фаз шин низковольтного напряжения силового трансформатора на землю при котором произошло снижение тока в линии с ЗНЗ, идентифицируют соответствующий ему (числу пауз) порядковый номер отключившегося участка этой линии с ЗНЗ.

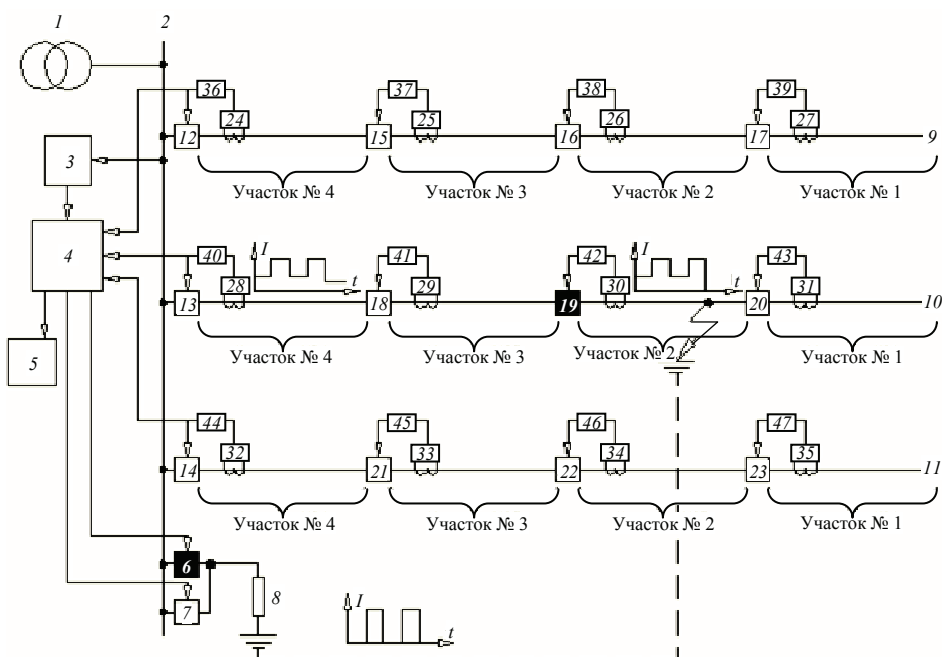


Рис. 2. Принципиальная схема дистанционного отключения участка линии с ЗНЗ и его идентификации в распределительных сетях с изолированной нейтралью

Суть предлагаемого способа поясняется на рис. 2, где представлена принципиальная схема дистанционного отключения участка линии с ЗНЗ и его идентификации в распределительных сетях с изолированной нейтралью.

Схема (см. рис. 2) содержит: силовой трансформатор 1, шины низковольтного напряжения 2, устройство контроля изоляции 3, блок коммутации и контроля 4, указатель номера отключившегося участка линии с ЗНЗ 5, однофазные выключатели 6 и 7, токоограничивающее сопротивление 8, отходящие линии 9–11, коммутируемые трехфазными выключателями 12–14, секционные выключатели 15–23, фиксаторы числа периодических бросков тока 24–35, блоки управления секционными выключателями 36–47.

Предлагаемый способ функционирует следующим образом.

При возникновении ЗНЗ на любом участке любой из линий, например на участке № 2 линии 10, устройство контроля изоляции, подключенное к шинам низковольтного напряжения силового трансформатора, регистрирует появление напряжения нулевой последовательности и формирует сигнал. Сигнал поступает на блок коммутации и контроля, который посылает сигнал одному из однофазных выключателей для создания серии кратковременных периодических включений одной из фаз на землю, через токоограничивающее сопротивление, при котором в одной из линий появится увеличение тока, в нашем случае в момент первого кратковременного включения выключателя 7, увеличение тока произойдет в линии 10. Зафиксировав это увеличение, делается вывод, что ЗНЗ возникло именно в этой линии. При этом стоит отметить, что увеличение тока в линии 10 будет происходить до места ЗНЗ, то есть на участках №№ 2–4. В начале каждого из участков этой линии установлены секционные выключатели, каждый из которых оборудован фиксатором бросков тока и блоком управления, обеспечивающими от-

ключение секционного выключателя при определенном количестве пауз между периодическими увеличениями тока на данном участке. Причем количество пауз, при котором производится отключение участка, определяется его порядковым номером при отсчете с конца линии. При втором периодичном кратковременном включении одной из фаз на землю, через токоограничивающее сопротивление, ни один из участков №№ 2–4 линии 10 не отключится, так как одна пауза между двумя периодическими, кратковременными увеличениями тока не соответствует порядковому номеру ни одного из данных участков. При третьем периодичном кратковременном включении одной из фаз на землю, через токоограничивающее сопротивление произойдет отключение участка № 2 секционным выключателем 19, так как две паузы между тремя периодическими, кратковременными увеличениями тока на данном участке соответствуют его порядковому номеру.

После отключения участка № 2 с ЗНЗ на линии 10, в момент, когда однофазный выключатель 7, осуществляющий серию кратковременных включений одной из фаз на землю, находится в выключенном состоянии, устройство контроля изоляции формирует блоку коммутации и контроля сигнал об исчезновении напряжения нулевой последовательности, который, в свою очередь, формирует сигнал, запрещающий включение однофазным выключателям 6 и 7.

При этом по числу пауз между произведенными периодическими кратковременными включениями одной из фаз на землю через токоограничивающее сопротивление, при котором произошло снижение тока в линии с ЗНЗ, идентифицируют соответствующий ему (числу пауз) порядковый номер отключившегося участка этой линии с ЗНЗ.

Блок коммутации и контроля обеспечивает вышеизложенный алгоритм функционирования и посредством указателя отображает информацию о номере отключившегося участка линии с ЗНЗ.

Предлагаемый способ повышает надежность электроснабжения потребителей и безопасность электрической сети с изолированной нейтралью за счет быстрого выделения из сети поврежденного участка с получением информации о его местонахождении.

Список литературы

1. Лихачев, Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов / Ф.А. Лихачев. – М. : Энергия, 1971. – 152 с.
2. Шабад, М.А. Защита и автоматика электрических сетей агропромышленных комплексов / М.А. Шабад. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.
3. Гук, Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок / Ю.Б. Гук. – Л. : Энергоатомиздат, 1989. – 285 с.
4. Булычев, А.В. Совершенствование защиты от замыканий на землю / А.В. Булычев, В.К. Ванин // Электричество. – 1999. – № 1. – С. 9–16.
5. Антошин, О.А. Идентификация поврежденного фидера при однофазном замыкании на землю в распределительных сетях 6–10 кВ с изолированной нейтралью / О.А. Антошин, И.И. Никулов // Электротехника. – 2005. – № 10. – С. 14–16.
6. Арцишевский Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью / Я.Л. Арцишевский. – М. : Высшая школа, 1989. – 87 с.
7. Андреев В.А. Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения / В.А. Андреев, Е.В. Бондаренко. – М. : Высшая школа, 1975. – С. 139–140.

Remote Switching of Line Segment with Earth Connection and its Identification in Distribution Circuits with Insulate Neutral

V.A. Chernyshov¹, E.A. Pechagin²

Department "Power Supply", Oryol State Agrarian University (1);

Department "Electrical Equipment and Automation", TSTU (2);

pechagin@mail.ru

Key words and phrases: electrical safety of village circuits; fault search time; one-phase earth connection; outgoing circuits areas; relay protection devices; shortcut location detection; uninterruptible power supply.

Abstract: Although the fact of earth connection is not a sign of emergency mode operation it can eventually be modified into this mode – the mode of double earth connection. The paper proposes the technique improving the reliability of the power supply of consumers and the safety of electrical circuits with insulated neutral by the prompt detection of the damaged area location in the circuit.

Fernabschaltung des Linienstück mit dem Schluß auf die Erde und ihre Identifizierung in den Verteilungsnetzen mit dem isolierten Neutralleiter

Zusammenfassung: Es ist gezeigt, daß selbst der Fakt des Schlußes auf die Erde nicht havarisch ist, aber er, in der Regel, mit der Zeit in dieses Regime – das Regime des Doppelschlusses auf die Erde übergehen kann. Es ist das Verfahren, das die Sicherheit der Energieversorgung der Verbraucher und die Ungefährlichkeit des elektrischen Netzes mit dem isolierten Neutralleiter infolge der schneller Aussonderung aus dem Netz des beschädigten Teiles mit der Information über seines Ortes, vorgeschlagen.

Débranchement de distance d'un secteur de la ligne avec la fermeture sur la terre dans les réseaux de distribution avec un neutre isolé

Résumé: Est montré que bien que le fait de la fermeture sur la terre ne soit pas un régime de travail troublé, avec le temps il peut aboutir à ce type de régime – celui de double fermeture sur la terre. Est proposé un moyen élevant la sécurité de l'alimentation électrique des consommateurs et la sûreté du réseau électrique avec un neutre isolé compte tenu de la vite séparation du réseau d'un secteur défectueux avec une réception de l'information sur son emplacement.

Авторы: *Чернышов Вадим Алексеевич* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение», ФГОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет»; *Печагин Евгений Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудование и автоматизация», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Сазонов Сергей Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Использование производственных ресурсов в фермерских хозяйствах», ГНУ «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», г. Тамбов.