

УДК621.316.933.86:621.14

Синчук О.Н., д.т.н., проф., Ликаренко А.Г., к.т.н., доцент,
Петриченко А.А., асистент, Зиманков Р.В., аспірант,
ГВУЗ “Криворожський національний університет”,
Шкрабец Ф.П., докт.техн.наук, ГВУЗ “Національний горний університет”

К ВОПРОСУ ТАКТИКИ РАЗРАБОТКИ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК ТОКА В ПОДЗЕМНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ШАХТ

Для защиты горнорабочих при случайном, но возможном прикосновении их к токоведущим частям оборудования, а также для контроля уровня сопротивления изоляции сетей электроснабжения, в подземных горных выработках шахт применяются так называемые аппараты защиты от утечек тока (АЗ) [1].

Вместе с тем, в последние 10-15 лет, эффективность функционирования эксплуатируемых в железорудных шахтах данных видов АЗ, оказалась недостаточной для обеспечения требуемого уровня безопасности [2]. Исследования [3] показали, что причиной такого явления является качество электроэнергии в шахтных электрических сетях, а точнее гармонический состав кривых токов и напряжения, что в свою очередь стало следствием массового использования на горных машинах регулируемого электропривода. Поэтому обычная электрическая сеть стала состоять из участков с напряжениями различных частот: промышленной(ПЧ); выпрямленного тока (ПТ); изменяемой частоты(ИЧ).

Многочисленные исследования токов утечки на участках ПЧ и ИЧ показали, что они являются переменными, а при несимметричной утечке на участке ПТ появляется постоянная составляющая, что является причиной неработоспособности серийных общесетевых АЗ [1].

При исследовании защитных характеристик серийных АЗ, установлено, что они являются неработоспособными как при симметричных, так и не симметричных утечках на участке ПТ [1]. Поэтому от применения оперативного постоянного тока в АЗ необходимо отказаться. Альтернативой этому есть создание АЗ на переменном оперативном токе нестандартной частоты, так как он является универсальным видом оперативного тока пригодным для всех типов сетей [2], а их функциональные характеристики должны быть такими, чтобы ток, проходящий через тело человека, и время его действия в интервале до 1с не превышали значений, установленных ГОСТ 12.1.038-82. Реализация его нормативов в функциональных характеристиках АЗ обеспечивается выполнением целого комплекса условий для достижения “минимальной безопасности” [2].

При анализе условий безопасности электрической сети, имеющей защиту от утечек, необходимо учитывать три возможных режима работы этой защиты: а) *длительный режим*, при котором возникающие в сети токи утечки не вызывают срабатывания защиты; б) *кратковременный режим*, при котором эти токи вызывают срабатывания защиты и отключения сети; в) *режим срабатывания* при минимальном(критическом) сопротивлении изоляции, которое может допущено в сети; г) *время срабатывания* отключения сети при утечках по п.(а,б,в) регламентируется Единными Правилами Безопасности (ЕПБ) в рудных и угольных шахтах с ежемесячной проверкой специально выделенным персоналом.

При *длительном режиме* безопасность сети обеспечивается, если максимально возможные длительные токи различных видов утечек (одно, двух- и трехфазной) не превышают предельно допустимой величины $I_{п.д.}$, равной по нормативам указанного ГОСТ 25 мА, что можно достигнуть соответствующим выбором уставки: $r'_{уст} = U_{ф}/I_{д.д.} = U_{ф}/25мА$.

При *кратковременном режиме* ток утечки может значительно превышать предельно допустимый длительный ток $I_{п.д.}$. При заданном ЕПБ, времени защитного отключения сети 0,2с, максимально допустимый кратковременный ток должен быть регламентирован ГОСТ $I_{к.д.} \leq 100мА$ или по нормативу энергии через человека - $Q_{доп} \leq 50мА \cdot с$.

Используя участок параболической формы зависимости функции $I_K = f(R_u)$ на ее отрезке от $R_u = \infty$ до $R_u = R_{pав}$, значение $R_u = R_{pав}$ принято за уставку критического сопротивления [3]:

$$R_{кр} < R_{u(pав)} = X_{c(нск)}^2 / 2R_u = 10^{12} / 2\omega^2 C_{c(нск)}^2 R_u; \quad (1)$$

где $C_{u(нск)}$ – не скомпенсированное значение емкостного сопротивления изоляции сети; R_u, ω – соответственно сопротивления человека и частота сети.

Для получения зависимостей выше приведенных функциональных характеристик аппарата защиты из измерительной функции переменного оперативного тока нестандартной частоты в работе [2] предложена структурная схема необходимых функциональных преобразований над ней. Первым преобразованием является нахождение условий превращения ее по точности измерения параметров изоляции в пропорциональную функцию, путем исключения влияния в ней индуктивности компенсирующего дросселя $L_{ор}$. При этом оперативная цепь создается подключением компенсирующего дросселя $X_{ор}$ к сети через фильтр нулевой последовательности (ФНПП) $X_{3ф}$, а к земле – через источник оперативного тока $U_{оп}(25Гц)$ и трансреактор TG , являющейся датчиком переменного оперативного тока $I_{оп}$. При этом на параметры дросселя $X_{ор}$ и фильтра $X_{3ф}$ накладываются условия, что на оперативной частоте $\omega_{оп}$ они создают последовательный колебательный контур, а на промышленной – параллельный с заданной емкостью изоляции сети относительно земли $X_{c(рез)}$. Расчетные выражения для нахождения параметров дросселя $X_{ор}$ и фильтра $X_{3ф}$:

$$3C_{3ф} = [1 - (\omega/\omega_{оп})^2] \cdot C_{u(рез)}; \quad L_{ор} = 10^6 / (\omega_{оп}^2 \cdot 3C_{3ф}) = X_{3ф} / \omega_{оп}; \quad (2),(3)$$

На основании выполненных работ по косвенному контролю параметров изоляции и утечки в комбинированной сети предложен способ их контроля с точностью 5%, что обеспечивается фильтром в измерительной ветви, подавляющим весь гармонический состав в напряжении преобразователя [3]. В экспериментальных исследованиях в токе утечки зафиксирована значительная высокочастотная составляющая [4]. При частотах 5 и 70 Гц ВЧ составляющие превышают ток основной гармоники, по меньшей мере в 5 раз. Это обусловлено тем, что фильтры преобразователя ПЧЭШ-60 практически не подавляют ВЧ гармоники. Для этого необходима установка на выходе преобразователя специальных *синус-фильтров* (рис.1), преобразующих импульсное напряжение ШИМ – инвертора в синусоидальное, с коэффициентом THDU, на пример у фильтра типа EF3LC, меньше 5%.

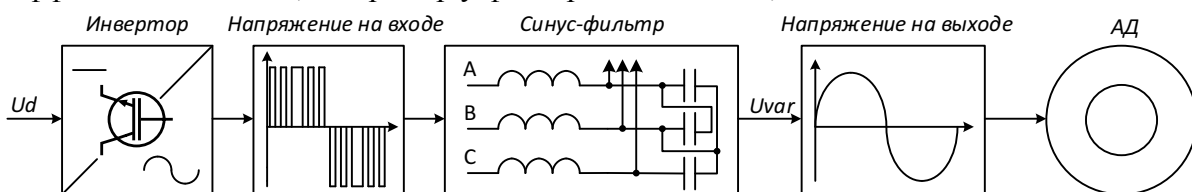


Рис.1 Структурная схема преобразователя частоты с синус-фильтром в силовой цепи

Выводы. Выполненные теоретические и практические решения по созданию защиты на переменном оперативном токе являются достаточными для начала работ по созданию экспериментального образца.

Список использованных источников:

1. Синчук, О.Н., Ликаренко А.Г., Петриченко А.А. Исследование защитных характеристик аппаратов защиты от токов утечки рудничных на постоянном оперативном токе в условиях дестабилизирующих факторов комбинированных сетей // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.– техн. зб. – 2015. – Вип. 94. – С. 3-12.
2. Синчук, О.Н., Ликаренко А.Г., Петриченко А.А., Шкрабце Ф.П. Аппаратурное решение проблем электробезопасности при эксплуатации участковых распределительных сетей железорудных шахт // Горный журнал. – 2015. – №5(2015). – С. 77-83.
3. Петриченко А.А., Ликаренко А.Г., Зіманков Р.В. Дослідження точності контролю параметрів ізоляції та витоків струму в комбінованій електричній мережі змінним оперативним струмом // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах: XVII Міжнародна науково-технічна конференція: матеріали конференції. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 1/2016(4) – С. 242-244.
4. Савицкий, В.Н., Белошистов А.И., Стадник Н.И., Сергеев А.В. Защита от токов утечки в комбинированных распределительных сетях электроснабжения очистных комбайнов // Уголь Украины. – 2007. – №12. – С. 23-25.