

Представлене дослідження впливу ємності ізоляції на умови спрацьовування захисту від витоків на змінному оперативному струмі. Метод контролю ізоляції заснований на використанні диференціального трансформатора струму. Для виключення дестабілізуючого впливу на умови спрацьовування реле витоків змін ємності ізоляції мережі знайдені умови адаптації вимірювального органа до цього параметра

Ключові слова: ізоляція, виток, ємність, коефіцієнт схеми, реле, функціональна відмова, захисне відключення, оперативний струм, контроль

Представлено исследование влияния емкости изоляции на условия срабатывания защиты от утечек на переменном оперативном токе. Метод контроля изоляции основан на использовании дифференциального трансформатора тока. Для исключения дестабилизирующего влияния на условия срабатывания реле утечки измененной емкости изоляции сети найдены условия адаптации измерительного органа к этому параметру

Ключевые слова: изоляция, утечка, емкость, коэффициент схемы, реле, функциональный отказ, защитное отключение, оперативный ток, контроль

УДК 621.313

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27878

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ УТЕЧЕК АДАПТИРОВАННОЙ К ИЗМЕНЕНИЯМ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ СЕТИ

А. А. Харитонов

Старший преподаватель*

E-mail: Ckariton@i.ua

А. Г. Ликаренко

Кандидат технических наук, доцент**

E-mail: speet@ukr.net

О. Е. Мельник

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: blondinka17@ukr.net

Н. Н. Ляхова**

E-mail: aakhookh@gmail.com

*Кафедра электроснабжения и энергетического менеджмента***

Кафедра автоматизированных электромеханических систем в промышленности и на транспорте*

***Государственное высшее учебное заведение

«Криворожский национальный университет»

ул. XXII Партсъезда, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027

1. Введение

Необходимость оценки структур и параметров рудничных тяговых контактных сетей возникает всякий раз, когда разрабатываются или эксплуатируются устройства или системы, связанные с контактной сетью, такие как защита от поражения людей электрическим током с частотным или полярным разделением; защиты от коротких замыканий контактной сети, использующие полные токи, переходные процессы, гармонические составляющие тока; высокочастотная связь по контактной сети между диспетчером и машинистами электровозов; телеуправление электровозами при погрузке руды.

Все эти системы технологического комплекса функционирования ВШТ специфичны и предполагают различный подход к исследованию параметров контактных сетей. Поэтому проводимые исследования выполнялись в различном объеме и с различными целями [1–3]. Оценивая результаты исследований, можно отметить их общий недостаток – отсутствие комплексности исследования параметров контактных сетей в требуемом для обобщения объеме.

В качестве объектов для исследования были приняты крупные шахты рудников Кривбасса, которые по условиям работы контактных сетей являются наиболее характерными. Контактные сети шахт питаются напряжением 275 В от тяговых подстанций типа АТП-500/275, технология и оборудование откатки на всех шахтах практически одинаковые.

Таким образом, результаты исследований параметров контактных сетей в шахтах нескольких крупных рудников бассейна вполне могут быть распространены на остальные рудники.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В работах таких ученых, как Ликаренко А. Г., Милонов А. Н., Мельников Ю. Ф. [4–6] были исследованы причины возникновения функциональных отказов (недопустимого отклонения параметров) реле утечки под воздействием факторов горнорудного производства. Установлено, что их схемы принципиально не защищены от воздействия не учтенных токов утечки с полюсов

выпрямленного напряжения на измерительные органы, настроенные только на взаимодействие с оперативным током, формируемым от специального источника оперативного напряжения. Необходимо отметить, что бесконтрольное превышение фактической емкостью изоляции сети значения допустимого по технической характеристике реле утечки приводит к функциональному отказу из-за необеспечения норматива по кратковременному току утечки через тело человека.

Исследованию и разработке устройств защиты от утечек тока в шахтных контактных сетях было посвящено большое число работ в том числе и зарубежных [7, 8]. Известны достижения в этой области школ Днепропетровского, Московского горных институтов, Криворожского горнорудного института, отраслевых научно-исследовательских институтов – МакНИИ, ВНИИБТГ, ВНИПИрудмаш и исследований опубликованных в International Journal of Engineering [9], Serbian Journal of Electrical Engineering [10], международных электротехнических комиссий [2].

Анализ приведенных литературных источников показывает, что математическая модель, отражающая условия срабатывания реле утечки, осуществляющего контроль сопротивлений изоляции и утечек путем выделения активной составляющей оперативного тока, еще не получена.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является устранение причин функциональных отказов реле утечки под воздействием факторов горнорудного производства. Для достижения данной цели требуется переход на схемы реле утечки, осуществляющие контроль состояния изоляции и утечек на переменном оперативном токе. Однако при таком роде оперативного тока неразрешенной является проблема надежной отстройки от негативного влияния на работу измерительного органа реле утечки емкости сети в диапазоне более 0,5 мкФ. В данной статье эта проблема решается путем использования метода выделения активной составляющей оперативного тока обоснованного в работе ученых Шулика Н. М., Сирота И. М., Богаченко А. Е. [11].

Для устранения указанных причин функциональных отказов реле утечки необходимо решить задачи:

а) усовершенствовать процесс контроля параметров изоляции участковой сети до 1000 В на переменном оперативном токе;

б) разработать функциональную схему реле утечки для нового исследования способа контроля сопротивлений изоляции и утечки;

в) установить оптимальные параметры частоты оперативного тока и емкостного фильтра присоединения.

4. Влияние емкости изоляции на условия срабатывания защиты от утечек на переменном оперативном токе

Метод контроля изоляции основан на использовании дифференциального трансформатора тока, состоящего из двух идентичных трансформаторов [5]. В этой же работе [5] получены следующие выражения,

описывающие работу дифференциального измерительного органа, выделяющего активную составляющую оперативного тока:

$$I_a \approx 0,5I_c \left[\sqrt{1 + \left(P + \frac{I_a}{I_c} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(P - \frac{I_a}{I_c} \right)^2} \right], \quad (1)$$

где $P = \frac{I_{ад}}{I_{c(max)}} \geq 5,0$.

В приведенной выше зависимости (1) для получения погрешности менее 5,0 % величина дополнительного тока $I_{ад}$ должна быть принята порядка пятикратного значения максимально возможного емкостного тока $I_{c(тах)}$. При таком выборе величины дополнительного тока измерительным органом будет выделяться удвоенное значение активной составляющей оперативного тока I_a , найденного через разность модулей измерительных токов, формируемых трансформаторами тока $|I_1 - I_2|$.

Для исключения дестабилизирующего влияния на условия срабатывания реле утечки изменений емкости изоляции сети необходимо найти условия адаптации измерительного органа к этому параметру. Условием адаптации является одинаковый характер функциональной зависимости от емкости сети коэффициентов схемы $K_{cx(a)}$ и $K_{cx(ч)}$, входящих в выражения токов: оперативного и утечки через тело человека. В соответствии с принятыми базовыми параметрами были произведены расчеты коэффициентов $K_{cx(a)}$ и $K_{cx(ч)}$ соответственно по выражениям (2) и (3), при следующих пределах изменений параметров, являющихся аргументами: $C_{И1} = 0 - 4,5$ мкФ; $f_{оп} = 100; 25; 6; 25; 3,125$ Гц; $3C_{ф} = 3; 6; \infty$ мкФ; $R_{ч} = R_{yo}^1 = 8,8$ кОм.

$$K_{cx(a)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{1 + W^2 C_u^2 R_c^2} + \frac{R_{ЛК}}{R_c} \right) \left(1 + \frac{X_{оп}^2}{R_{оп}^2} \right)}, \quad (2)$$

$$K_{cx(ч)} = \frac{1 + \left(\frac{b_c}{g_{эс}} \right)^2}{\sqrt{\left[R_{ч} g_{эс} \left(1 + \frac{b_c}{g_{эс}} \right) + 1 \right]^2 + \left(\frac{b_c}{g_{эс}} \right)^2}}. \quad (3)$$

Результаты проведенных исследований позволили разработать функциональную схему реле утечки (рис. 1), в которой устранены указанные выше функциональные отказы, имеющие место в существующих реле утечки.

Предлагаемая схема обеспечивает выполнение таких защитных функций, как непрерывный контроль величин сопротивлений изоляции и утечки тока. Осуществление защитного отключения сети при их снижении до недопустимых значений – измерительные органы 1 ($R_{И КР}$) и 2 (R_{yo}^1); непрерывный контроль величины емкости изоляции сети и осуществление защитного отключения сети при превышении ее критического значения, допустимого по технической характеристике реле утечки – измерительный орган 3 ($C_{И.КР}$); автоматическое переключение отпаек компенсирующего дросселя в зависимости от величины емкости сети – измерительный орган 4 ($L_{д}$).

Однако измерительная схема, использующая дифференциальный трансформатор на практике давала большую погрешность из-за невозможности обеспечить идентичность вольтамперных характеристик двух трансформаторов. Поэтому схема сложения оперативного тока с прямым и инверсным значениями дополнительного активного тока $I_{\text{АД}}$ была выполнена на резисторах $R_1, R_{\text{Ш1}}, R_2, R_{\text{Ш2}}$, что обеспечило высокую точность операций.

После выполнения операций сложения и вычитания оперативного $I_{\text{ОП}}$ и дополнительного $I_{\text{АД}}$ токов, результирующие токи I_1 и I_2 раздельно выпрямляются и подаются на входы дифференциального усилителя ДУ для их вычитания.

Удвоенное значение активной составляющей оперативного тока $2I_a$, после выделения дифференциального усилителем, поступает на звено адаптации ЗА, в котором использован принцип дифференцирующего элемента, рассмотренный и проанализированный в [12–14]. Этот принцип позволяет осуществить раздельный контроль сопротивлений изоляции и утечек тока [4, 12, 15], т. е. деформировать защитную характеристику, деформация заключается в превращении равенства уставок критического сопротивления изоляции $R_{\text{и.кр}}$ и утечки R_{yo} в неравенство, т. е.: $R_{\text{уст}} = R_{\text{yo}} = R_{\text{и.кр}}$, деформирование в $R_{\text{уст}} = R_{\text{yo}} > R_{\text{и.кр}}$.

Контроль сопротивления изоляции сети осуществляется измерительным органом 1 ($R_{\text{и.кр}}$) по абсолютному значению активной составляющей оперативного тока, выделенному в датчике тока ДТ1, включенному последовательно с нагрузочным сопротивлением дифференциального усилителя $R_{\text{и}}$. Для выделения приращений оперативного тока используются две дифференцирующие емкости $C_{\text{д1}}$ и $C_{\text{д2}}$, подключаемые периодически по заданному циклу к нагрузочному сопротивлению $R_{\text{н}}$ с помощью полупроводниковых ключей КЛ1 и КЛ2. Система управления СУ формирует для них из каждого полупериода оперативного напряжения $E_{\text{оп}}$ управляющие импульсы, что обеспечивает противоположное состояние ключей при их коммутации.

При отсутствии утечек тока в сети сопротивление ее фаз относительно земли определяется сопротивлением изоляции, и в соответствии с этим активная составляющая оперативного тока будет зависеть только от него. В соответствии с этим имеем $I_a = f(K_{\text{и}})$.

При возникновении утечки тока сопротивление фаз сети относительно земли и активная составляющая оперативного тока будут функциями $R_{\text{с}} = f(R_{\text{и}}; R_{\text{y}}^1); I_a = f(R_{\text{и}}; R_{\text{y}}^1)$.

Приращение оперативного тока, вызванное появление утечки, вызовет дозаряд емкостей $C_{\text{д1}}$ и $C_{\text{д2}}$, а их ток будет изменен органом ($2R_{\text{yo}}^1$). Ток в этом органе определяется разницей токов и имеет вид:

$$\Delta I_a = I_a(R_{\text{и}}; R_{\text{y}}^1) - I_a(R_{\text{и}}) = \frac{E_{\text{оп}} \cdot K_{\text{сх(a)}}}{R_{\text{yo}}^1}. \quad (4)$$

Таким образом, через датчик тока ДТ2 будет протекать оперативный ток пропорциональный сопротивлению утечки, т. е. измерительный орган ($2R_{\text{yo}}^1$) будет адаптирован полностью к изменениям сопротивления изоляции, что и обеспечивает независимость выбора его уставки от критического сопротивления изоля-

ции, т. е. обеспечивается деформация защитной характеристики с любым коэффициентом деформации.

Измерительный орган 3 ($C_{\text{и.кр}}$) контролирует критический уровень емкости изоляции сети следующим образом. При нормальном состоянии сопротивления изоляции и отсутствии утечек в сети абсолютное значение оперативного тока состоит, в основном из емкостной составляющей, которая выделяется в трансформаторе с помощью емкости резонансного фильтра $C_{\text{тр}}$, образующей вместе с обмоткой трансформатора $T_{\text{р}}$ фильтр частоты 25 Гц. Изменение емкости $C_{\text{тр}}$ или индуктивности обмотки на $\pm 20\%$ мало влияет на амплитудно-частотную характеристику фильтра, поскольку ее максимум слабо выраженный и размытый. Экспериментально доказано, что такого фильтра достаточно, чтобы влияние основной частоты не сказывалось на результате измерения оперативного тока. Выделенное на конденсаторе значение емкостного тока $I_{\text{с}}$ контролируется измерительными органами 3 ($C_{\text{и.кр}}$) и 4 ($L_{\text{д}}$). В случае достижения емкостью критического значения, т. е. большего чем допускает техническая характеристика реле утечки, измерительный орган 3 ($C_{\text{и.кр}}$) произведет защитное отключение сети, поскольку в ней не обеспечивается нормируемая величина кратковременного тока через человека. Измерительный орган 4 ($L_{\text{д}}$) производит переключение отпаек компенсирующего дросселя в зависимости от емкости сети.

5. Обсуждение результатов исследований влияния емкости изоляции на условия срабатывания защиты от утечек тока

Рассмотренная схема реле утечки отличается универсальностью действия. При ее установке на вводном коммутационном аппарате подстанции она будет работать в качестве УЗО общесетевого действия. При дополнительной установке комплектов на присоединениях подстанции, она будет работать в качестве УЗО селективного действия. Для использования устройства на присоединениях подстанции необходимо учесть следующее: установить трансформаторы тока нулевой последовательности на кабелях присоединений; исключить из схемы источник оперативного тока, а вместо него подать в нее напряжение от источника комплекта, установленного на вводе подстанции, т. е. оставить один источник на сеть; измерительный орган 3 ($C_{\text{и.кр}}$) из схемы защиты на присоединениях исключается, а регулирование отпаек компенсирующего дросселя осуществляется исходя из диапазонов емкостей присоединения 0–0,25 мкФ; 0,25–0,5 мкФ. Преимуществом использования компенсирующих дросселей на присоединениях будет то, что они будут действовать и после отключения присоединения, что позволит существенно снизить количество электричества через человека во время действия ЭДС выбега электродвигателей. Уставка по отключающему сопротивлению изоляции на присоединениях выбирается большей в 1,5–2 раза по сравнению с аналогичной уставкой в комплекте, установленном на вводе подстанции. Для обеспечения продольной селективности между комплектами на вводе подстанции и присоединениях вводится блокировка на срабатывание общесетевого комплекта в

течение 0,1 с при срабатывании любого из комплектов на присоединениях.

6. Выводы

В результате проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. Усовершенствован процесс контроля параметров изоляции и защитного отключения поврежденных элементов участковой сети до 1000 В на переменном оперативном токе.

2. Предложена функциональная схема реле утечки для нового исследования способа контроля сопротивлений изоляции и утечки, основанная на выделении активной составляющей переменного оперативного тока и учитывающая влияние на нее параметров изоляции, фильтра присоединения и компенсирующего дросселя.

3. Установлены оптимальные параметры частоты оперативного тока 25 Гц и емкостного фильтра присоединения 3 мкФ, обеспечивающие исключение негативного влияния емкости изоляции сети на условия срабатывания реле утечки.

Литература

1. Синчук, О. Н. Электробезопасность рудничной откатки [Текст] / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, А. Г. Ликаренко, А. Г. Животовский. – К.: Техника, 2009. – 188 с.
2. PD 6519-1:1995, IEC 60479-1:1994 Guide to effects of current on human beings and livestock. General aspects [Electronic resource]. – Published: April 1995. – Replaced By: DD IEC/TS 60479-1:2005. – Available at: \www/URL: <http://www.bjep.org.cn/UploadFiles/Users/admin/2013/p/admin20130505153537204.pdf>.
3. Синчук, И. О. Оценка электрических параметров тяговых контактных сетей железорудных шахт [Текст] / О. Н. Синчук, А. А. Харитонов // Электромеханические и энергосберегающие системы. – 2013. – №24. – С. 93-99.
4. Ликаренко, А. Г. Исследование и совершенствование средств защитного отключения электрических сетей напряжением до 1000 В шахт и карьеров [Текст]: дисс. канд. техн. наук.: 05.09.03 / А. Г. Ликаренко. – М.: МГИ, 1976. – 152 с.
5. Милонов, А. Н. К вопросу разработки блокировочного реле утечки для шахтных контактных сетей [Текст] / А. Н. Милонов // Научные труды Пермского политехнического института. – 1972. – № 117. – С. 25-31.
6. Мельников, Ю. Ф. Исследование и разработка устройств защиты шахтных тяговых сетей и подстанций [Текст]: автор. дисс. канд. техн. наук. – М.: МГИ, 1978. – 15 с.
7. Штепан, Ф. Устройства защитного отключения, управляемые дифференциальным током [Текст] / Ф. Штепан; под ред. В. И. Мозырского. – Прага, 2001. – 81 с.
8. Bondarenko, E. A. Determination technique of overload capacity of contact voltage and currents [Text] / E. A. Bondarenko // Materials of the 2dn International scientific conference “European Science and Technology”, May 9th-10th, 2012. – Wiesbaden, Germany: «Bildungszentrum Rodnik e. V.», 2012. – Vol. II. – P. 189–193.
9. Yadav, M. Analysis of Leakage Reduction Technique on Different SRAM Cells [Text] / M. Yadav, S. Akashe, Y. Goswami // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2011. – Vol 2, Iss 3. – P. 78–83.
10. Zellagui, M. Impact of GCSC on IDMT directional overcurrent relay in the presence of phase to earth fault [Text] / M. Zellagui, R. Benabid, A. Chaghi, M. Boudour // Serbian Journal of Electrical Engineering. – 2013. – Vol. 10, № 3. – P. 381–398. doi:10.2298/sjee130505011z.
11. Шулика, Н. М. Контроль состояния изоляции электрических сетей [Текст] : препринт / Н. М. Шулика, И. М. Сирота, А. Е. Богаченко. – К.: Ин-т электродинамики, 1990. – 41 с.
12. Колосюк, В. П. Защитное отключение рудничных электроустановок [Текст] / В. П. Колосюк. – М.: Недра, 1980. – 463 с.
13. Бунько, В. А. Повышение безопасности рудничной электровозной откатки [Текст] / В. А. Бунько, С. А. Волотовский, Г. Г. Пивняк. – М.: Недра, 1978. – 200 с.
14. А.с. 562032 СССР, МКИ Н02Н 3/16. Устройство для защиты от утечек тока в контактной сети с циклическим прерыванием цепи нагрузки [Текст] / Животовский А. Г., Ликаренко А. Г. – 234048307/21; заявл. 30.03.76; опубл. 15.06.77, Бюл. № 22. – 3 с.
15. Исследование и разработка надежно действующей защиты от утечек тока в шахтной контактной сети электровозного транспорта [Текст]: рук. № Б692560. – ВНИИБТГ, 1978. – 158 с.