

А.В. Савицкий, В.Н. Савицкий, А.И. Белошистов

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЕ АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ ОТ ТОКОВ УТЕЧЕК НА ЗЕМЛЮ В ШАХТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1200 В

Характеристика аппаратов защиты от токов утечки в шахтных распределительных сетях, их недостатки в части безопасной эксплуатации и несоответствия современным требованиям. Алгоритм работы нового аппарата, новый принцип определения аварийного режима работы и нахождения поврежденной фазы. Результаты разработки аппарата.

К л ю ч е в ы е с л о в а: аппарат защиты, безопасность в шахтах, ток утечки, распределительные сети, сопротивление изоляции, контроль параметров сети, емкость кабеля, измерительный ток.

Характеристика апаратів захисту від струмів витоку в шахтних розподільних мережах, їх недоліки в частині безпечної експлуатації і невідповідності сучасним вимогам. Алгоритм роботи нового апарату, новий принцип визначення аварійного режиму роботи і знаходження пошкодженої фази. Результати розробки апарату.

К л ю ч о в і с л о в а: апарат захисту, безпека в шахтах, струм витоку, розподільні мережі, опір ізоляції, контроль параметрів мережі, ємність кабелю, вимірювальний струм.

Постановка проблемы. В целях безопасной эксплуатации распределительных электрических сетей и электрооборудования напряжением до 1200 В на предприятиях угольной и горнорудной отраслей промышленности Правила безопасности (ПБ) предписывают обязательное применение защиты от токов утечки на землю. Для этого разработано и применяется множество различных аппаратов защиты (АЗ) для непрерывного контроля сопротивления изоляции сети в процессе работы и отключения токоприемников от источника питания при возникновении нарушения изоляции электрооборудования или прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.

Следует отметить, что при исправных АЗ до последнего времени было очень мало случаев поражения людей электротоком [1], а в распределительных сетях напряжением 1140 В вообще не было ни одного случая. Однако в последние два года только в одной шахте произошло два случая поражения людей. Расследование причин несчастных случаев указывало на «человеческий фактор», обусловленный сложностью обслуживания АЗ,

что побуждает устранить этот недостаток. Кроме того, интенсивное внедрение систем автоматизации на горных предприятиях не позволяет интегрировать ранее разработанные АЗ в указанные системы.

Поэтому вопрос разработки и поиска новых решений эффективной защиты от утечек тока на землю с широкой её информативностью является актуальным.

Анализ исследований и публикаций. С ростом питающего напряжения шахтной сети от 380 до 1140 В, повышением энерговооруженности технологического оборудования, развитием распределительных сетей, повышением требований к устойчивой и безотказной работе АЗ они усложнялись и прошли этапы развития от простейших реле типа РУВ и УАКИ до сложных электронных устройств типа АЗУР [2]. В результате ряда модернизаций и совершенствований АЗ и как следствие выпуска их разными заводами в настоящее время в эксплуатации на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Украины находятся одновременно аппараты типа УАКИ, БЗП-1А, АЗАК, АЗПБ, АЗШ и серия аппаратов АЗУР 1...4,-1М общей сложностью свыше 6 тысяч единиц. Основная часть АЗ выпущена в 70-80 годах прошлого века, а достаточно много аппаратов работает и с 60-х годов. Естественно, от их состояния во многом зависит безопасность эксплуатации электрооборудования и жизнь людей. Некоторые АЗ одной серии, выпускаемые разными заводами или в разное время, в свою очередь, имеют ряд модификаций, отличающихся друг от друга конструктивными и схемными особенностями. Сложностью является также то, что указанные аппараты с разными схемами и конструкциями находятся в эксплуатации одновременно на одном предприятии, что требует разносторонней и высокой квалификации обслуживающего персонала.

Действующий ГОСТ 22929-78 предписывает ряд жестких требований с точки зрения защиты людей, что потребовало существенного усложнения схем АЗ с применением электроники. В России в 2004 г. введен в действие аналогичный ГОСТ Р 52329, который усилил некоторые требования к АЗ и вынудил разработчиков совершенствовать их [3]. В то же время, какие бы совершенные принципы работы не закладывались в АЗ в отношении выполняемых функций, безопасность эксплуатации защищаемых ими сетей не может быть гарантирована, если эти аппараты не обладают достаточной надежностью функционирования и, прежде всего, надежностью выполнения основных функций. В этих условиях требуемая надежность функционирования обеспечивается путем введения самоконтроля исправности и резервирования основных узлов и элементов всей системы защитного отключения в целом, а требуемая наработка на отказ АЗ должна быть не менее 20 000 час.

Однако выполнить указанные требования на дискретной элементной базе весьма проблематично. Обследования и анализ более 1000 сданных в ремонт аппаратов показали [4], что только 7,7 % из них находились в рабочем состоянии, 20,8 % аппаратов требовали капитального ремонта, а остальные (71,5 %) –

среднего ремонта. Причем, за последние годы количество аппаратов, требующих капитального ремонта, возросло в 2 раза. С каждым годом ситуация усугубляется. Для подтверждения работоспособного состояния АЗ в условиях эксплуатации ПБ предписывают ежеменную проверку работоспособности АЗ методом создания искусственной утечки через сопротивление, равное 80 % уставки срабатывания. Данная проверка не позволяет выявить все виды неисправности АЗ, что вызывает сомнение в целесообразности такого требования. Анализ последних аварий указывает на недостаточность таких мероприятий, учитывая «человеческий фактор» (низкую квалификацию обслуживающего персонала).

Все множество типов эксплуатируемых АЗ имеет одинаковые принципы действия, основанные на наложении постоянного измерительного тока на сеть и компенсации емкостных токов на землю. Такое построение схемы подтвердило свою жизненность на протяжении многих лет, однако пределы его совершенствования себя исчерпали. Особенно это касается вопроса компенсации емкостных токов на землю. В распределительных сетях угольных шахт напряжением до 1200 В эффективным средством снижения токов утечки при однофазных замыканиях на землю как с точки зрения снижения емкостных токов утечки на землю, так и с точки зрения повышения точности и чувствительности обнаружения поврежденной фазы сети, многие годы считалась статическая или автоматическая компенсация емкостных токов утечки. Этот принцип положен в основу работы практически всех известных АЗ, работающих в шахтных распределительных сетях, но с использованием различных схемных решений. Практика эксплуатации не подтвердила правильности принятых решений. Обследование аппаратов при ремонте показывает, что в условиях эксплуатации более 90 % устройств компенсации в аппаратах типа АЗУР-1, АЗПБ, АЗШ оказались неработоспособными, причем выявить неисправность в условиях эксплуатации не представляется возможным. В аппаратах на напряжение 1140 В (АЗУР-4) компенсация емкостных токов носит вспомогательный характер, т.к. не обеспечивает параметры безопасности. Основной ее целью является повышение чувствительности устройства выбора и шунтирования поврежденной фазы сети на землю, основанного на измерении относительных значений фазных напряжений [2]. Однако положенный в основу устройства компенсации принцип действия работоспособен только при его правильной настройке, т.е. если индуктивная проводимость равна или меньше емкостной проводимости сети. В случае же перекомпенсации (индуктивная проводимость сети больше емкостной) существуют режимы работы сети, при которых напряжение опережающей фазы становится меньше напряжения поврежденной фазы, в результате чего может произойти неправильный выбор поврежденной фазы и, как следствие, дается команда на шунтирование неповрежденной фазы, чем ещё более усугубляется степень аварии. Поэтому такие АЗ могли иметь только ограниченную чувствительность схемы выбора поврежденной фазы,

не превышающей несколько кОм, и низкое быстродействие. Кроме того, настройка таких схем трудоемка, требует высокой квалификации обслуживающего персонала, с наличием которого на шахтах существуют большие проблемы.

Ранее были известны и другие методы определения поврежденной фазы [5], однако реализовать их при помощи дискретной элементной базы не представлялось возможным.

Сегодня с развитием и широким применением микроконтроллерной техники в устройствах релейной защиты [6] оказалось возможным построение принципиально новых АЗ, обладающих рядом новых функциональных возможностей при существенно меньших габаритных размерах и массе.

Цель статьи. Обосновать и разработать новую серию микроконтроллерных АЗ от токов утечки на землю, позволяющую существенно повысить безопасность и информационность распределительных электрических сетей горных предприятий.

Результаты исследований. В основу создания новой серии АЗ от токов утечек на землю в распределительных сетях напряжением до 1200 В положены технические требования, введение которых диктуется потребностью интеграции этих аппаратов в современное автоматизированное производство.

Основные технические требования, предъявляемые к новой серии АЗ:

а) повышение надежности функционирования, обеспечение наработки на отказ не менее 20 тыс. часов;

б) обеспечение функционального самоконтроля и самотестирования элементов схемы, позволяющих производить проверку аппарата один раз в сутки;

в) автоматическая адаптация к напряжению сети и автоматический выбор уставок, расширение зоны применения АЗ при увеличении протяженности защищаемой сети (допустимая емкость контролируемой сети – до 2 мкФ/фазу);

г) запись режимов проверки и аварийных срабатываний аппарата (организация функции «черного ящика»);

д) отображение на дисплее в реальном времени параметров сети, состояния аппарата и режимов проверки;

е) интеграция аппарата в систему нижнего уровня автоматизации предприятия (передача данных по интерфейсу RS-485);

ж) дистанционная проверка АЗ;

з) проверка общего времени срабатывания АЗ совместно с автоматическим выключателем (АВ) в условиях шахты без применения дополнительных устройств контроля времени.

Указанные требования положены в основу разработки алгоритма работы АЗ новой серии (таблица 1).

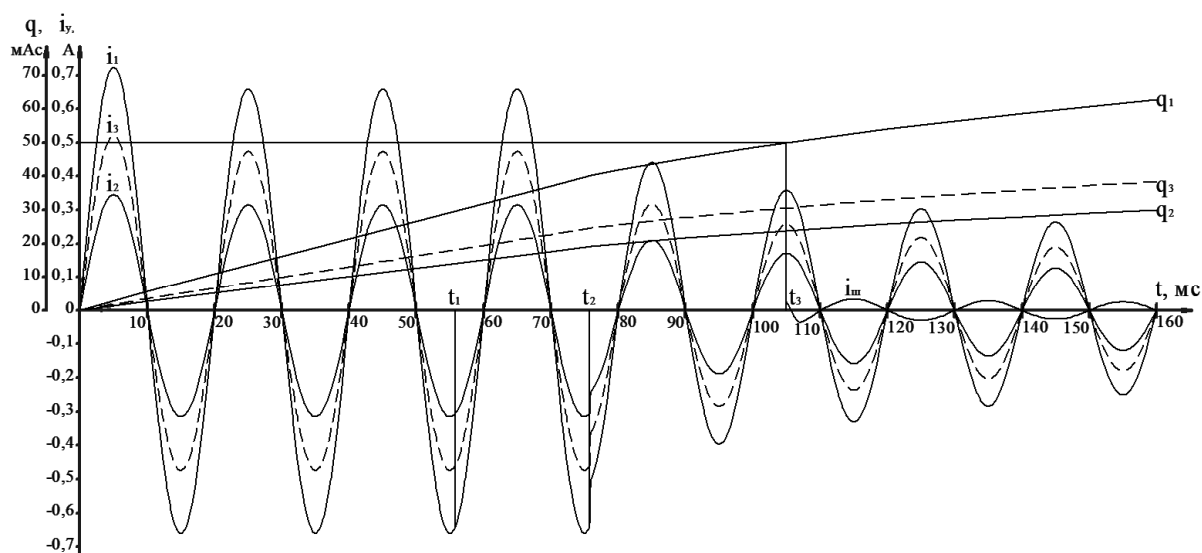
Таблица 1

№	Параметр	Обозначение
Контроль работы (самоконтроль и самотестирование) с индикацией состояния аппарата защиты		
1	Контроль целостности цепи и модуля измерительного тока, накладываемого на контролируемую сеть	$I_{изм}$
2	Контроль целостности цепи формирования напряжения, пропорционального уставке срабатывания	$U_{уст}$
3	Отсутствие или наличие фазных напряжений (режим предварительного контроля изоляции или реле утечки)	U_A, U_B, U_C
4	Измерение модулей фазных напряжений (адаптация к напряжению сети)	U_A, U_B, U_C
5	Определение и контроль несимметрии фазных напряжений	не более 15 %
6	Выбор уставок срабатывания схемы контроля сопротивления изоляции сети и УВПФ	$R_{уст}$
7	Выдача команды на исполнительный орган	Q_S
Контроль сопротивления изоляции сети и определение поврежденной фазы		
8	Обнаружение аварийного режима в зависимости от силы измерительного тока и уставки срабатывания	$f(I_{изм}, I_{уст})$
9	Определение функции УВПФ в зависимости от модуля напряжения нулевой последовательности (ННП) и фазовых смещений, определение поврежденной фазы	$f(U_N , U_A \wedge U_N, U_B \wedge U_N, U_C \wedge U_N)$
10	Выдача команды на исполнительные органы	Q_A, Q_B, Q_C, Q_S
11	Блокирование сигнализации после срабатывания аппарата	
12	Автоматический взвод исполнительного реле после отключения напряжения сети и при нормальном состоянии сопротивления изоляции сети	
13	Отображение на информационном дисплее данных о состоянии сети, аппарата, а также текущих параметров измерения и уставки срабатывания по сопротивлению	$U_L, R_{из}, t$
14	Деблокирование сигнализации	
Режим проверки		
15	Определение времени срабатывания исполнительного реле и УВПФ и полного времени срабатывания совместно с АВ при сопротивлении утечки $R_{ут}=1\text{кОм}$	$t_{собст.}, t_{УВПФ}, t_{полн.}$
16	Отображение на информационном дисплее параметров проверки с текущей датой и временем	
17	Организация «черного ящика», запись данных об аварийных срабатываниях аппарата и результатах проверки	
18	Передача данных по протоколу RS-485. Интегрирование в сеть нижнего уровня автоматизации	

В качестве исходных данных для выбора принципа действия устройства выбора поврежденной фазы (УВПФ) приняты требования ГОСТ 22929-78 о непревышении предельных значений силы кратковременного тока (100 мА) и количества электричества (50 мА·с), протекающих через сопротивление утечки. Учитывая тот факт, что положенный в основу принцип определения поврежденной фазы не содержит компенсации емкостных токов и, соответственно, изменяются условия воздействия тока на человека, целесообразно определить необходимые параметры срабатывания УВПФ.

Процесс отключения утечки в сети с последующим отключением контакторов [7] приведен на рисунке 1. Он проходит в несколько стадий, при которых учитываются следующие параметры: обнаружение утечки, выбор поврежденной фазы, отключение силового АВ, скачкообразное снижение напряжения на зажимах АВ после его отключения, действие электродвижущей силы (ЭДС) выбега электродвигателей, шунтирование поврежденной фазы на землю малым сопротивлением.

Сила кратковременного тока утечки определяется в начальной стадии процесса ее возникновения, а количество электричества – как сумма всех составляющих процесса.



- i_1 – сила тока через утечку при $U=1140$ В и емкости сети $C_c=1$ мкФ/фазу;
- i_2 – сила тока через утечку при $U=660$ В и емкости сети $C_c=1$ мкФ/фазу;
- i_3 – сила тока через утечку при $U=660$ В и емкости сети $C_c=2$ мкФ/фазу;
- q_1, q_2, q_3 – количество электричества через сопротивление утечки при соответствующих параметрах сети;
- t_1 – момент выдачи сигнала на отключение АВ;
- t_2 – момент отключения АВ;
- t_3 – момент шунтирования поврежденной фазы на землю

Рисунок 1 – Диаграмма протекания процесса отключения утечки в сети с сопротивлением изоляции 1 кОм

Пользуясь изложенной методикой определения допустимых значений действия тока на человека [2], определяется время и уставка по сопротивлению срабатывания УВПФ. Ток от момента возникновения утечки до отключения сети изменяется по закону:

$$i_{y1} = I_0 + I_{1m} \sin \omega t + I_{2m} e^{-\alpha t} + I_{3m} e^{-\alpha t} \sin(\omega_0 t + \alpha),$$

где I_0 – сила постоянного измерительного тока аппарата;
 I_{1m} – амплитуда установившегося значения силы тока утечки;
 I_{2m} и I_{3m} – амплитуды аperiodической и свободной составляющих;
 ω_0 – частота свободной составляющей.

После отключения сети её напряжение уменьшается по экспоненциальному закону, а сила тока через утечку равняется:

$$I_{y2} = I_0 + K_1 I_{1m} e^{-\frac{t}{T_{ЭД}}} \sin \omega t,$$

где K_1 – коэффициент снижения напряжения после отключения сети;
 $T_{ЭД}$ – постоянная времени, определяемая параметрами сети с учётом работающего электродвигателя.

Третья составляющая тока, воздействующего на человека, появляется после отключения контакторов под действием ЭДС выбега электродвигателя на одиночном ответвлении сети. Исходя из этого, количество электричества через утечку определяется в виде среднеквадратического значения

$$q = \sqrt{I_0^2 + t_1 \int_0^{t_1} i_{y1}^2 dt + K_1(t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} i_{y2}^2 dt}. \quad (1)$$

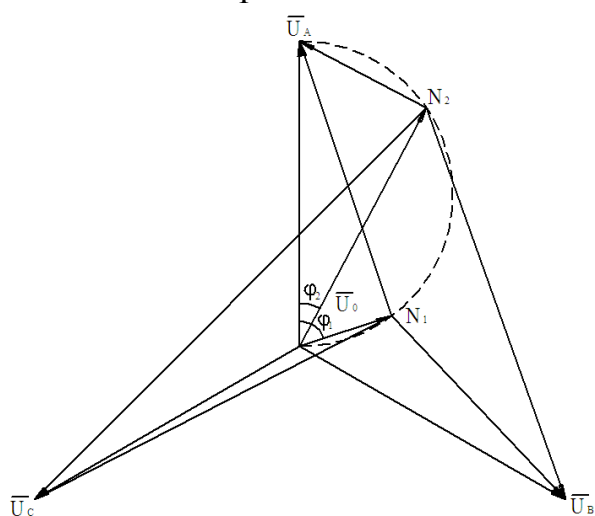
Учитывая, что в реальном аппарате $I_0=0,6$ мА, первым слагаемым можно пренебречь. Исходя из условия обеспечения безопасности при условии максимально допустимого значения количества электричества, оно определяется при напряжении $1,1U_{ном}$ и емкости сети 1 мкФ/фазу. Суммарное время отключения утечки совместно с АВ, полученное экспериментальным путем, принимается равным 80 мс. Тогда $q_1(t_1)=41$ мА·с. Второе слагаемое q_2 , следовательно, не должно превышать 9 мА·с.

Исследовав функцию (1) на максимум при принятых значениях $U_{ф}=1,1U_{ном}$, $q=50$ мА·с и $C_c=1$ мкФ/фазу, определяем, что время срабатывания схемы УВПФ в сети напряжением 1140 В с учётом $K_1=0,83$ и для $t_3 \approx 1$ с, должно быть не более 0,11с, а уставка срабатывания по сопротивлению – не менее 7,5 кОм.

Следовательно, с учетом запаса АЗ должен обеспечивать отключение и шунтирование утечки за время не более 110 мс вместо 170, как было принято раньше. После шунтирования поврежденной фазы сила тока через утечку снижается, по меньшей мере, в 10 раз, становится меньше допустимого значения и в дальнейшем в расчетах не учитывается.

Теоретические исследования фазовых зависимостей при возникновении утечки на землю показывают принципиальную возможность существенно повысить уставку срабатывания УВПФ и снизить время шунтирования поврежденной фазы без ущерба для устойчивости работы АЗ, что многократно повышает безопасность эксплуатации сети. Практические испытания подтвердили указанную возможность.

Для этого используется фазовый принцип определения поврежденной фазы сети на землю без компенсации емкостных токов (рисунок 2). Именно отсутствие этой компенсации обеспечивает естественное протекание процессов в сети без их возможных искажений и с достаточной степенью точности прогнозирования их протекания. Использование фазовых параметров позволяет получить более высокую точность цифровой обработки сигналов, так как полезная информация извлекается относительно их нулевых переходов, что предотвращает появление ошибок распознавания малых изменений амплитудных параметров за ограниченное из условий электробезопасности время.



$\overline{U}_A, \overline{U}_B, \overline{U}_C$ – векторы фазных напряжений;

φ_1, φ_2 – углы смещения ННП, определяемые как фазовые сдвиги векторов ННП относительно вектора \overline{U}_A напряжения фазы А;

N – нейтраль сети

Рисунок 2 – Векторная диаграмма напряжений в некомпенсированной сети при утечке в фазе А, поясняющая работу УВПФ

Фазовые промежутки являются опорными для контроля соответствия им значений начальных фаз φ_1, φ_2 углов смещения напряжения (ННП), т.е. U_0 . Размещение и значения опорных фазовых промежутков задают с таким расчетом, чтобы по соответствию первому опорному фазовому промежутку значения φ_1 (в дальнейшем – первое соответствие) и второму опорному фазовому промежутку значения φ_2 (в дальнейшем – второе соответствие) можно было определить поврежденную фазу сети с проверкой на достоверность. Обнаружение этого соответствия является предварительным результатом, необходимым для определения поврежденной фазы сети. Принципиальная возможность проверки достоверности определения поврежденной фазы без ухудшения быстродействия основана на количестве возможных точек отсчета значений U_0 . В силу

случайности моментов возникновения утечки на землю задержка в наступлении нулевого перехода любого направления относительно момента прихода сигнала о появлении опасной утечки на землю может достигать половины времени периода для установившихся колебаний напряжения U_0 . Важным моментом индивидуальных отсчетов φ_1 и φ_2 является их независимость от порядка чередования фаз сети.

При создании АЗ новой серии поставлена задача повышения надежности работы устройства в целом и схемы определения поврежденной фазы на землю, в особенности путем многократной проверки на достоверность результата определения. Такое построение схемы обеспечивает устойчивость против ошибочного определения поврежденной фазы без потери быстродействия при наиболее опасных утечках на землю, а также повышает быстродействие с сохранением устойчивости против ложных срабатываний.

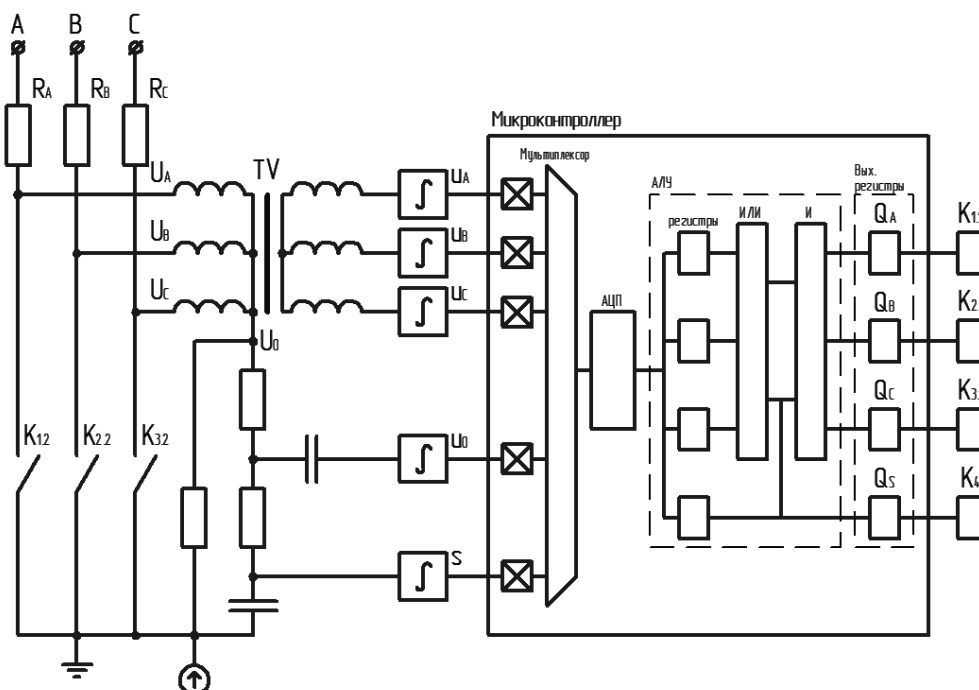
Реализация способа определения поврежденной фазы сети аппаратными средствами осуществляется следующим образом. Аналоговые сигналы, пропорциональные фазным напряжениям, ННП и силе измерительного тока через интегрирующие звенья поступают на мультиплексор и при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП) преобразуются в цифровые сигналы с частотой дискретизации не менее 1 кГц (рисунок 3). Следовательно, количество точек опроса на одном периоде переменного входного сигнала составляет не менее 50. Далее преобразованные сигналы поступают в арифметическо-логическое устройство (АЛУ), где идет их сопоставление по заданному алгоритму. Появление первого соответствия является только предварительным результатом, необходимым для определения поврежденной фазы сети. Сопоставление постоянно обновляемых входных данных в режиме реального времени происходит до тех пор, пока не будет найдено двукратное соответствие, причем, определенное в двух последовательных периодах, что подтверждает достоверность предварительного результата и является условием получения конечного результата – безошибочного определения поврежденной фазы.

В то же время выдача команды на шунтирование поврежденной фазы сети происходит только при совпадении по времени с третьим событием – превышением порогового значения силы измерительного тока. Такой сигнал формируется с регулируемой задержкой, необходимой для исключения влияния импульсных помех. Она связана с перепроверкой входных сигналов и непосредственно зависит от модуля измерительного тока. При высоком уровне входных сигналов достоверность появления утечки не подвергается сомнению. При обнаружении низкого уровня модуля измерительного тока, не превышающего порога допустимых значений, происходит как и в случае с определением поврежденной фазы многократная перепроверка достоверности полученных данных.

Параллельное измерение всех входных сигналов и одновременный их анализ позволяют обнаружить аварийный режим работы и вычислить по-

врежденную фазу за минимальное время, несмотря на вынужденные задержки в вычислениях, и тем самым повысить эффективность защиты.

Такой принцип построения схемы реализован в новой серии АЗ типа АЗУР.МК (рисунок 3). Блок-схема устройства содержит трехфазный трансформатор TV, обеспечивающий измерение фазных напряжений сети, ННП и фазовых соотношений между ними, интегрирующие звенья входных сигналов, микроконтроллер (мультиплексор, АЦП, АЛУ, регистры), выходные устройства.



- U_A, U_B, U_C – напряжение фаз A, B, C;
 U_0 – напряжение нулевой последовательности;
 u_A, u_B, u_C и u_0 – опорные и информационные логические сигналы;
 s – логический сигнал о появлении опасной утечки на землю;
 Q_A, Q_B, Q_C, Q_S – выходные логические сигналы устройства;
 $K1, K2, K3, K4$ – выходные реле

Рисунок 3 – Блок-схема построения аппаратов защиты серии АЗУР.МК

Сигнал, пропорциональный фазному напряжению, измеряется на вторичной обмотке трехфазного трансформатора, первичные обмотки которого подключены к фазам сети и образуют искусственную нулевую точку сети. Между указанной точкой и землей формируется напряжение U_0 . Из напряжений U_A, U_B и U_C формируются логические информационные сигналы u_A, u_B, u_C , из напряжения U_0 – сигнал u_0 , а интегрирующее звено формирует сигнал s на входе решающего устройства. Указанные входные сигналы u_A, u_B, u_C, u_0 и s сопоставляются в регистрах посредством АЛУ и при последовательном совпадении двух и более событий микроконтроллер вырабатывает выходные логические сигналы Q_A, Q_B или Q_C . Высокий логический уровень одного из них

указывает на повреждение в сети фазы А, В или С соответственно. Алгоритм работы микроконтроллера построен по принципу программного опроса входных сигналов и контроля начальных углов смещения ННП сети относительно фаз (φ_1 и φ_2) путем определения временных интервалов между переходами сигналов через нуль. Для измерений интервалов используется внутренний таймер.

Электрическая схема АЗУР.МК (рисунок 4) содержит следующие основные узлы:

а) источник питания измерительного тока, состоящий из вторичной обмотки трансформатора TV2, выпрямительного диодного моста VD19, конденсаторов C22, C24 и резисторов R35 и R36;

б) стабилизированный источник питания исполнительных реле, выполненный на транзисторах VT6, VT7, стабилитроне VD15 и резисторах R40...R44;

в) стабилизированные источники питания микроконтроллера DD1 и микросхем DD2 и DA4 – микросхемы DA2 и DA3;

г) решающее устройство контроля сопротивления изоляции сети, определения и выбора поврежденной фазы сети – микроконтроллер DD1;

д) фильтры входных сигналов напряжений и измерительного тока – диоды VD2...VD4, VD6...VD8, резисторы R9...R22 и конденсаторы C1...C9;

е) таймер реального времени – микросхема DD2;

ж) драйвер исполнительного реле К9 – микросхема DA4;

з) исполнительные шунтирующие реле К1...К3, управляемые через реле К4...К6;

и) реле резервной защиты К7.

Целость элементов цепи измерительного тока – резисторов R4...R10, R6 и трансформатора TV1 – непрерывно контролируется микроконтроллером после подачи питающего напряжения. Одновременно происходит самотестирование элементов схемы, о нормальной работе которых свидетельствует мигающий светодиод HLA. При сбое работы аппарата или при отказе хотя бы одного из ключевых элементов светодиод перестает мигать, а исполнительное реле блокирует включение АВ.

Функционально схема АЗ состоит из устройства контроля сопротивления изоляции сети, устройства определения, выбора и шунтирования поврежденной фазы, устройства регистрации и хранения данных, устройства передачи данных в сеть АСУ ТП шахты. Отображение данных о состоянии сети, АЗ, измерениях и произошедших событиях осуществляется при помощи отдельного информационного блока, не входящего в состав АЗ.

Общий вид АЗУР.МК в сопоставлении с серийным АЗУР-4 приведен на рисунке 5. Они имеют единую схему и конструкцию и отличаются между собой только элементами подключения к сети.

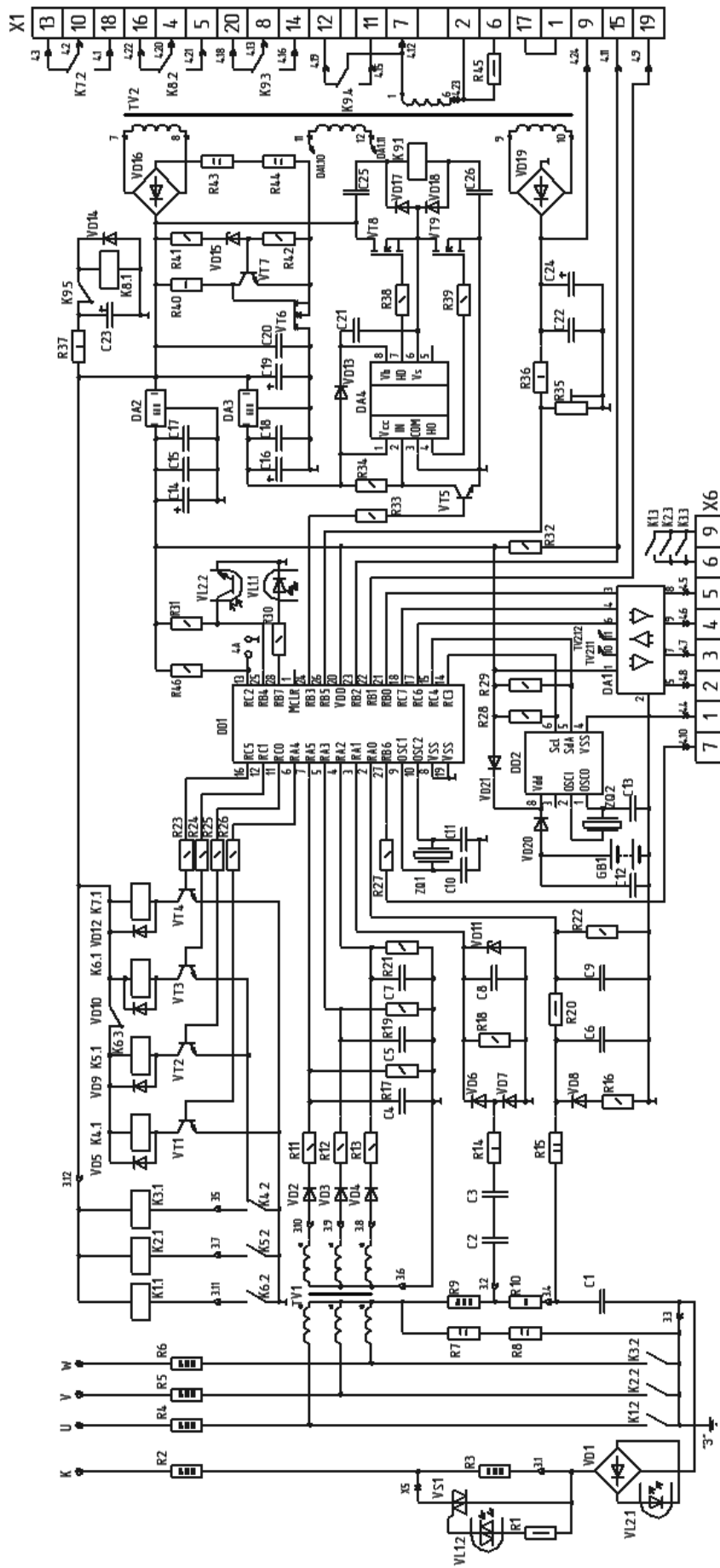


Рисунок 4 – Схема электрическая принципиальная аппарата защиты АЗУР.МК

При использовании информационного блока с дисплеем представляется возможным производить проверку времени срабатывания АЗ совместно с силовым коммутационным аппаратом комплектной трансформаторной подстанции (КТП). Для этого необходимо подключить к кнопке «Проверка» КТП между зажимом *K* и землей «З» (параллельно резисторам *R2* и *R3*) резистор с сопротивлением 1 кОм и мощностью не менее 50 Вт, подать напряжение и нажать на кнопку «Проверка». Произойдет отключение коммутационного аппарата и на дисплее будет отображена информация о полном времени срабатывания АЗ совместно с АВ и дата проверки. Полученные результаты измерения времени срабатывания могут служить в качестве протокола проверки АЗ без дополнительных стендовых испытаний при обязательных периодических проверках.

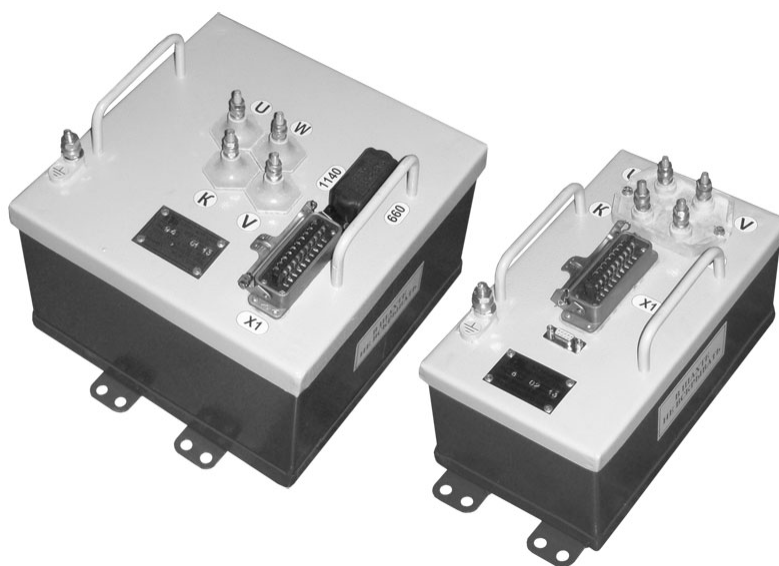


Рисунок 5 – Общий вид аппаратов защиты типа АЗУР-4 (слева) и АЗУР.4МК (справа)

Контроль состояния изоляции контролируемой сети осуществляется при помощи килоомметра или информационного блока.

В зависимости от использования АЗ в различных режимах его электрическая схема предусматривает исполнение с блокированием исполнительного реле и без него, а также с использованием промежуточного выходного реле, позволяющего работу аппарата совместно с АВ без функции нулевой защиты. Такое построение схемы АЗ позволяет осуществлять:

- а) самоадаптацию аппарата к напряжению сети;
- б) самоконтроль элементов и самодиагностирование состояния схемы со светодиодной индикацией исправного состояния аппарата;
- в) возможность проверки аппарата один раз в сутки;
- г) блокирование исполнительного реле при необходимости и сигнализации после срабатывания АЗ в аварийных режимах;

- д) возможность построения схемы электроснабжения без использования нулевой защиты в аппарате (при необходимости);
- е) цифровую индикацию контролируемого сопротивления изоляции;
- ж) отображение на жидкокристаллическом индикаторе поврежденной (зашунтированной) фазы;
- з) проверку времени срабатывания аппарата совместно с АВ;
- и) дистанционную проверку срабатывания в соответствии с ГОСТ Р 52273-2004;
- к) регистрацию и хранение результатов проверки и срабатываний в аварийных режимах;
- л) передачу диспетчеру данных о проверке и аварийных отключениях;
- м) возможность интеграции АЗ в нижний уровень системы АСУ ГП.

Аппараты не требуют наладки и соответственно вмешательства человека в работу. Их применение в составе взрывозащищенных КТП позволяет повысить их функциональные возможности.

Вывод. Впервые разработанная новая серия микроконтроллерных АЗ от токов утечки на землю позволит существенно повысить безопасность и информационность распределительных электрических сетей горных предприятий, облегчит их обслуживание, а также даст толчок к развитию новых систем защиты и построения КТП с новыми качественными характеристиками.

Список литературы

1. Корнеева А.Н. Состояние электротравматизма на угольных предприятиях Украины и пути его снижения /А.Н.Корнеева //Уголь Украины.– 2003.– №4.–С.34-37.
2. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях / В.С.Дзюбан.– М.: Недра, 1982.– 151 с.
3. Ерушин В.П. Компенсация емкостных токов и защита от токов утечки / В.П.Ерушин, А.Ф.Саломатин, И.П.Тимофеев // Уголь.– 2012.–№5.
4. Задорожный В.И. Анализ надежности аппаратов защиты от токов утечки в электрических сетях угольных шахт напряжением до 1000 В /В.И.Задорожный //Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ.– Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2006.–С.110-112.
5. Ягудаев Б.М. Методы и средства борьбы с замыканиями на землю в высоковольтных системах горных предприятий /Б.М.Ягудаев.– М.: Недра, 1988.–136 с.
6. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Э.М.Шнеерсон.– М.: Энергоатомиздат, 2007.–549 с.
7. Маренич К.Н. Зворотні енергетичні потоки асинхронних двигунів як фактор небезпеки електромережі шахти/ К.Н.Маренич, С.В.Василець.– Донецьк: ДВНЗ «ДонГТУ», 2012.–206 с.