

И.Б. Гуляева /к.т.н./, М.К. Маренич

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

О.А. Демченко /к.т.н./, Л.А. Муфель /к.т.н./

ГУ «Макеевский государственный научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности» (Макеевка)

АДАПТАЦИЯ СХЕМЫ МАГНИТНОГО ПУСКАТЕЛЯ К РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ СИЛОВОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

Обоснованы технические решения, позволяющие расширить комплекс защитных функций шахтного магнитного пускателя путём адаптации его схемы к процессу выявления (с последующим защитным отключением) электрического контакта фазы сети с незаземлённым металлическим корпусом присоединённого электродвигателя, что создаёт возможность неприсоединения к заземлению центральной жилы отходящего гибкого кабеля и, тем самым, способствует подавлению электропоражающего фактора, определяемого ёмкостью изоляции сети относительно земли.

Ключевые слова: шахтный магнитный пускатель, шахтный гибкий кабель, изоляция, проводимость, электропоражающий фактор, цепь: «фаза сети – корпус двигателя», выявление, защитное отключение, схема, разработка, исследование.

Постановка проблемы

Практика эксплуатации шахтных участковых электрических сетей свидетельствует о проявлении в них электропоражающего фактора, обусловленного ёмкостью изоляции относительно земли. Ёмкостная проводимость изоляции на землю обусловлена взаиморасположением силовых и центральной жил шахтного гибкого кабеля при подключении последней к цепи заземления, что позволяет сделать вывод о нерациональности подхода к самой компоновке системы электроснабжения участка шахты (когда заземление нестационарного электрооборудования осуществляют через центральные жилы кабелей – т.е., именно через те компоненты, которые и являются структурой ёмкости изоляции фаз сети относительно земли). Таким образом, реализуемая в настоящее время функция защиты человека от электропоражения в шахтной участковой электрической сети сводится к обесточиванию человека, по которому уже протекает ток электропоражающей величины, а не к изначальной минимизации этого тока. При этом, защита от электропоражения (защита от утечек тока на землю) воздействует централизованно на всю электрическую сеть участка шахты путём отключения автоматического выключателя участковой трансформаторной подстанции, что говорит об отсутствии селективности защитной функции. Имеющиеся сведения об альтернативных способах обустройства систем электроснабжения технологических участков позволяют

ввести допущение о возможности достижения эффекта электробезопасности без обязательного заземления металлических корпусов силового электрооборудования, а наличие защитных и блокирующих функций в схемотехнике шахтных магнитных пускателей позволяет также ввести допущение о потенциальной возможности их дополнения функцией выявления повышенной проводимости изоляции силовых жил присоединённых гибких кабелей. Решение этой задачи позволило бы существенно снизить параметры электропоражающего фактора, переместить область распространения функции защиты от утечек тока на землю на уровень контроля отходящих присоединений магнитных пускателей, исключить необходимость заземления и изменить предназначение центральных жил шахтных гибких кабелей.

Анализ последних исследований и публикаций

Проводимость изоляции электрической сети участка шахты как фактор риска электротравматизма представлена в исследовании [1]. В результате рассмотрения проблемных вопросов и обоснования путей их решения установлено, что:

– существенное влияние на уровень электропоражающего фактора в шахтной участковой электрической сети оказывает ёмкость изоляции, образуемая между фазными жилами гибких кабелей и их центральными проводниками при под-

ключении последних к цепи заземления. При этом ток в цепи заземления может достигать уровней, сопоставимых с величинами, предельно допустимыми по критерию искробезопасности;

- в условиях подключения центральных проводов шахтных гибких кабелей к заземлениям режим изолированной нейтрали трансформатора не является достаточным в контексте обеспечения электробезопасности эксплуатации шахтной участковой электрической сети;

- обособление центральных проводов гибких кабелей (исключение использования их в качестве заземляющих проводников) и использование их совместно с R-C-VD – цепями контроля в структуре магнитных пускателей является техническим решением, позволяющим выявить повреждение изоляции кабеля, отходящего от пускателя, реализовать селективный контроль состояния изоляции кабелей и селективность защитного отключения электропотребителей при существенном снижении импеданса изоляции силовых фазных проводов кабеля относительно земли;

- неиспользование центральных проводов гибких кабелей в качестве заземляющих позволит предотвратить появление электропоражающего фактора (либо существенно ограничить его уровень) в системе электроснабжения участка шахты; обусловленного импедансами изоляции между фазами сети и землёй;

- подключение R-C-VD – цепей контроля между «звездой» обмоток статора асинхронного двигателя электропотребителя и его корпусом позволяет эффективно выявить электрическое соединение фазы сети с корпусом этого двигателя, а также прикосновение человека к фазе сети и корпусу двигателя (сформировать команду на защитное отключение сети), что позволяет исключить необходимость заземления двигателя через подключение к заземлению центрального провода подводящего кабеля.

Селективность защитного отключения силовых присоединений шахтной участковой электрической сети в случае возникновения повышенной проводимости изоляции кабелей может быть осуществлена магнитными пускателями, которые осуществляют отключения силовых присоединений по факту появления в них ряда аварийных и опасных состояний [2,3]. В исследовании [1] обоснован принцип управления защитным отключением магнитного пускателя при появлении повышенной проводимости изоляции между силовыми жилами отходящего кабеля и его центральным проводом (центральной жилой). Практическую актуальность представляет решение задачи надёжного формирования ко-

манды на защитное отключение магнитного пускателя при появлении повышенной проводимости в цепи «фаза сети – корпус присоединённого электродвигателя». В этом случае, с учётом других защитных функций в схеме магнитного пускателя будет сосредоточен полный комплекс средств защитного отключения отходящего силового присоединения, а в электрической сети участка шахты будет реализован принцип селективного защитного отключения силовых присоединений. При этом будет существенно упрощён подход к реализации общесетевой защиты от утечек тока на землю при одновременном повышении безопасности эксплуатации шахтной участковой электрической сети.

Цели (задачи) исследования

Целью исследования является обоснование принципа адаптации схемы магнитного пускателя к реализации комплексной защиты отходящего силового присоединения, включающей функции выявления повышенной проводимости изоляции отходящего кабеля, в т.ч., повышенной проводимости цепи «фаза электрической сети – корпус присоединённого электродвигателя».

Основной материал исследования

Шахтный магнитный пускатель относится к силовым коммутационным аппаратам, предназначенным для дистанционного включения / отключения присоединённых асинхронных двигателей. Коммутационная способность его контактора согласуется с параметрами коммутируемых токов нагрузки, в т.ч., токов короткого замыкания [2,3], а быстрдействие отключения находится в интервале времени отключения автоматических выключателей, что позволяет реализовать посредством магнитного пускателя функции защитного отключения силового присоединения.

Вывод о быстрдействии коммутационной функции магнитного пускателя основан на анализе параметров применяемых контакторов, где преобладают вакуумные силовые коммутационные аппараты. Так, согласно [4,5], время отключения вакуумного однофазного контактора типа SPVC-630 составляет 0,005...0,009 с., а собственное время отключения трёхфазного контактора типа КВТ-1,14 составляет не более 0,14 с. При этом, время дребезга главных контактов каждого полюса контактора КВТ-1,14 при включении составляет не более 0,005 с., а разновременность замыкания главных контактов трёх полюсов при включении и размыкания главных контактов трёх полюсов при отключении не превышает 0,003 с. Для сравнения, согласно [2,6],

собственное время отключения автоматического выключателя серии А37ХХ в зависимости от типоразмера составляет 0,07...0,9 с. Следует отметить, что контакторы серии КВТ-1,14 являются одними из наиболее распространённых в структуре шахтных магнитных пускателей отечественного производства, что позволяет принять этот тип контактора в качестве базового для дальнейшего рассмотрения.

Предназначенные для эксплуатации в потенциально опасных условиях угольной шахты магнитные пускатели выполняют ряд защитных функций, обусловленных спецификой их функционирования в составе шахтных участковых электротехнических комплексов:

- автоматическое отключение отходящего присоединения при возникновении в нём междофазного короткого замыкания;

- температурная защита присоединённого асинхронного двигателя, работающего с перегрузкой, в т.ч., защитное отключение двигателя в случае его несостоявшегося пуска;

- контроль сопротивления изоляции отключенного силового присоединения и блокировка включения контактора пускателя при недопустимо низком сопротивлении изоляции кабеля.

Кроме этого, схема дистанционного управления контактором также позволяет осуществить ряд защитных функций:

- нулевая защита (отключение контактора при исчезновении напряжения в сети и невозможность последующего самопроизвольного включения контактора);

- защита от потери управляемости при повреждении цепи подключения кнопочного поста.

Следствием развития схемотехники рудничной силовой коммутационной аппаратуры стало дополнение защитных функций магнитного пускателя:

- предварительным контролем состояния изоляции, защитой от утечек тока на землю и от токов короткого замыкания в отходящих присоединениях сигнальных проводников – цепей напряжением 36 В и 42 В [7];

- контролем цепей заземления передвижных машин при питании их напряжением 1140 В [8].

Это свидетельствует о тенденции реализации на базе магнитного пускателя полного комплекса защитных функций. В то же время, схемотехника контроля цепей заземления передвижных машин, реализованная блоком БКЗ, в соответствии с [8]:

- существенно усложняет схему магнитного пускателя, снижая её надёжность (применение мостовой схемы контроля сопротивления изоляции, параметры которой существенно зависят от

величин сопротивлений плеч измерительного моста и характеристик полупроводникового усилителя);

- полностью теряет свою практическую актуальность при условии применения альтернативного подхода к формированию структуры системы электроснабжения технологического участка шахты, где, в соответствии с [1], т.е. при условии применения средств контроля проводимости цепей «фаза электрической сети – корпус электроустановки», не предусматривается заземление металлических корпусов электрооборудования, в т.ч., корпусов передвижных машин.

В то же время, реализация на базе магнитного пускателя функции контроля (с целью защитного отключения электропотребителя) величины проводимости изоляции отходящего силового присоединения, включая цепь «фаза электрической сети – корпус электродвигателя»:

- представляет собой завершающее звено в структуре комплекса защит от аварийных и опасных состояний силового присоединения, отходящего от магнитного пускателя;

- позволяет отказаться от функции централизованной защиты электросети участка шахты от утечек тока на землю и, соответственно, от применения соответствующей аппаратуры в составе распределительного устройства низкого напряжения участковой трансформаторной подстанции (упростив, тем самым, схемотехнику защиты и повысив её надёжность);

- позволяет обеспечить селективность защитного отключения силовых присоединений с повышенной проводимостью изоляции;

- позволяет повысить безопасность эксплуатации электрической сети участка шахты вследствие исключения необходимости заземления центральных жил (проводов) гибких кабелей (определяющих появление ёмкостных проводимостей между фазами сети и землёй).

Как следует из [1], применение R-C-VD – измерительной цепи в структуре асинхронного двигателя (при подключении её между «звездой» обмоток статора и металлическим корпусом двигателя) позволяет выявить эффект касания фазой проводника сети металлического корпуса электродвигателя. Учитывая наличие в структуре кабеля (подводящего электропитание к двигателю) центральной жилы, при условии неподключения её к заземляющей сети, может быть реализован эффект подачи со стороны асинхронного двигателя в схему магнитного пускателя команды на защитное отключение по цепи, в структуру которой входит центральная жила гибкого кабеля.

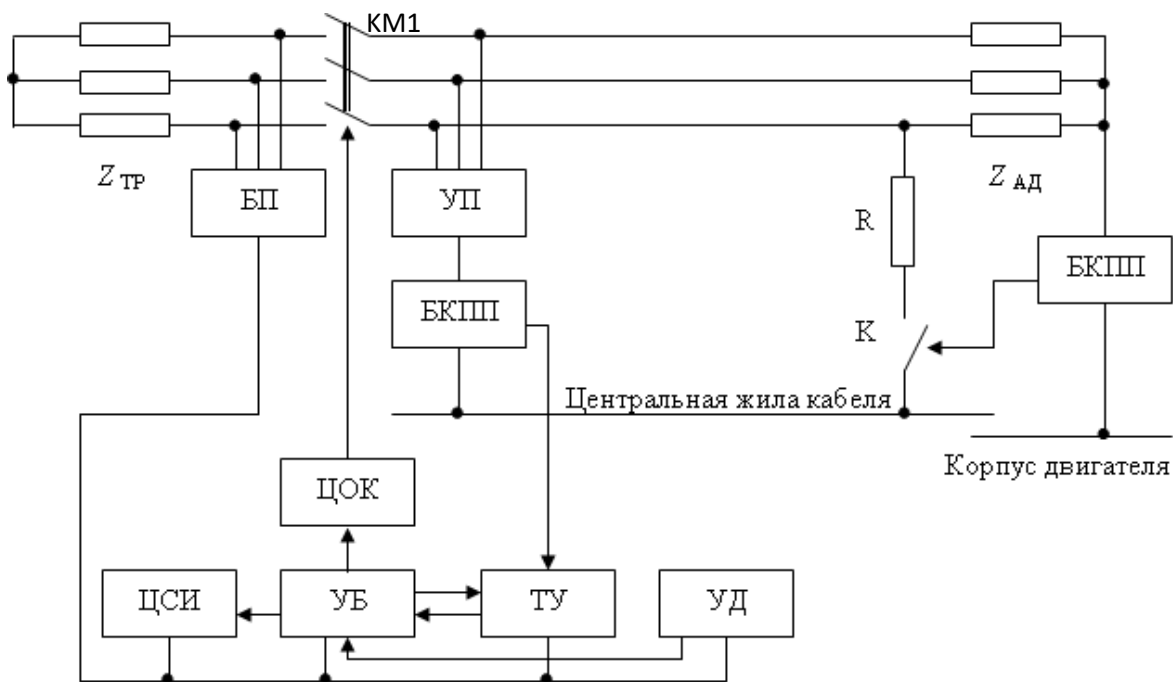


Рис. 1. Блок-схема устройства защитного отключения магнитного пускателя при возникновении повышенной проводимости изоляции отходящего кабеля, включая проводимость цепи «фаза – корпус двигателя» силового присоединения:

БКПП – блок контроля параметров проводимости; *БП* – блок питания магнитного пускателя; *УП* – узел присоединения к фазам сети на выходе магнитного пускателя; *ЦОК* – цепь отключения контактора магнитного пускателя; *КМ1* – силовые контакты магнитного пускателя; *УБ* – узел блокировки; *ТУ* – триггерный узел; *УД* – узел деблокировки; *ЦСИ* – цепь световой индикации; $Z_{тр}$; $Z_{ад}$ – импедансы вторичной обмотки трансформатора участковой подстанции и статора асинхронного двигателя силового присоединения, соответственно

Это положение иллюстрируется рис. 1, где измерительная R-C-VD – цепь представлена блоком контроля параметров проводимости (БКПП), в котором исполнительное реле в случае выявления повышенной проводимости между фазами сети и корпусом двигателя своим контактом К искусственно создаёт повышенную проводимость через сопротивление резистора R с фазы сети на обособленную центральную жилу кабеля. При наличии в структуре магнитного пускателя аналогичной R-C-VD – измерительной цепи (блок БКПП, присоединённый к сети на выходе магнитного пускателя через узел УП) это приведёт к непосредственному отключающему воздействию на контактор магнитного пускателя.

Сопутствующими функциями в этом случае должны выступать:

- фиксация команды на защитное отключение контактора магнитного пускателя (отрабатывается триггерным узлом);
- блокирование отключенного состояния контактора магнитного пускателя;
- световая индикация причины защитного отключения магнитного пускателя;

– функция деблокировки отключенного состояния контактора пускателя.

Принципиальная схема устройства, реализующего данный способ, представлена на рис. 2, где элементами ИЛИ-НЕ (D1-D2) реализуется функция триггера – запоминания импульсной команды на отключение контактора КМ1, формируемой замыканием контакта K1.1 реле K1, а элементами И-НЕ (D3 – D4) реализуется функция деблокировки (кнопка «Деблок.») команды на удержание контактора КМ1 пускателя в отключенном состоянии.

Исполнительным элементом защиты выступает реле К3, находящееся в нормально включенном состоянии, что позволяет осуществлять самоконтроль исправности функциональных узлов защиты. Световую индикацию защитной функции выполняет цепь светодиода VD3.

Как следует из схем (рис. 1, рис. 2), дооснащение структуры магнитного пускателя R-C-VD – измерительной цепью, подключенной между фазами сети (узел УП) и обособленной центральной жилой отходящего кабеля, позволяет, помимо отработки защитной функции при появлении контакта фазы сети с корпусом электро-

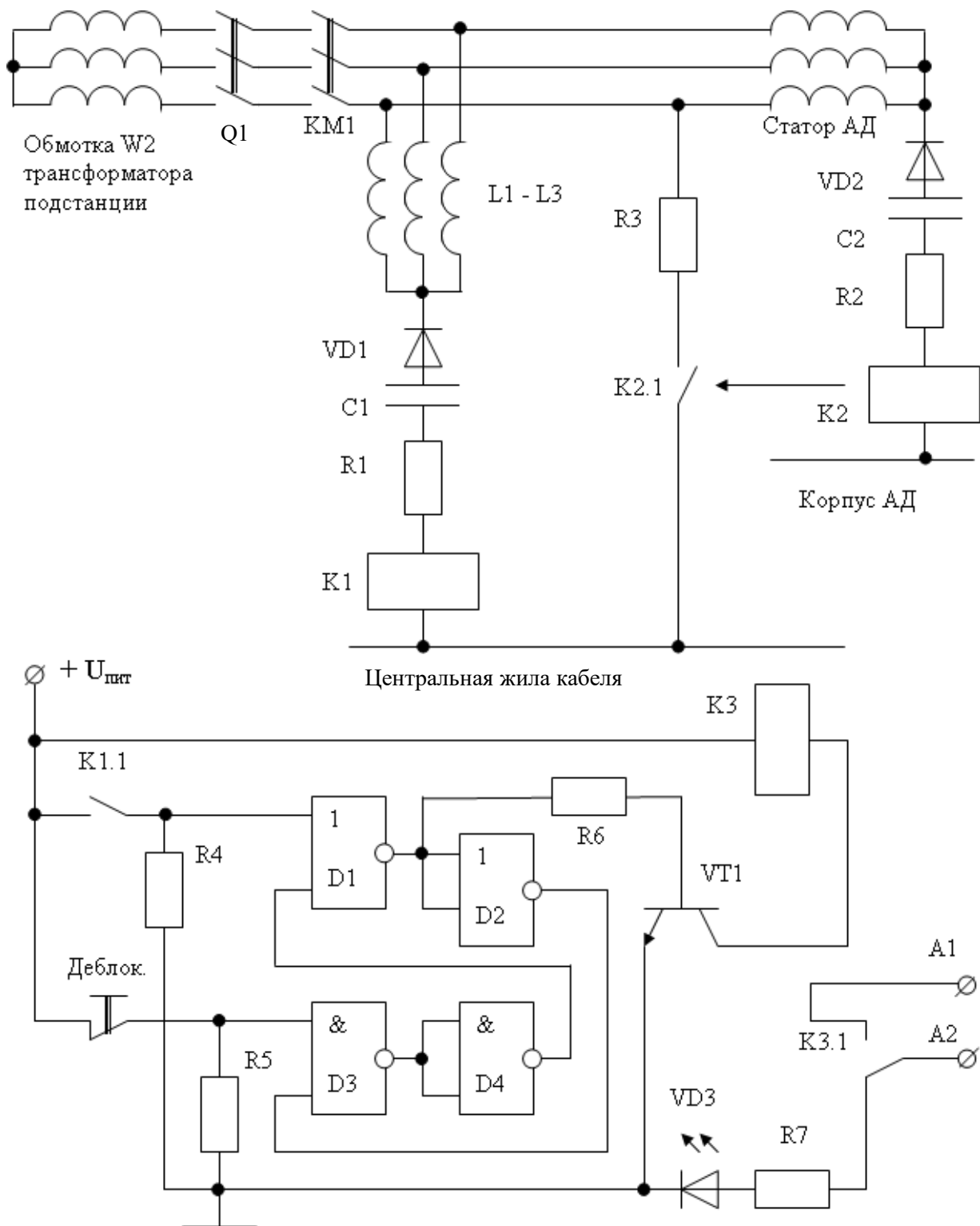


Рис. 2. Схема устройства защитного отключения магнитного пускателя при появлении повышенной проводимости изоляции в кабеле силового присоединения, а также в цепи: «фаза – корпус присоединённого электродвигателя»: контакт К3.1 выводами «А1» – «А2» последовательно присоединён в цепь дистанционного управления контактором КМ1 магнитного пускателя; Q1 – обобщённая структура силовых коммутационных устройств в последовательной трёхфазной цепи перед контактором КМ1

двигателя, выявлять состояние повышенной проводимости изоляции этого кабеля (проводимость между фазами кабеля и его обособленной

центральной жилой). В этом случае также будет иметь место реакция блока БКПП в структуре магнитного пускателя.

Такой подход согласуется с состоянием заземления металлических корпусов силовой коммутационной аппаратуры (магнитных пускателей, станций управления и т.п.). В то же время, развитием данного подхода может быть реализация функции выявления контакта фазы сети с металлическим корпусом силового коммутационного электрического аппарата (магнитного пускателя и т.п.). Это поясняется схемой (рис. 3), где предусмотрен дополнительный блок БКПП между фазами сети (присоединён через узел УП) и металлическим корпусом пускателя. Совместно с цепью R1-K1 он выполняет ту же функцию, что и блок БКПП с цепью R2-K2 в структуре асинхронного двигателя электропотребителя.

В этом случае защитное отключение пускателя не приведёт к устранению опасного состояния объекта, если контакт фазы сети с его металлическим корпусом имел место со стороны ввода к контактору.

В то же время, защитная функция будет реализована в полном объёме в случае контакта фазы сети с корпусом пускателя в цепи, отходящей от его контактора, что в целом, повышает уровень электробезопасности эксплуатации шахтного участкового электротехнического комплекса.

Таким образом, применение (в соответствии с рис. 1 ... рис. 3) технических средств контроля и защиты позволяет:

- отказаться от требований обязательного заземления металлических корпусов электродвигателей, другого нестационарного электрооборудования, входящего в структуру электротехнического комплекса участка шахты;

- кардинально изменить подход к использованию центральных жил гибких кабелей на основе недопущения их подключения к заземляющей сети участка шахты, что позволит исключить создание повышенных ёмкостных проводимостей в цепях «фаза – земля» и, следовательно, опасности возникновения электропоражающего урона тока при касании человека к фазе сети;

- скорректировать функции участкового аппарата защиты от утечек тока на землю, ограничив его область применения исключительно контролем состояния изоляции магистрального кабеля, отходящего от участковой трансформаторной подстанции.

При неподключении центральных жил гибких кабелей к заземляющей сети и существенном снижении, в связи с этим, ёмкостных проводимостей в цепях «фаза электрической сети – земля» логичным представляется допущение

применительно к участковому аппарату защиты от утечек тока на землю о необязательности компенсации ёмкости изоляции сети, выявления и шунтирования на землю (через цепь малого сопротивления) повреждённой фазы. Это существенно упрощает схему данного аппарата, а при условии применения в качестве магистральных – кабелей с обособленной центральной жилой делает возможным применить структуру R-C-VD – измерительной цепи (включающую исполнительное реле, в соответствии с рис. 2) в качестве устройства контроля состояния изоляции присоединений магистрального кабеля. В этом случае воздействие исполнительного реле R-C-VD – измерительной цепи будет распространяться на автоматический выключатель участковой трансформаторной подстанции, а контрольная функция будет возможна и в отношении возникновения контакта фазы с корпусом магнитного пускателя, станции управления и т.п., что сделает необязательным заземление их металлических корпусов.

При условии обособления (неприсоединения к заземлениям) центральной жилы отходящего от пускателя гибкого кабеля (охваченного по всей длине проводящими экранами изоляции силовых жил) касание человеком фазного проводника электрической сети, нормально находящегося под напряжением, не сопровождается возникновением электропоражающего фактора и:

- не вызовет защитное отключение электрической сети при условии наличия высоких сопротивлений между металлическими корпусами электрооборудования и землёй;

- вызовет защитное отключение электрической сети при условии наличия малых величин сопротивлений между металлическими корпусами электрооборудования и землёй (что имеет высокую степень вероятности);

- вызовет защитное отключение электрической сети в случае прикосновения человека к металлическому корпусу электрооборудования.

При этом, в процессе формирования информационного сигнала соответствующим блоком БКПП (в структуре магнитного пускателя, либо в структуре асинхронного двигателя электропотребителя, по рис. 3) через цепь «фаза сети – тело человека – корпус электроустановки» будут протекать импульсы тока i_{VT} в течение интервала времени Δt защитного отключения силового коммутационного аппарата (введём допущение: $\Delta t=0,14$ с. для контактора КВТ-1.14), что иллюстрируется результатами компьютерного моделирования (рис. 4).

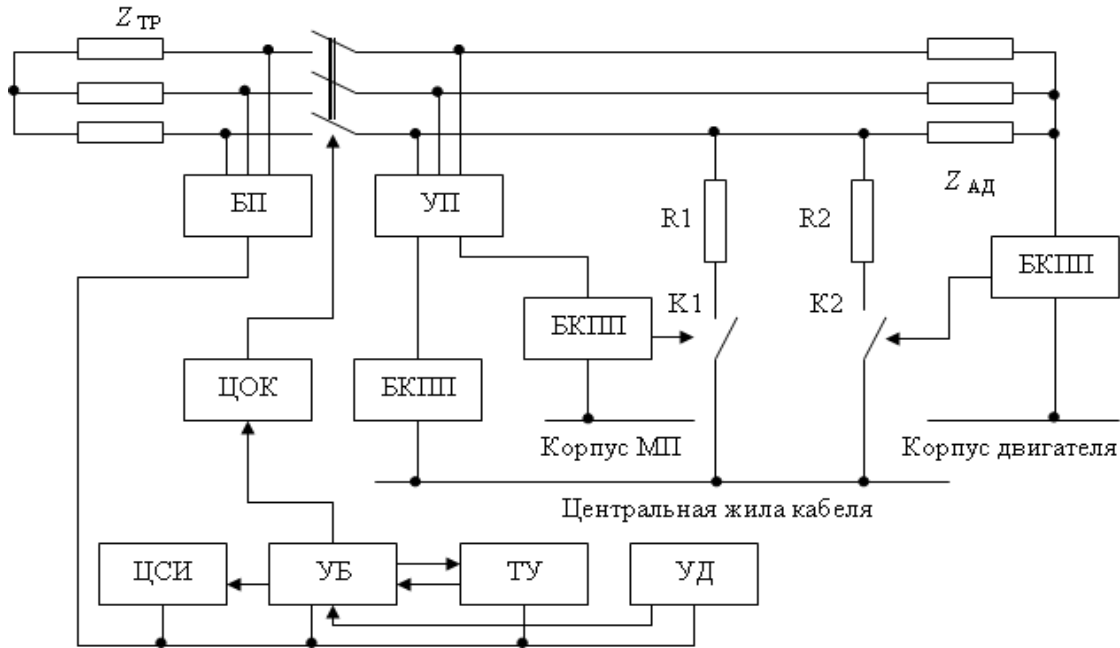


Рис. 3. Блок-схема устройства защиты при возникновении повышенной проводимости изоляции отходящего кабеля, реализующая выявление контакта фазы сети с корпусом электродвигателя потребителя и дополнительно – выявление контакта фазы сети корпусом магнитного пускателя (МП)

При моделировании приняты следующие допущения:

- ёмкость конденсатора блока БКПП (по рис. 2) составляет: $C=200$ мкФ;
- сопротивление резистора блока БКПП (по рис. 2) составляет $R=1$ кОм;
- сопротивление тела человека (при его касании одновременно к фазе сети и корпусу электрооборудования составляет $R_{YT}=1$ кОм;
- активное сопротивление и индуктивность фазы статора рудничного асинхронного двигателя высокой мощности (200 кВт и выше) имеют порядок, соответственно, $R_s \approx 0,06...0,08$ Ом; $L_s \approx 0,0003...0,0005$ Гн, что является несущественным в отношении ограничения тока в цепи «фаза сети – тело человека – корпус электродвигателя – измерительная цепь БКПП – «звезда» обмоток статора двигателя». При моделировании принимаем: $R_s=0,090811$ Ом и $L_s=0,00032833$ Гн, что соответствует параметрам двигателя типа 2ЭКВ4УС2 мощностью 220 кВт [9];
- в качестве электроэнергетического источника принимаем участковую трансформаторную подстанцию КТПВ-1250/6 с параметрами: при линейном напряжении выхода 660 В, активное сопротивление и индуктивность вторичной обмотки равны, соответственно, $R_{mp}=0,0025$ Ом; $L_{mp}=0,0000665$ Гн; при линейном напряжении выхода 1140 В, активное сопротивление и индуктивность вторичной обмотки равны, соответственно $R_{mp}=0,0076$ Ом; $L_{mp}=0,000219$ Гн.

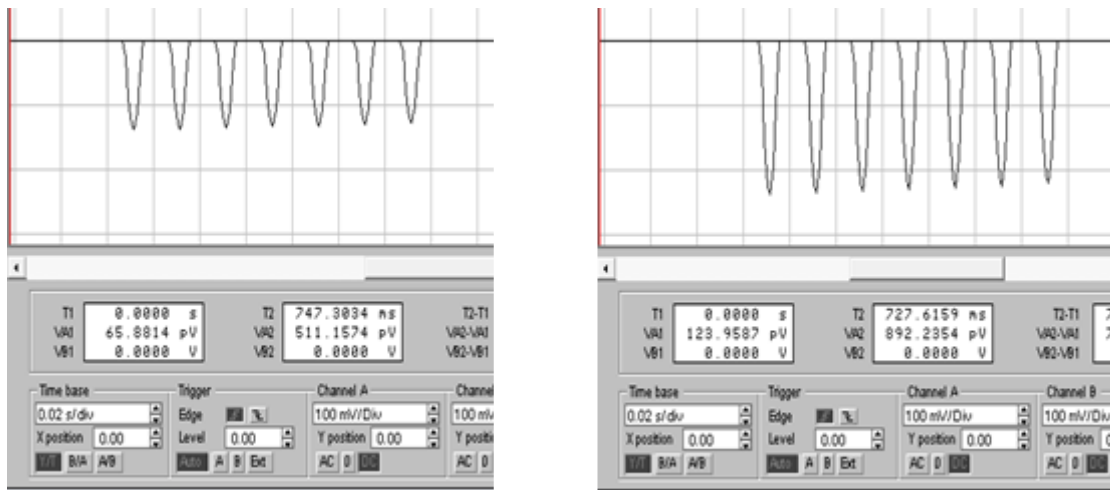
Как следует из результатов моделирования, на интервале времени Δt амплитуды импульсов тока i_{YT} снижаются (в сети напряжения 660 В – от 139 мА до 124 мА; в сети напряжения 1140 В – от 225 мА до 214 мА), что определяется процессом заряда конденсатора C в блоке БКПП. Учитывая синусоидальность импульсов тока i_{YT} и величины расчётных значений его амплитуд, могут быть вычислены действующие значения этого тока для каждого интервала импульса (от t_n до t_k), где ΔT – интервал времени, включающий продолжительность импульса тока и продолжительность последующей бестоковой паузы:

$$I_{YT} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_{t_n}^{t_k} i_{YT}^2 dt}. \quad (1)$$

Результатом вычислений является определение количества электричества через тело человека на интервале времени осуществления защитного отключения электрической сети контактором магнитного пускателя:

$$q = \sum_{i=0}^{i=0,14c} I_{YT} \Delta T_i, \quad (2)$$

где ΔT_i – продолжительность импульса тока i_{YT} и следующей за ним паузы на i -м интервале измерения.



а

б

Рис. 4. Осциллограммы импульсов тока (мА) в цепи «фаза сети – тело человека – корпус электродвигателя – «звезда» обмоток статора электродвигателя при линейном напряжении сети 660 В (а) и 1140 В (б) на временном интервале защитного отключения контактора магнитного пускателя – представлены в результате моделирования как напряжения, снятые на резисторе сопротивления 1 Ом. Цена деления шкалы осциллографа – 100 мВ/деление

В данном случае в течение $\Delta t=0,14$ с. параметры количества электричества q через тело человека составляют: для сети линейного напряжения 660 В 12,55 мА·с; для сети линейного напряжения 1140 В – 21,72 мА·с, что существенно меньше в сопоставлении с предельно допустимыми параметрами q , нормируемыми по [10] ($q_{доп.}=50$ мА·с).

Величина тока i_{YT} соответствует (по критерию достаточности) параметрам срабатывания значительной номенклатуры исполнительных электромагнитных реле (как исполнительных элементов блока БКПП). Этот ток может быть ещё более понижен увеличением сопротивления резистора R данного блока. Однако и при $R=1$ кОм работоспособность средства защиты при $q < q_{доп.}$ поддерживается.

При условии применения данных схемных решений, обязательного изолирования от заземления центральных жил шахтных гибких кабелей, использующихся в структуре электротехнического комплекса участка шахты, дополнительным средством в области повышения электробезопасности эксплуатации силового рудничного электрооборудования следует считать наложение изоляционных покрытий на внутренние поверхности отсеков кабельных вводов силовых коммутационных аппаратов и асинхронных двигателей.

Выводы

Исследованием доказана возможность расширения комплекса защитных функций шахтного магнитного пускателя вследствие адаптации

его схемы к процессу выявления (с последующим защитным отключением) электрического контакта фазы сети с незаземлённым металлическим корпусом присоединённого электродвигателя (присоединённой электроустановки). Предложенные схемные решения предусматривают неподключение центральной жилы отходящего от пускателя гибкого кабеля к заземлениям и использование её в качестве проводника для передачи в схему магнитного пускателя информационного сигнала как о снижении сопротивления изоляции фазных проводников кабеля, так и о наличии высокой проводимости между фазой электрической сети и металлическим корпусом присоединённого электродвигателя (присоединённой электроустановки).

Предложенные технические решения позволяют выявлять (с последующим защитным отключением электрической сети) факт касания человеком фазы сети и незаземлённого металлического корпуса электродвигателя, присоединённого к магнитному пускателю. При этом параметр количества электричества через тело человека поддерживается на безопасном уровне.

Список литературы

1. Проводимость изоляции электрической сети участка шахты как фактор риска электротравматизма. Проблемные вопросы и пути их решения / И.Б. Гуляева, Е.С. Дубинка, М.К. Маренич, Л.А. Муфель, О.А. Демченко // Вестник Донецкого технического университета. – Донецк, ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – Вып. 3(25). – С. 34-47.

2. Справочник энергетика угольной шахты: в 2 т. / [Дзюбан В.С., Ширнин И.Г., Ванеев Б.Н., Гостищев В.М.]; под ред. Б.Н. Ванеева. – [2-е изд., перераб. И доп.]. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2001. – Т.1.: (Гл.1-21). – 477 с.; Т.2.: (Гл.22-44). – 440 с.
3. Пускатели взрывозащищённые искробезопасные ПВИТ-630МВ, ПВИТ-515МВ, ПВИТ-400МВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.exdi.ru/file_str/423.pdf. – Загл. с экрана.
4. Контактёр однофазный вакуумный серии SPVC. Техническое описание: Контактёр серии SPVC, завод «Таврида», Севастополь: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.org/2008/fema/tarasenko/library/5.htm>. – Загл. с экрана
5. Контактёры вакуумные типа КВТ-1,14. Руководство по эксплуатации КУ-ЮЖ.644536.001. РЭ. – 34 с. – Режим доступа: <https://xn---7sbbf0bfcbnkld2a0acga8m.xn-p1ai/uploads/files/Rukovodstvo%20KVT-1,14.pdf>. – Загл. с экрана.
6. Выключатели автоматические А3790. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ОБЕ.140.010.ТО. – Режим доступа: http://www.pec.by/content/files_a3790u/a3790_to_ie.pdf. – Загл. с экрана.
7. Пускатель взрывозащищённый искробезопасный ПВИТ-М: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sinref.ru/000_uchebniki/01791shahtnoe_oborudov/051_puskatel_pvit_m/015.htm. – Загл. с экрана
8. Блоки БКЗ контроля цепей заземления передвижных машин при питании их напряжением 1140 В: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/novoe-vzryvozaschischennoe-elektrooborudovanie-18.html> – Загл. с экрана
9. Каика В.В. Взрывозащищённые асинхронные двигатели: выбор, эксплуатация и ремонт / В.В. Каика, Т.В. Швецова, А.И. Аниканов и др.; под. общ. Ред. В.В. Каики. – Донецк: Юго-Восток, 2010. – 360 с.
10. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия: ГОСТ 22929-78. С изменениями согласно ИУС 11-80, 7-81, 11-83. Соответствует СТ СЭВ 2309-80. – [Вступил в силу 01.01.79]. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 13 с. – (Межгосударственный стандарт).

I.B. Guliaeva /Cand. Sci. (Eng.), M.K. Marenich

Donetsk National Technical University (Donetsk)

O.A. Demchenko /Cand. Sci. (Eng.)/ L.A. Mufel /Cand. Sci. (Eng.)/.

State Makeevka Safety in Mines Research Institute (Makeevka)

ADAPTATION OF THE MAGNETIC STARTER CIRCUIT TO THE IMPLEMENTATION OF INTEGRATED PROTECTION OF THE POWER CONNECTION

Background. Previous studies have established the possibility of monitoring the phase short circuit to the motor housing in the structure of the electrical complex of the mine section without necessarily connecting the motor frame to ground via the center wire of the flexible cable. The isolation of this central wire makes it possible to largely suppress the parameters of the electrodamaging factor. The substantiation of the structure and development of a circuit for controlling the protective shutdown of a magnetic starter, which reacts to the appearance of increased conductivity between the phase of the electrical network and the metal case of the connected electric motor, is of scientific and practical relevance.

Materials and/or methods. Based on the conceptual provisions of the general theory of electrical engineering, taking into account the specifics of building a power supply system for a mine site, the structure was substantiated and a circuit was developed for controlling the protective shutdown of the starter, which reacts to the appearance of increased conductivity between the network phase and the housing of the connected electric motor. The computer simulation method was used to analyze the protective functions of the device in relation to the variant of the response to a person touching the network phase and the ungrounded body of the electric motor.

Results. The study proved the possibility of expanding the complex of protective functions of a mine magnetic starter by adapting its circuit to the process of detecting (with subsequent protective disconnection) the electrical contact of the network phase with the ungrounded metal housing of the connected electric motor (connected electrical installation). The proposed circuit solutions provide for the non-connection of the central core of the flexible cable extending from the starter to the earths and

its use as a conductor for transmitting an information signal to the magnetic starter circuit both about a decrease in the insulation resistance of the phase conductors of the cable, and about the presence of high conductivity between the phase of the electrical network and the metal housing when an electric motor (connected electrical installation) is connected.

The proposed technical solutions make it possible to detect (with subsequent protective disconnection of the electrical network) the fact that a person touches the phase of the network and the ungrounded metal housing of the electric motor connected to the magnetic starter. At the same time, the parameter of the amount of electricity through the human body is maintained at a safe level.

Conclusion. *The technical solutions allowing to expand the complex of protective functions of the mine magnetic starter by adapting its circuit to the process of detecting (followed by protective disconnection) the electrical contact of the network phase with the ungrounded metal housing of the connected electric motor are substantiated, which creates the possibility of non-alignment to the grounding of the central core of the outgoing flexible cable and, thereby, contributes to the suppression of the electric disturbing factor determined by the insulation capacity of the network relative to the ground.*

Keywords: *mine magnetic starter, mine flexible cable, insulation, conductivity, electric disturbing factor, circuit: "network phase - motor housing", detection, protective shutdown, circuit, development, research.*

Сведения об авторах

И.Б. Гуляева

SPIN-код: 7065-0724
 ORCID iD: 0000-0001-8215-4297
 Researcher ID: 3503273
 Телефон: +380 (71) 332-75-75
 Эл. почта: iraguliaeva@gmail.com

О.А. Демченко

Телефон: +380 (71) 373-92-58
 Эл. почта: maknii.ra@gmail.com

М.К. Маренич

Телефон: +380 (71) 328-05-79
 Эл. почта: marenichmk@gmail.com

Л.А. Муфель

Телефон: +380 (71) 475-08-99
 Эл. почта: maknii.ra@gmail.com

Статья поступила 17.12.2021 г.

*© И.Б. Гуляева, О.А. Демченко М.К. Маренич, Л.А. Муфель, 2021
 Рецензент д.т.н., проф. А.П. Ковалёв*

