

Ю.В. Товстик, канд. тех. наук; В.Н Стоян., инж.

(Украина, Макеевка, Государственный Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности);

В.Н Савицкий, канд. тех. наук.

(Украина, Донецк, Украинский научно-исследовательский институт взрывозащищённого электрооборудования)

ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ УТЕЧЕК ТОКА НА ЗЕМЛЮ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, С СИЛОВЫМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Постановка задачи: создание и внедрение новых высокопроизводительных механизированных комплексов на базе комбайнов УКД-300, КДК-500 и КДК-700, питающихся напряжением 1140 В, потребовало решения целого ряда сложных технических проблем по созданию нового взрывозащищенного электрооборудования – станций управления двухскоростными электродвигателями конвейеров, новых реверсивных пускателей, аппаратуры автоматизации, а также полупроводниковых преобразователей частоты для регулируемой подачи комбайнов.

Указанные задачи практически решены и оборудование внедряется в производство. Однако следует признать, что при этом остались до конца не решенными вопросы электробезопасности эксплуатации такого оборудования, при которых возможно возникновение аварийных ситуаций в распределительной сети, когда реле утечки не может обеспечить защиту от поражения людей электрическим током. Обусловлено это целым рядом причин, которые требуют детальных исследований и разработки технических мероприятий и средств по их устранению.

Как известно, в Украине и странах СНГ ныне в распределительных сетях напряжением 660 и 1140 В применяются аппараты защиты от утечек тока на землю типа АЗУР-1 и АЗУР-4. Принцип действия, положенный в основу работы указанных аппаратов, заключается в наложении на сеть оперативного постоянного тока и контроле его величины при одновременной компенсации емкостной составляющей тока утечки. Поэтому такие аппараты предназначены только для защиты трехфазных электрических сетей с изолированной нейтралью, требования к которым изложены в ГОСТ 22929-78 «Аппараты рудничные защиты от утечек тока на землю в распределительных сетях напряжением до 1200 В». Указанный ГОСТ не распространяется на аппараты защиты для распределительных, комбинированных сетей, а следовательно, и применение аппаратов серии АЗУР в таких сетях неправомерно.

Это было известно еще и ранее, когда предпринимались попытки внедрения в шахты комбайнов с регулируемой подачей на постоянном токе [1].

На современном этапе для тяжелых условий эксплуатации горных машин в угольных шахтах наиболее приемлемым является электропривод во

взрывобезопасном исполнении с асинхронными двигателями и питанием от преобразователя частоты.

При применении преобразователя частоты образуется комбинированная сеть, состоящая из участка промышленной частоты 50 Гц, участка постоянного тока и участка изменяемой частоты 0-70 Гц.

Целью статьи является рассмотрение особенностей процессов, происходящих при появлении утечек на различных участках комбинированной сети, содержащей регулируемый частотный электропривод, и исходя из этого, - эксплуатации таких сетей до разработки новых устройств защиты.

Исследования показали, что при возникновении утечки (рис. 1) через аппарат защиты, работающий на постоянном оперативном токе, проходит ток, создаваемый мгновенной асимметрией фаз (полюсов) комбинированной сети относительно земли вследствие коммутации вентилях выпрямителя или инвертора даже при симметрии активных сопротивлений изоляции и емкостей относительно земли. Этот ток «асимметрии» из-за наличия вентилей в аппарате защиты деформирует его характеристики.

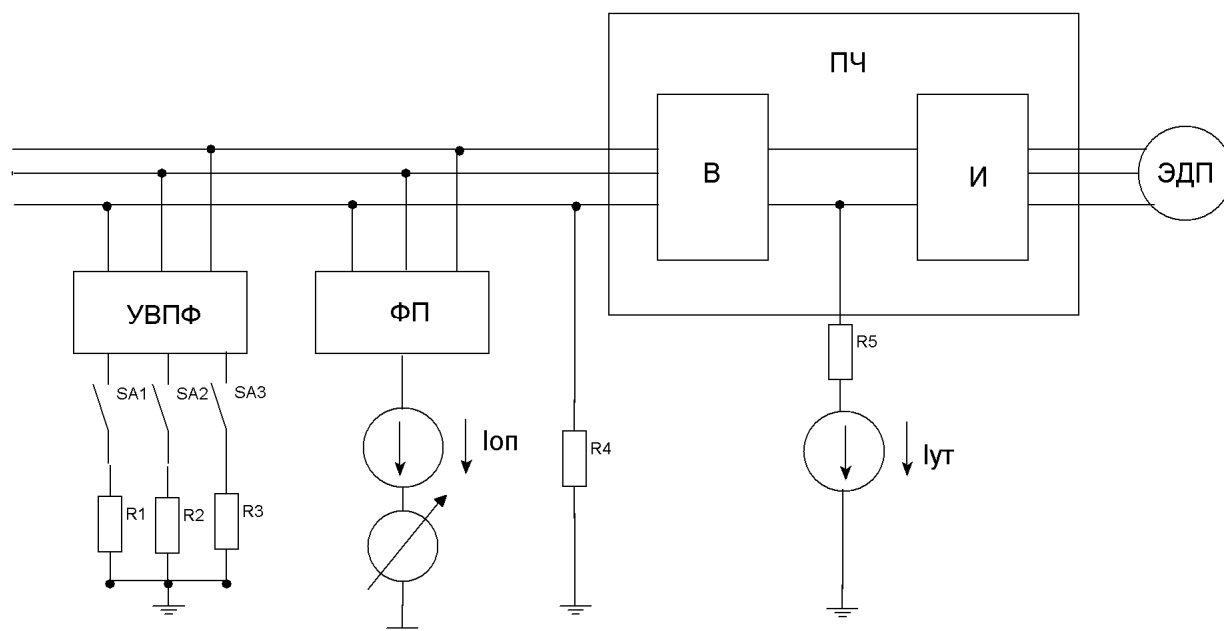


Рис.1 Схема включения аппарата защиты от утечек тока на землю в сети, содержащей звено постоянного тока: ФП – фильтр присоединения к сети аппарата защиты; УВПФ – устройство выбора и шунтирования поврежденной фазы; ПЧ – преобразователь частоты, состоящий из выпрямителя В и инвертора И; ЭДП – асинхронный электродвигатель подачи комбайна; $I_{оп}$ – оперативный ток аппарата защиты; $I_{ут}$ – ток утечки в звене постоянного тока; R 5 – сопротивление утечки в звене постоянного тока; R4 – сопротивление утечки в звене силового напряжения частотой 50 Гц; R1;R2;R3 – шунтирующие резисторы устройства УВПФ; SA1;SA2;SA3 – контакты исполнительного реле шунтирующего устройства УВПФ.

Влияние токов «асимметрии» будет загроублять характеристики аппарата защиты при возникновении утечки в звене трехфазной сети частотой 50 Гц. Кроме того, появление утечки с полюса (+) звена постоянного тока может привести к полному отказу в срабатывании аппарата, а с полюса (-) – к повышению чувствительности и, следовательно, к ложным срабатываниям.

Появление тока утечки в звене изменяющейся частоты 0-70 Гц вызывает загробление аппарата защиты в один полупериод низкой частоты и повышение чувствительности в другой.

Значительно более тяжелые последствия возникают в распределительных сетях напряжением 1140 В, где в целях ограничения количества электричества до значения не более 50 мА используются устройства выбора поврежденной фазы и шунтирование ее через малое сопротивление на землю. Применение данного способа в комбинированных сетях невозможно из-за наличия звена постоянного тока в преобразователе частоты. В то же время по совпадающим признакам в начальный момент возникновения утечки устройство выбора поврежденной фазы определяет одну из фаз и дает команду на ее шунтирование. Это приводит к тому, что протекающий через шунтирующий резистор ток будет подпитывать место аварии и тем самым усугубит степень её тяжести.

Эти выводы подтверждаются проведенными экспериментальными исследованиями в реальной сети, которая питается от трансформаторной подстанции КТПВ-630/6-1.2 и содержит кабели типа КГЭБУШВ 3х50+3х35 и преобразователь частоты «Dinovert» фирмы Bartec (Германия). Защита сети осуществляется при помощи аппарата АЗУР-4.

Результаты исследований приведены в таб. 1, из которой видно, что кратковременный ток существенно превышает допустимое значение даже при малых емкостях сети.

Таблица 1

С сети, мкФ на фазу, до преобразователя	С сети, мкФ на фазу, после преобразователя	Кратковременный ток утечки, мА, при частоте преобразователя, Гц		
		0	20	50
0,1	0	85	65	55
0,2	0	75	70	65
0,1	0,1	450	330	300
0,2	0,1	370	260	200
0	0,2	800	570	320
0,1	0,2	620	440	300
0,2	0,2	510	380	300

Типовая схема электроснабжения угольного комбайна с частотно-регулируемой подачей приведена на рис. 2

Одной из особенностей таких схем является применение новых шестижильных кабелей типа КГЭБУШВ, которые обладают значительно большей емкостью фазы по отношению к земле, что необходимо учитывать при проектировании схем электроснабжения.

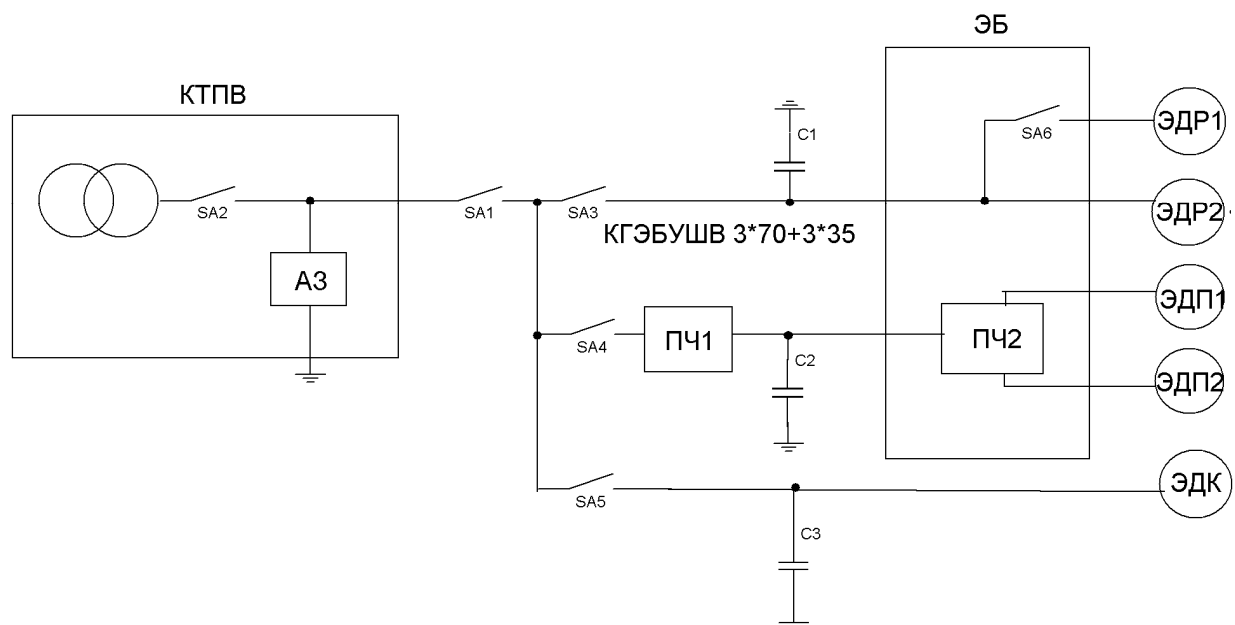


Рис. 2. Типовая схема электроснабжения угольного комбайна с регулируемой подачей и вспомогательных механизмов: КТПВ – трансформаторная подстанция мощностью 1000 или 630 кВА; АЗ – аппарат защиты; SA1 – автоматический выключатель; SA3 – SA5 – пускатели; SA6 – контактор электроблока комбайна; ПЧ1, ПЧ2 – полупроводниковые преобразователи частоты вынесенной подачи комбайна, расположенные на распредпункте участка или встроенные в электроблок комбайна; ЭБ; ЭДР1, ЭДР2 – электродвигатели резания; ЭДП1, ЭДП2 – электродвигатели подачи комбайна; ЭДК – электродвигатель конвейера; C1, C2, C3 – емкости соответствующих участков сети.

Емкостные характеристики вышеуказанных кабелей по сравнению с обычными, приведены в табл. 2

Таблица 2

Тип кабеля	Емкость фазы, мкФ
КГЭБУШ 3x70+3x35	0,48
КГЭШ 3x50	0,21

Данные табл. 2 требуют учета их при установлении мгновенных значений токов утечки в сетях с преобразователями частоты, которые определяются не только активными проводимостями изоляции на землю, но и токами перезаряда емкостей отдельных участков сети при возникновении утечки, а также в результате переключений тириستоров преобразователя частоты.

Необходимо также учитывать взаимное влияние емкостей различных участков сети на переходные процессы формирования токов утечки в любых участках сети, а именно: звена переменного тока частотой 50 Гц, звена постоянного тока и звена тока изменяющейся частоты. Так, ток утечки в звене постоянной частоты (50 Гц) и изменяющейся частоты (0-70 Гц) содержит составляющие частотой 50 и 150 Гц, появляющиеся при коммутации вентиля

выпрямителя и вентилях инвертора. Ток несимметричной утечки в звене постоянного тока содержит значительные переменные составляющие частот 50 и 150 Гц.

Характерные осциллограммы токов утечки в разных режимах, при проведении опытов в реальной распределительной сети напряжением 1140 В с преобразователем частоты, производства ОАО «Элмис» (Киев), для системы вынесенной подачи комбайна УКД-300 приведены на рис. 3.

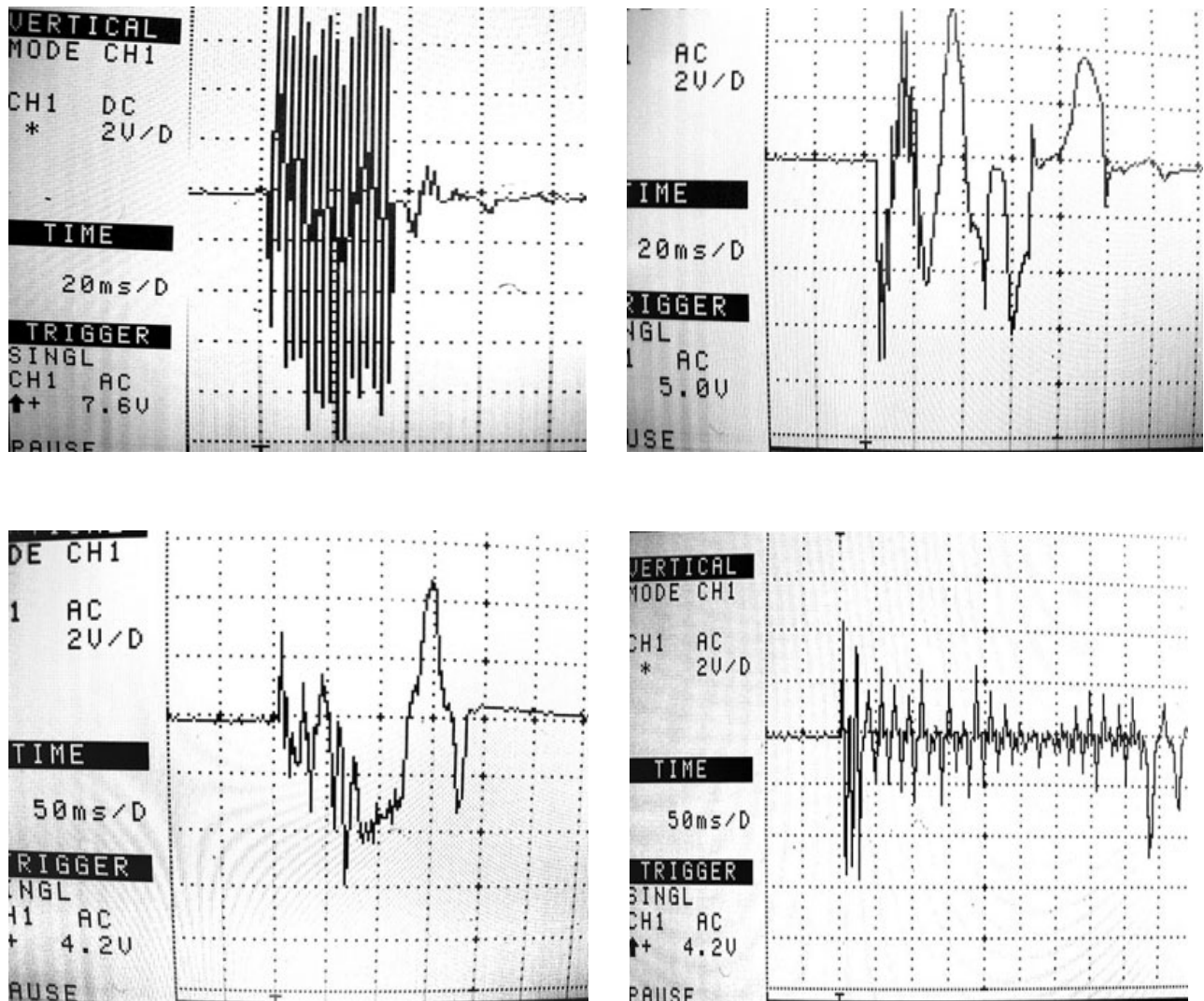


Рис.3. Характерные осциллограммы токов утечки в распределительной сети напряжением 1140 В при частоте преобразователя 0 Гц, $C=0,2$ (а); 20 Гц, $C=0,5$ и $0,2$ (б); 50 Гц, $C=0,7$ и $0,2$ (в); 70 Гц, $C=0,2$ (г).

Анализ приведенных осциллограмм показывает, что ток утечки состоит преимущественно из высокочастотной составляющей, обусловленной работой широтно-импульсного регулятора, и низкочастотной составляющей, соответствующей рабочей частоте преобразователя.

С увеличением частоты преобразователя высокочастотная составляющая в токе утечки снижается, однако ток при этом не является синусоидальным.

Характерной особенностью является то, что при отключении источника

питания через утечку продолжает протекать ток ЭДС выбега двигателя и ток системы рекуперации электроэнергии преобразователя частоты (рис. 3г).

Высокочастотная составляющая за счет снижения емкостного сопротивления сети многократно увеличивает значение тока утечки. В то же время следует отметить, что сигналы основной гармоники и высокочастотной составляющей являются аддитивными и суммируются в процессе протекания.

Задача разработки защиты в комбинированных сетях является актуальной и в то же время достаточно сложной. Поэтому при эксплуатации уже работающих горнодобывающих комплексов необходимо соблюдать следующие требования и ограничения:

- периодический контроль работоспособности аппарата защиты, а при работающей системе подачи комбайна не реже 2-3 раз в смену;
- постоянный визуальный контроль за состоянием прибора аппарата защиты, показывающего сопротивление изоляции защищаемой сети;
- периодическая профилактика состояния изоляции электрооборудования в сети;
- по ответственности обслуживания распределительную сеть необходимо приравнять к электроустановкам напряжения выше 1000 В.

Эти и ряд других мероприятий и ограничений позволят временно эксплуатировать электрооборудование с серийно выпускаемыми аппаратами защиты АЗУР до разработки новых устройств. Причем, разработка и освоение производства новых аппаратов должно быть проведено в возможно короткий срок, так как в последнее время случаи поражения электрическим током в основном происходят по причине ошибочных действий и низкой квалификации обслуживающего персонала [2].

Одно из основных направлений обеспечения безопасности комбинированных сетей – повышение быстродействия защиты с учетом того, что аппарат защиты будет одновременно воздействовать на автомат передвижной подстанции, работу преобразователя частоты и отключать кабельную линию, отходящую от преобразователя частоты при вынесенном варианте электроснабжения.

Данная структура взаимодействия аппарата защиты с остальными составляющими элементами распределительной сети, содержащей силовые полупроводниковые приборы, позволит обеспечить требуемую безопасность при ее эксплуатации. Одним из методов снижения токов утечек и уровня высокочастотных помех в силовых сетях, содержащих преобразователи частоты, является установка полосовых заградительных фильтров, настроенных на частоту работы ШИМ – преобразователя.

Итак, обеспечение требуемого уровня безопасности комбинированных сетей возможно только при комплексном подходе к данной проблеме. Поэтому при дальнейших разработках как частотных преобразователей и аппаратуры управления ими, так и аппаратов защиты комбинированных сетей необходимо учитывать возможность взаимодействия и взаимного влияния всех составляющих элементов системы.

Список литературы

1. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок. – М.: Недра, 1980. – 334.
2. Ковалев А.П., Журавель Е.А., Товстик Ю.В. О нормировании риска поражения человека электрическим током при эксплуатации установок.// Уголь Украины. – 2002. – № 2-3. – 60-61с.