Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Махаева Наталья Юрьевна
Должность: Проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"
Дата подписания: 02.02.2024 11:01:58
Уникальный программный ключ:
fa349ae3f25a45643d89cfb67187284ea10f48e8

DOI 10.35694/YARCX.2021.53.1.014

УСТРОЙСТВО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛНОФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ЧЕТЫРЁХПРОВОДНОЙ СЕТИ 0,4/0,23 кВ ПРИ ОБРЫВЕ ОДНОЙ ИЗ ПИТАЮЩИХ ФАЗ 6(10) кВ ТРАНСФОРМАТОРА

П. С. Орлов (фото)
д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электрификации
О. Н. Круду
аспирант инженерного факультета
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

Силовой трансформатор, резервное питание электросетей, четырёхпроводные сети, полнофазное напряжение, обрыв одной из питающих фаз

Power transformer, reserve power supply of main power, four-wire networks, full-phase voltage, breakage of one of the supply phases

На современном этапе развития технологий ключевое место занимает производственная сфера сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности агропромышленного комплекса. Предприятия модернизируются, переходя на новые, энергосберегающие технологии, автоматизируются производственные процессы и совершенствуются механизмы. Подвергаются пересмотру традиционные подходы к переработке и хранению сельскохозяйственной продукции в местах её производства. Этим предъявляются всё более жёсткие требования к развитию сельской электроэнергетики, к организации её инженерно-технического обеспечения. Дальнейшее совершенствование производственной сферы АПК возможно только при условии модернизации материально-технической базы предприятий на основе повышения надёжности электроэнергетики.

Широкое внедрение новых технологий в сельскохозяйственное производство способствует рациональному размещению сельскохозяйственных предприятий, позволяет наиболее полно привлекать естественные природные ресурсы страны, обеспечивать высокие темпы расширенного производства.

Электрификация – производство, распределение и применение электроэнергии – основа устойчивого функционирования и развития всех отраслей промышленности и сельского хозяйства страны, комфортного быта населения. Сельская электроэнергетика представляет собой важную часть агропромышленного комплекса и служит для удовлетворения энергетических нужд производственной и социально-бытовой сфер [1].

Передача электрической энергии сельскохозяйственным потребителям традиционно осуществляется маломощными и длинными воздушными линиями электропередач от централизованных источников электрической энергии. Подобная система обладает рядом недостатков – высокой стоимостью, большими эксплуатационными издержками, низкой надёжностью, длительным временем восстановления после возникновения аварийной ситуации. Опре-

деляющим фактором электроснабжения в целом является недофинансирование реконструкции и ремонта линий электроснабжения. Износ ЛЭП растёт, приближаясь к 80%, увеличивается количество аварийных отключений, снижается надёжность линий электропередач и электроснабжения (числовые характеристики показателей надёжности ВЛ 6, 10 кВ определены по данным аварийных отключений электрических сетей). Наиболее частым видом повреждений в сетях являются однофазные замыкания на землю, нередко приводящие к серьёзным авариям и создающие повышенную опасность для людей и животных. Показатель аварийности ВЛ 10 кВ в расчёте на 100 км линий составляет 6–7 аварий в год для районов с умеренным климатом и 20–30 аварий в год – для районов со сложными климатическими условиями [2].

За первые 30 минут после аварии устраняется до 19% всех аварий, за 6 часов устраняется 56,5% отключений, 23,5% отказов устраняется за время от 6 до 24 часов, 0,89% аварий устраняется за время более суток, при среднем времени устранения аварии от 3,1 до 4,1 часа. 18% всех отключений происходит из-за атмосферных осадков и ветра, 13% – от обрывов проводов, вследствие грозовых перекрытий, от повреждения оборудования и разрушения изоляторов – по 12%, причина 14% отключений не установлена. Наиболее эффективные способы борьбы с отключениями – усиление изоляции линий и распределительных устройств трансформаторных подстанций, плавка гололёда на проводах линий 6, 10 и 35 кВ [3].

Неудовлетворительное состояние электрических сетей систем сельского электроснабжения создаёт предпосылки возникновения аварийных режимов работы, сокращающих срок службы электродвигателей. Наиболее распространённая причина повреждения трёхфазных электродвигателей – асимметрия питающего напряжения и обрыв фазы. Для защиты трёхфазных электродвигателей от асимметрии питающего напряжения предлагается классический фильтр нулевой последовательности, работающий в релейном режиме и отключающий при пропадании фазы электродвигатель [4].

Недостатки имеются и у существующей системы электроснабжения:

1. Для включения резервного питания электроприёмников второй категории может понадобиться выезд оперативной бригады, снижающий оперативность восстановления электроснабжения и увеличивающий простои механизмов.

2. Длительность восстановления электроснабжения электроприёмников третьей категории нарушает нормальную деятельность потребителей электрической энергии.

Методика исследования

Задача авторов – создание устройства, способного восстановить полнофазное напряжение в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ, обеспечивая надёжность электроснабжения потребителя. Наиболее близким к предлагаемому изобретению является устройство восстановления напряжения фазы в четырёхпроводной сети [5], требующее дроссель и конденсатор в каждой фазе и работающее в узком диапазоне мощности.

Силовой трансформатор представляет собой статическую аналоговую саморегулируемую электрическую машину, имеющую две или более индуктивно связанных обмоток на ферромагнитном магнитопроводе, предназначенных для передачи мощности от 0 до полуторакратного значения номинальной мощности, преобразованной посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений) [6].

Так как трансформатор, в силу обратимости электрических машин и неразрывности магнитрых потоков, позволяет, как и все электрические машины, восстановить трёхфазное напряжение, даже если произошёл обрыв линии электропередачи напряжением 6(10) кВ, то он может бесперебойно осуществлять электроснабжение в течение 4…6 часов (достаточных для восстановления штатного полнофазного напряжения).

Модельный масштабный эксперимент показал: первичная обмотка трансформатора при обрыве одной питающей фазы генерирует двумя оставшимися запитанными фазами в обесточенной фазе напряжение, отличающееся от запитанных фаз не более чем на 5%, что является допустимым и может быть парировано дополнительными витками обмотки.

Результаты исследования

Поставленная авторами задача достигается устройством восстановления полнофазного напряжения в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ при обрыве одной из питающих фаз 6(10) кВ трансформатора, содержащее зажимы сети A, B, C, три реле контроля напряжения (1, 2 и 3), группу нормально замкнутых контактов, содержащую три нормально замкнутых контакта указанных реле

и выходные клеммы, при этом зажимы сети А, В, С подключены к источнику переменного тока, каждое из реле контроля напряжения включено между зажимом сети соответствующей фазы и нулевым проводом, отличающееся тем, что нормально замкнутые контакты реле контроля напряжения фаз (на рис. 1 условно не показаны) управляют выключателями нагрузки 4, 5 и 6, включёнными в рассечку соответствующих фаз, первые выводы которых подключены к зажимам сети А, В, С, а вторые выводы – к соответствующему зажиму первичной обмотки силового трансформатора Т, включенных по схеме «звезда с нулём – звезда с нулём». Каждая фаза вторичной обмотки силового трансформатора имеет независимые от основной обмотки витки (на рис. 1 условно не показаны), предназначенные для компенсации падения напряжения на линии при возможной несимметрии нагрузки.

Отсюда:

1) устройство восстановления полнофазного напряжения в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ позволяет восстанавливать питающее напряжение при обрыве любой одной из питающих фаз напряжением 6(10) кВ трансформатора с сохранением последовательности следования фаз;

2) автоматическое отключение повреждённого провода сети 6(10) кВ исключает возможную перегрузку и выход из строя трансформатора с обесточенной фазой;

3) автоматическое отключение повреждённого провода высоковольтной сети позволяет трёхфазному трансформатору, запитанному от четырёхпроводной сети, восстановить напряжение отключённой фазы в своей вторичной обмотке;

4) восстановление обмотками трёхфазного трансформатора, запитанного от четырёхпроводной сети напряжения на отключенной фазе, восстанавливает электроснабжение потребителя до устранения неисправности, исключая перерыв электроснабжения потребителей;

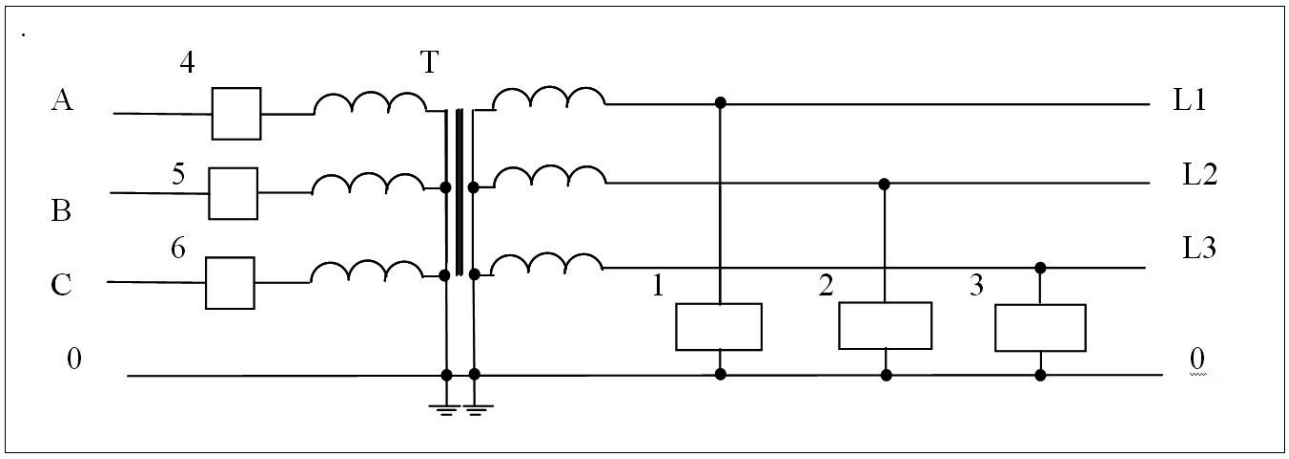
5) каждая фаза вторичной обмотки силового трансформатора имеет независимые от основной обмотки витки, предназначенные для компенсации возможной несимметрии напряжений по фазам;

6) упрощение схемы автоматического управления восстановления питающего напряжения и исключение конденсаторов повышает надёжность и безопасность устройства при его эксплуатации.

Перечисленные новые существенные признаки в совокупности с известными обеспечивают получение технического результата во всех случаях, на которые распространяется испрашиваемый объём правовой охраны.

Выводы

Технический результат изобретения [7] заключается в следующем: устройство восстановления полнофазного напряжения в четырёхпроводной сети 0,4/0,23 кВ при обрыве одной из питающих фаз трансформатора напряжением 6(10) кВ обеспечивает повышение надёжности электроснабжения потребителей, безопасность



1; 2; 3 – реле контроля напряжения фаз L1, L2, L3 вторичной обмотки трансформатора Т, включённые между фазным L1, L2, L3 и нулевым проводом 0;
4; 5; 6 – выключатели нагрузки фаз А, В, С силового трансформатора Т.

Рисунок 1 – Устройство восстановления полнофазного напряжения

его эксплуатации и снижет электротравматизм в электроустановках. Это достигается использованием уникальных свойств аналоговых устройств – трёхфазных электрических сетей и трёхфазных силовых трансформаторов, с первичной и вторичной обмотками, включёнными по схеме «звезда с нулём – звезда с нулём», запитанных от четырёхпроводной сети. При утрате питания от любого одного из четырёх питающих проводов, за счёт неразрывности магнитных потоков и обратимости электрических машин, устройство автоматически (после физического отключения утраченной фазы) восстанавливает полнофазное напряжение в первичной и во вторичной обмотках трансформатора сложением магнитных потоков, генерируемых первичными обмотками, питающимися от оставшихся двухфазных проводов в обесточенной обмотке трансформатора с сохранением порядка следования фаз, распределяя трёхфазную нагрузку симметрично по двум оставшимся фазам с превышением нагрузки по двум оставшимся фазам не более чем на 50%, используя возможность трансформатора и линии в течение 4…5 часов выдерживать перегрузку не более чем на 50%. Это позволяет линии и трансформатору функционировать, обеспечивая электроснабжение потребителей, исключая перерывы электроснабжения вследствие обрывов одного фазного проводника (или однофазного короткого замыкания на линии после её физического отключения с обеих сторон и от обоих трансформаторов).

Литература

1. Миндрин, А. С. Энергоемкость сельскохозяйственного производства: теория, методология, оценка / А. С. Миндрин ; Российская академия с.-х. наук, Всероссийский НИИ экономики, труда и упр. в сельском хоз-ве. – Москва : Восход-А, 2009. – 387 с. : ил. – ISBN 978-5-93055-146-4 (в пер.). – Текст : непосредственный.

2. Гавриченко, А. Прогнозирование однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью как способ повышения их безопасности / А. Гавриченко, В. Чернышов, Г. Федоренков. – Текст : непосредственный // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – 2008. – № 6. – С. 53–56.

3. Корчагин, П. Т. Надежность электроснабжения удаленных потребителей / П. Т. Корчагин, Д. М. Таранов. – Текст : непосредственный // Сельский механизатор. – 2014. – № 3. – С. 28–29. – ISSN 0131-7393.

4. Петько, В. Г. Устройство защиты трехфазного электродвигателя от асимметрии питающего напряжения / В. Г. Петько, А. В. Садчиков. – Текст : непосредственный // Электротехника. – 2003. – № 10. – С. 5–9. – ISSN 0013-5860.

5. Патент № 2340063 Российская Федерация, МПК H02H 7/09 (2006.01), H02J 9/06 (2006.01). Устройство восстановления напряжения фазы в четырехпроводной сети : № 2007144599/09 : заявл. 04.12.2007 : опубликовано 27.11.2008, Бюл. № 33 / Кириллов Н. П., Шабалин Н. Г., Катаржин А. В., Гапанович В. А. ; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого. – 7 с. – Текст : непосредственный.

6. ГОСТ 16110-82. Трансформаторы силовые. Термины и определения : межгосударственный стандарт : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 4 марта 1982 г. № 940 : дата введения 01.07.82 / разработан Министерством электротехнической промышленности. – Москва, 1986. – 27 с. – URL: https://docplan.ru/Index/30/30055.htm (дата обращения: 11.01.2021). – Текст : электронный.

7. Заявка на патент № 2021100104 Российская Федерация от 11.01.2021. Устройство восстановления полнофазного напряжения в 4-х проводной сети 0,4/023 кВ ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия» / Орлов П. С., Шкрабак В. С., Морозов В. В., Шешунова Е. В., Бобков С. А., Круду О. Н.

References

1. Mindrin, A. S. Jenergoemkost' sel'skohozjajstvennogo proizvodstva: teorija, metodologija, ocenka / A. S. Mindrin ; Rossijskaja akademija s.-h. nauk, Vserossijskij NII jekonomiki, truda i upr. v sel'skom hoz-ve. – Moskva : Voshod-A, 2009. – 387 s. : il. – ISBN 978-5-93055-146-4 (v per.). – Tekst : neposredstvennyj.

2. Gavrichenko, A. Prognozirovanie odnofaznyh zamykanij na zemlju v setjah s izolirovannoj nejtral'ju kak sposob povyshenija ih bezopasnosti / A. Gavrichenko, V. Chernyshov, G. Fedorenkov. – Tekst : neposredstvennyj // Ohrana truda i tehnika bezopasnosti v sel'skom hozjajstve. – 2008. – № 6. – S. 53–56.

3. Korchagin, P. T. Nadezhnost' jelektrosnabzhenija udalennyh potrebitelej / P. T. Korchagin, D. M. Taranov. – Tekst : neposredstvennyj // Sel'skij mehanizator. – 2014. – № 3. – S. 28–29. – ISSN 0131-7393.

4. Pet'ko, V. G. Ustrojstvo zashhity trehfaznogo jelektrodvigatelja ot asimmetrii pitajushhego naprjazhenija / V. G. Pet'ko, A. V. Sadchikov. – Tekst : neposredstvennyj // Jelektrotehnika. – 2003. – № 10. – S. 5–9. – ISSN 0013-5860.

5. Patent № 2340063 Rossijskaja Federacija, MPK H02H 7/09 (2006.01), H02J 9/06 (2006.01). Ustrojstvo vosstanovlenija naprjazhenija fazy v chetyrehprovodnoj seti : № 2007144599/09 : zajavl. 04.12.2007 : opublikovano 27.11.2008, Bjul. № 33 / Kirillov N. P., Shabalin N. G., Katarzhin A. V., Gapanovich V. A. ; patentoobladatel' Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija Voennaja akademija Raketnyh vojsk strategicheskogo naznachenija imeni Petra Velikogo. – 7 s. – Tekst : neposredstvennyj.

6. GOST 16110-82. Transformatory silovye. Terminy i opredelenija : mezhgosudarstvennyj standart : utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po standartam ot 4 marta 1982 g. № 940 : data vvedenija 01.07.82 / razrabotan Ministerstvom jelektrotehnicheskoj promyshlennosti. – Moskva, 1986. – 27 s. – URL: https://docplan.ru/Index/30/30055.htm (data obrashhenija: 11.01.2021). – Tekst : jelektronnyj.

7. Zajavka na patent № 2021100104 Rossijskaja Federacija ot 11.01.2021. Ustrojstvo vosstanovlenija polnofaznogo naprjazhenija v 4-h provodnoj seti 0,4/023 kV ; zajavitel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija «Jaroslavskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija» / Orlov P. S., Shkrabak V. S., Morozov V. V., Sheshunova E. V., Bobkov S. A., Krudu O. N.