

УДК 621.316.726

В.Г. Куницкий, канд. техн. наук, доц.,  
П.И. Шеленев, ассист, (48762) 6-13-83, [pshelenev@yandex.ru](mailto:pshelenev@yandex.ru)  
(Россия, Новомосковск, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ ШАХТНЫХ СЕТЕЙ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ**

*Проведена сравнительная оценка УЗО, классифицированных по роду используемого оперативного тока, для шахтных комбинированных электрических сетей. Показано, что проблема обеспечения требуемого уровня электробезопасности в таких сетях до настоящего времени полностью не решена.*

*Ключевые слова: устройство защитного отключения, комбинированная сеть, преобразователь частоты, оперативный ток.*

Наиболее эффективным электротехническим мероприятием при эксплуатации сетей с изолированной нейтралью, к которым относятся и шахтные сети с преобразователями частоты различных типов, является обязательное применение устройств защитного отключения (УЗО), обеспечивающих в первую очередь требуемый уровень электробезопасности обслуживаемого персонала. При этом УЗО автоматически тем или иным способом контролируют величину сопротивления изоляции сети относительно земли.

Анализ литературных источников показывает, что все разработанные ранее и разрабатываемые в настоящее время УЗО для шахтных сетей напряжением до 1140 В с частотно-регулируемым электроприводом (ЧРЭП) можно классифицировать по характеру используемого в них оперативного тока следующим образом:

- УЗО, использующие постоянный или импульсный, содержащий постоянную составляющую оперативный ток;
- УЗО, использующие в качестве оперативного переменный ток фиксированной частоты;
- УЗО на переменном оперативном токе, частота которого изменяется по определённому алгоритму, зависящему от частоты выходного напряжения преобразователя частоты (ПЧ), питающего ЧРЭП.

Рассмотрим наиболее характерные варианты УЗО каждого из трех вышеуказанных типов с точки зрения сравнительной оценки их основных достоинств и недостатков и степени соответствия требованиям, предъявляемым к таким устройствам.

С внедрением ЧРЭП на предприятиях горной промышленности предпринимались попытки использовать разработанные ранее для сетей переменного тока промышленной частоты и серийно выпускаемые промышленностью УЗО, использующие постоянный по величине или направлению оперативный ток (УАКИ, АЗУР, АЗАК и т.д.). Однако выяснилось,

что эти средства защиты в той или иной мере неработоспособны в комбинированных сетях, а экспериментальные и теоретические исследования условий их работы в таких сетях позволили выявить и причины, делающие принципиально невозможным применение УЗО этих типов в шахтных комбинированных сетях, имеющих три электрически связанных участка с различными по роду токами.

В связи с этим понадобилась разработка специальных устройств, предусматривающих меры по исключению или хотя бы снижению вредного влияния рабочего тока комбинированной сети на их работу.

В одном из первых устройств такого рода [1] частота переменного синусоидального тока при изменении частоты выходного напряжения ПЧ в диапазонах 2...17 Гц и 17...60 Гц принимает соответственно два фиксированных значения 25 и 12,5 Гц. Это уменьшает влияние помех, обусловленных напряжением участка промышленной частоты (УПЧ) комбинированной сети, а также основной гармоникой напряжения ПЧ на участке изменяющейся частоты (УИЧ). Однако надежная работа УЗО невозможна в диапазоне частот ПЧ от 0 до 17,5 Гц, что обусловлено влиянием высших гармоник выходного напряжения преобразователя. Кроме того, в рассматриваемом устройстве, имеющем достаточно сложную принципиальную схему, не предусмотрен самоконтроль исправности элементов схемы, что является существенным его недостатком.

В основе принципа действия УЗО, разработанного для шахтной участковой сети с ЧРЭП подачи комбайна КШ1КГУ [2], лежит использование оперативного синусоидального тока, частота которого изменяется пропорционально частоте выходного напряжения ПЧ по определённому заданному алгоритму в диапазоне от 4 до 35 Гц. При этом полностью исключается влияние высших гармоник выходного напряжения преобразователя, а также ЭДС наводок в заземляющей жиле кабеля на работу УЗО. В схеме предусмотрен самоконтроль исправности её элементов. Шахтные испытания опытного образца УЗО в составе ЧРЭП подачи комбайна КШ1КГУ показали его работоспособность. Однако существенным недостатком рассматриваемого устройства защиты является сложность принципиальной схемы, насыщенной большим количеством элементов микроэлектроники, что снижает надёжность его работы в тяжелых шахтных условиях эксплуатации.

Более простой вариант схемного решения, повышающий надёжность работы УЗО, предложен в устройстве защиты [3]. В нём значение фиксированной частоты синусоидального оперативного тока, равное 8 Гц, выбиралось с учётом требования по быстродействию, предъявляемого к таким устройствам. В этом случае также устраняются отрицательное влияние и высших гармоник выходного напряжения ПЧ, и ЭДС наводок в заземляющей жиле во всем рабочем диапазоне частот преобразователя, кроме частоты 8 Гц. Очевидно, что нормальное функционирование УЗО

возможно только при автоматическом изменении его уставки срабатывания, когда частота выходного напряжения ПЧ или его высших гармоник, имеющих значительную амплитуду, равна 8 Гц.

Более усовершенствованным вариантом защиты от утечек тока в шахтных сетях, питаемых ПЧ всех известных в настоящее время типов, является УЗО, в которое дополнительно введен блок датчика емкости [4]. Устройство работоспособно как в сетях синусоидального тока промышленной частоты, так и в сетях с любой несинусоидальной формой напряжения. Контролируя дополнительную емкость жил кабеля относительно земли, оно обеспечивает опережающее отключение защищаемой сети до непосредственного прикосновения человека к элементу электрооборудования, находящемуся под напряжением. Опытный образец датчика емкости был испытан в лабораторных условиях в сети, питаемой транзисторным ПЧ. Однако его промышленные испытания в составе устройства защиты и в реальных шахтных условиях не проводились.

В последнее время всё больший практический интерес представляет возможность применения в шахтных комбинированных сетях выпускаемого промышленностью для шахтных сетей переменного тока промышленной частоты аппарата защиты АЗУР различных модификаций, в котором в качестве оперативного используется пульсирующий ток, содержащий постоянную составляющую. Такой интерес к уже выпускаемым серийно средствам защиты, не предназначенным непосредственно для работы в комбинированных шахтных сетях, обусловлен тем, что в силу ряда объективных причин и технического, и экономического характера все рассмотренные выше разработанные для таких сетей УЗО на переменном оперативном токе так и не доведены до серийного производства промышленностью, в связи с чем проблема защиты персонала, обслуживающего электроустановки в комбинированных сетях, на практике так и не решена.

В [5] установлено, что основной причиной неработоспособности УЗО, работающих на постоянном или содержащих постоянную составляющую оперативном токе в сетях с ЧРЭП, является несимметрия утечки тока при её возникновении на участке постоянного тока (УПТ) сети. Так, при возникновении утечки с полюса «+» УПТ имеется полоса частот выходного напряжения ПЧ, когда УЗО либо не срабатывает при недопустимо большой величине токов утечки, либо срабатывает ложно. В диапазоне 0...10 Гц сопротивление срабатывания существенно уменьшается с увеличением частоты, оставаясь ниже уставки срабатывания УЗО, а в диапазоне 0...18 Гц устройство защиты не срабатывает даже при коротком замыкании шины «+» на землю. При возникновении утечки с шины «-» УПТ УЗО срабатывает при завышенных значениях сопротивления срабатывания по сравнению с минимально допустимыми требованиями безопасности значениями. Сопротивление срабатывания при этом практически линейно увеличивается с повышением напряжения УПТ.

Эта причина принципиально устранена в устройстве защиты, построенном на базе АЗУР с введением дополнительного блока – ассиметра [6], который контролирует возникновение несимметричной утечки на УПТ и компенсирует негативное влияние асимметрии полюсных сопротивлений относительно земли на систему защиты. Но, несмотря на положительные в целом результаты промышленных испытаний в составе ЧРЭП комбайнов КШ1ГУ и Х10ПМ, и это УЗО не нашло практического применения из-за сложности принципиальной схемы и трудностей настройки отдельных её узлов, возникающих при работе с различными типами ПЧ. Кроме того, в ассиметре используется источник переменного оперативного тока фиксированной низкой частоты. При работе инвертора того или иного типа это может привести к появлению помех, обусловленных коммутацией ключей инвертора и заключающихся в том, что в любой момент времени к выходу ассиметра, помимо полюсных сопротивлений УПТ, подключаются различные по величине сопротивления изоляции фаз относительно земли участка комбинированной сети с изменяющейся частотой. В результате при неизменных и допустимых требованиями безопасности значениях сопротивлений утечки на УПТ оперативный ток ассиметра может существенно превысит уставку его срабатывания.

Таким образом, проведённый анализ известных в настоящее время средств защитного отключения, разработанных для шахтных комбинированных сетей, позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Всем рассмотренным вариантам УЗО присущи те или иные недостатки, которые ограничивают область их применения и делают серийное производство каждого из них экономически не целесообразным.
2. Несмотря на относительно большое количество предлагаемых специальных УЗО и продолжающиеся работы по их усовершенствованию, проблема обеспечения электробезопасности при эксплуатации ЧРЭП шахтных электроустановок, являющегося наиболее эффективным и перспективным средством дальнейшей интенсификации горных работ, до настоящего времени полностью не решена.

### Список литературы

1. Устройство для защиты от утечки тока в электрической сети: пат. Рос. Федерация. № 744824 СССР, МКИ<sup>3</sup> Н 02 Р3/16.
2. Устройство для защиты от утечки тока в электрической сети переменного тока: пат. Рос. Федерация. № 1356102 СССР, МКИ<sup>3</sup> Н 02 Н3/16.
3. Щуцкий В.И., Бабокин Г.И., Куницкий В.Г. Устройство защитного отключения для сети переменного тока изменяющейся частоты // Электробезопасность. 1996. № 3-4. С. 20-25.
4. . Устройство защитного отключения с датчиком емкости / В.И. Щуцкий [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 3. С. 39-45.

5. Щуцкий В.И., Бабокин Г.И., Лазарев А.И. Экспериментальное исследование условий работы устройств защитного отключения в сети с преобразователем частоты // Электробезопасность. 1996. №3-4. С. 31-41.

*V. Kunitsky, P. Shelenev*

*The analyze of the devices of the protective switching-off for the mine combined electric networks with an alternating current of industrial frequency*

*The comparative estimation of the device of the protective switching-off (DPS), classified on the sort of the utilized operative current is conducted, for the mine combined electric networks. It is shown that the problem of providing of the required level of electrical safety in such networks to the present tense fully is not decided.*

*Keywords: device breaker, combined network, frequency converter, the operational current.*

Получено 12.01.10

УДК 658.26:621.31

Г.И. Бабокин, д-р техн. наук, проф., зам. директора, (48762) 6-13-83, [prorector.nauka@nirhtu.ru](mailto:prorector.nauka@nirhtu.ru),

О.В. Селин, ведущий программист, (48762) 6-13-83, [osel144@yandex.ru](mailto:osel144@yandex.ru)  
(Россия, Новомосковск, НИ РХТУ им. Д.И. Менделеева)

## **ЗАЩИТА ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ УЧАСТКОВОЙ СЕТИ С МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

*Предложена структурная схема защиты от коротких замыканий в системе преобразователь частоты – участковая электрическая сеть, питающая несколько асинхронных двигателей. Получены зависимости времени срабатывания защиты от разных значений порогового напряжения при различных режимах работы электропривода при двухфазном и трёхфазном коротких замыканиях.*

*Ключевые слова: многодвигательный частотно-регулируемый электропривод, аварийный режим, короткое замыкание, пороговое напряжение, время срабатывания.*

Существенным недостатком известного устройства защиты частотно-регулируемого электропривода (ЭП) с общим преобразователем частоты (ПЧ) [1] является невозможность контролировать каждый электропривод в отдельности, при его срабатывании происходит отключение преобразователя от сети. Разработана селективная защита каждого из двигателей, при срабатывании которой отключается только тот ЭП, который работает в аварийном режиме. При аварии в сети до распределительного пункта (РП) отключается ПЧ. Структурная схема предложенного устройства селективной защиты участковой сети с частотно-регулируемым электроприводом (ЧРЭП) представлена на рис. 1.