

В.Н. Савицкий, А.В. Савицкий

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ ЗАЩИТ ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ШАХТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Анализ состояния защит от аварийных режимов работы шахтных распределительных сетей. Целесообразность перехода на цифровые защиты с точки зрения надежности, точности, быстродействия и информативности. Математическое описание основных переходных процессов, сопровождающих аварии. Методы цифровой обработки входных сигналов. Рекомендации по выбору микроконтроллеров и программного обеспечения для проектирования защит. Практическая реализация защит, встраиваемых во взрывозащищенные коммутационные аппараты.

К л ю ч е в ы е с л о в а: цифровая обработка сигналов, цифровые защиты, микроконтроллерные защиты, централизованные защиты, безопасность в шахтах, распределительные сети, контроль параметров сети.

Аналіз стану захистів від аварійних режимів роботи шахтних розподільних мереж. Доцільність переходу на цифрові захисти з погляду надійності, точності, швидкодії та інформативності. Математичний опис основних перехідних процесів, що супроводжують аварії. Методи цифрової обробки вхідних сигналів. Рекомендації з вибору мікроконтролерів і програмного забезпечення для проектування захистів. Практична реалізація захистів, що вбудовуються у вибухозахищені комутаційні апарати.

К л ю ч о в і с л о в а: цифрова обробка сигналів, цифрові захисти, мікроконтролерні захисти, централізовані захисти, безпека в шахтах, розподільні мережі, контроль параметрів мережі.

Постановка проблемы. В шахтных распределительных сетях в настоящее время находится в эксплуатации множество защит от аварийных режимов работы, применение которых предписано, в первую очередь, НПАОП 10.0-1.01-10 «Правила безопасности в угольных шахтах»: максимальные токовые, от утечек тока на землю, от перегрузок, предварительного контроля изоляции, нулевые. Несмотря на различие конструктивных исполнений принципы работы, положенные в основу защит, практически идентичны. До сих пор в эксплуатации находятся аналоговые электромеханические и полупроводниковые блоки защит, выполненные на дискретной элементной базе и реагирующие на среднее значение силы тока путем его сравнения с пороговым элементом. К основным из них относятся блоки УМЗ, ПМЗ, БТЗ, БКЗ, ТЗП, БКИ и их аналоги. В условиях одной шахты

могут эксплуатироваться одновременно свыше 10 различных типов защит, что требует высококвалифицированного обслуживающего персонала, наличия специальных стендов, различных запчастей. С точки зрения обеспечения безопасности можно в определенной мере допустить, что защиты выполняют свои функции и могут продолжать эксплуатироваться. Однако с точки зрения информационного обеспечения и интеграции в общую автоматическую систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) предприятий, которые сейчас успешно применяются, эти защиты не соответствуют предъявляемым требованиям. Кроме того, по таким параметрам, как надежность функционирования, быстродействие, точность, долговечность, возможность самотестирования и наладки, микропроцессорные защиты значительно превосходят аналоговые.

Анализ исследований и публикаций. В общепромышленных сетях высокого напряжения достаточно широко применяются микропроцессорные защиты различных мировых производителей [1]. В целях унификации в России, например, разработаны требования к микропроцессорным защитам по основным техническим и технологическим характеристикам, которые должны выполняться всеми производителями, включая зарубежных, для применения в системах высокого и сверхвысокого напряжения российских энергосистем [2].

В отечественных взрывозащищенных коммутационных аппаратах в настоящее время микропроцессорные защиты практически не применяются. В то же время за рубежом в отдельных аппаратах успешно работают цифровые защиты и во взрывозащищенных аппаратах, например в станциях управления KE-1004 немецкой фирмы Becker [3].

Практикой доказано, что развитие микропроцессорных защит позволяет выйти на качественно более высокий уровень построения надежных систем электроснабжения, в т.ч. шахтных. Очевидно, что разработка новых систем защиты предъявляет соответствующие требования к аппаратам и электрическим сетям, а также к возможным изменениям их режима работы и устройства. Так, например, при применении микропроцессорных аппаратов защиты от токов утечки в шахтных распределительных сетях напряжением до 1200 В не требуется компенсация емкостных токов, что по сути изменяет режим работы нейтрали сети. Авторами успешно решена такая задача синтеза аппаратов защиты (статья опубликована на стр. 83-96 настоящего сборника).

Анализу цифровой обработки сигналов для сложных радиосистем посвящено множество работ, среди которых можно отметить фундаментальные работы [4,5] и ряд других, поэтому материал статьи базируется на известных методах применительно к особым условиям применения релейных защит в шахтных электрических сетях. Обусловлено это тем, что системные исследования и рекомендации по проектированию цифровых защит для подземных распределительных сетей отсутствуют. Особенно это каса-

ется малоисследованного вопроса помехоустойчивости в указанных сетях и взрывозащищенных аппаратах, который необходимо учитывать при разработке устойчивых к ложным срабатываниям и отказам защит.

Цель статьи. Анализ условий применения и методов цифровой обработки входных информационных сигналов для синтеза микропроцессорных защит, встраиваемых во взрывозащищенные коммутационные аппараты.

Результаты исследований. Защиты от аварийных режимов сети, применяемые и встраиваемые во взрывозащищенные коммутационные аппараты, по признакам входных сигналов можно разделить на следующие группы, реагирующие на:

- одну входную величину сигнала;
- две входные величины сигналов;
- первую и (или) вторую производную сигнала;
- вычисление модулей и совпадения по фазе двух величин в трехфазной системе и совпадение с третьей величиной во времени.

Кроме того, защиты делятся на автономные – предназначенные для защиты одной выделенной зоны, комплексные – решающие несколько видов защит одной выделенной зоны и централизованные – для защиты групповых технологически связанных токоприемников.

В качестве исходного положения для анализа принимается, что датчики тока и напряжения, применяемые во взрывозащищенных коммутационных аппаратах, являются аналоговыми, т.к. разработка цифровых датчиков в связи с их сложностью и существенным усложнением схем в целом нецелесообразна. К основным аварийным режимам в шахтных распределительных сетях следует отнести двух- и трехфазные короткие замыкания (КЗ), однофазные замыкания на землю (утечки тока на землю), перегрузки и перегревы электродвигателей, повреждения кабелей до подачи на них напряжения. Следовательно, математическое описание входных сигналов для защит, которое должно быть положено в основу их обработки цифровыми сигналами, описывается следующими выражениями:

а) мгновенное значение силы тока КЗ [6]:

$$i_k = I_{km} [\sin(\omega t + \psi - \varphi_k) - \sin(\psi - \varphi_k) e^{-\frac{1}{T_a}}], \quad (1)$$

где I_{km} – амплитудное значение периодической составляющей тока КЗ;

ω – угловая частота;

ψ – угол включения при $t = 0$;

φ_k – угол сдвига тока КЗ, определяемый параметрами сети;

T_a – постоянная времени затухания аperiodической составляющей;

б) сила тока утечки на землю [7]:

$$i_y = \frac{U_m}{R_y} (A \sin \omega t + \varphi + \psi) + [\sin \varphi - A \sin(\varphi + \psi)] e^{-\delta t}; \quad (2)$$

$$A = \sqrt{\frac{R_{uz}^2 + X_c^2}{R_{uz}^2 + X_c^2 \left(1 + \frac{R_{uz}}{R_y}\right)^2}},$$

где U_m – амплитудное значение фазного напряжения;

R_{uz} – сопротивление изоляции;

X_c – емкостное сопротивление сети;

R_y – сопротивление утечки;

$\delta_I = \frac{I}{R_\Sigma C_c}$, $R_\Sigma = \frac{R_{uz} \cdot R_y}{R_{uz} + R_y}$ – суммарное сопротивление изоляции и

утечки;

C_c – емкость сети;

в) напряжение нулевой последовательности (ННП):

$$U_0(t) = \frac{U_m \cdot X_c}{\sqrt{R_y^2 + X_c^2}} [\sin(\omega t + \psi - \varphi) - \sin(\psi_0 - \varphi) \cdot e^{-\beta t}], \quad (3)$$

где U_m – амплитудное значение напряжения поврежденной фазы сети;

$\psi_0 = \omega t_0$ – начальная фаза замыкания;

$\beta = 1/(3R_y C_c)$ – декремент затухания апериодической составляющей;

г) аргумент ННП:

$$U_0 = \frac{U_m}{\sqrt{1 + 9R_y^2 \omega^2 C_c^2}} e^{j\varphi}. \quad (4)$$

Описанные выше сигналы, сопровождающие соответствующие аварии, являются «полезными», несущими информацию о состоянии сети. Однако наряду с ними существует ряд помех, достаточно подробно описанных в [8], которые при этом классифицируются следующим образом:

- коммутационные (сетевые) помехи;
- электромагнитные помехи внутри аппаратов;
- внутренние помехи, обусловленные работой схем;
- помехи типа «белый шум».

Следует отметить, что помехи в шахтных сетях являются аддитивными и, следовательно, суммируются с полезными входными сигналами и описываются приведенными выше уравнениями.

Выражения (1)-(4) в совокупности с математическим описанием помех являются исходными для выбора степени подготовки сигнала и выбора тактовой частоты дискретизации при их последующей цифровой обработке.

Как известно, в аналоговых устройствах защит различных типов измерение входных параметров контролируемых величин, пропорциональных

первичным сигналам, осуществляется путем воздействия непрерывных аналоговых сигналов на физическую систему измерения или сравнения с заданной величиной. По результату этого воздействия оцениваются процессы, протекающие в сети, и вырабатывается соответствующая команда.

В микропроцессорных защитах цифровые измерительные органы (ЦИО) релейной защиты при обработке информации выполняют операции с последовательностями чисел, зависящими от текущего значения входных сигналов и формируемыми путем дискретизации аналогового сигнала с заданной частотой. Алгоритмом ЦИО является очередность проведения операций с цифровыми последовательностями, определяемыми входными аналоговыми сигналами контролируемой системы. Физически ЦИО строятся на базе единой микропроцессорной системы с программным обеспечением (ПО), реализующим общий заданный алгоритм работы. В то же время, на вход ЦИО в реальных системах защиты поступают аналоговые сигналы, снятые с датчиков тока или напряжения. Фактически на вход измерительных органов поступает совокупность сигналов как полезных, несущих информацию о состоянии защищаемых объектов, так и помех, обусловленных сетевыми коммутационными процессами и различными другими электромагнитными помехами в коммутационных аппаратах. Если полезные сигналы, как следует из выражений (1)-(4), имеют синусоидальную форму с несущей частотой сети, то помехи зачастую проявляются в виде импульсов или имеют более высокую частоту. Очевидно, что при дискретизации сигнала, содержащего быстропротекающие высокочастотные процессы, будет утеряна значительная часть информации, если период дискретизации будет больше частоты входных сигналов. Поэтому до цифровой обработки входных сигналов необходима предварительная их подготовка при помощи частотных фильтров, степень которой определяется спектром частот и относительным уровнем составляющих гармоник в совокупном сигнале с целью их минимизации. При дискретизации аналогового сигнала $A_a(\omega)$ цифровой сигнал описывается следующим образом:

$$A_\alpha(\omega) = A(\omega + 2\pi r/T),$$

где r – натуральные числа $0, 1, 2, 3 \dots$;

T – период частоты дискретизации;

$A_a(\omega)$ – частотная характеристика аналогового сигнала.

Критерием отсутствия искажения аналогового сигнала при дискретизации является отсутствие наложения спектров характеристики $A_\alpha(\omega)$. Если для случая КЗ частота входного сигнала будет преимущественно равна частоте сети, то для случая утечки тока на землю и возникновения при

этом коммутационных процессов в сети частота переходного процесса может быть на два порядка выше. Естественно, чем выше частота дискретизации, тем точнее будет обработан аналоговый сигнал, однако она определяется техническими возможностями микропроцессора. Поэтому при проектировании защит и выборе технических средств необходимо учитывать этот факт.

Анализ и преобразование входных сигналов измерительных органов, реагирующих на одну величину (защиты от КЗ, токовой перегрузки, дуговых замыканий, контроль температуры и др.).

В применяемых аналоговых защитах в основном вычисляются среднее или действующее значение входных сигналов одной величины с последующим сравнением с физическим пороговым элементом, выполненным на базе стабилитрона, компаратора или путем сравнения силы тока (блоки УМЗ, ПМЗ, БТЗ, ТЗП и др.). Другим, более прогрессивным направлением является измерение векторов на основе мгновенных значений величин или их производных (блок БКЗ-ЗМК).

В первом случае текущее среднее значение модуля $U_{cp}(t)$ функции входного сигнала $U(t)$ и действующее значение за период времени T описывается известным выражением:

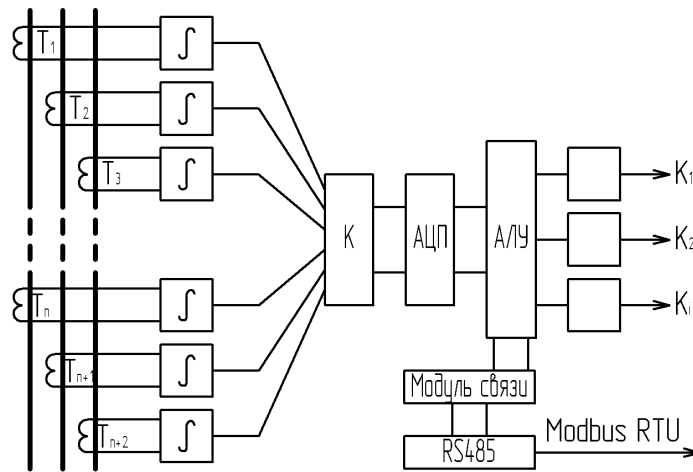
$$U_{cp}(t) = \frac{1}{T_0} \int_{t-t_0}^t |u(t)| dt.$$

Для дискретизованных сигналов это выражение имеет вид:

$$U_{cp}(nT) = \frac{1}{T_0} \sum_{n-T_0+1}^n |u(nT)| T = \frac{1}{N} \sum_{n-T_0+1}^n |u(nT)| \quad (5)$$

и является исходным для разработки ПО и выбора элементной базы при построении автономных защит, реагирующих на одну входную величину.

Более сложный алгоритм и структура построения характерны для централизованных защит, реагирующих на одну входную величину. Отличительной особенностью построения таких защит является то, что при наличии нескольких входных групп сигналов, каждая из которых защищает свою зону, между ними не должно быть противоречий. Это выполняется за счет ПО. Кроме того, важным элементом современных защит является их информационное обеспечение, т.е. возможность хранения и передачи данных в подсистему нижнего уровня АСУ ТП. Пример схемы выполнения такой централизованной защиты с измерительным органом одной электрической величины, выполненный на основе сравнения вычисленного цифровым измерителем силы значения тока или напряжения и текущего значения контролируемой величины, приведен на рисунке 1.



$T_1...T_i$ – трансформаторы тока; K – коммутатор;
 АЛУ – арифметико-логическое устройство; $K_1...K_i$ – выходные реле

Рисунок 1 – Структурная схема построения централизованной защиты, реагирующей на одну входную величину

Анализ и преобразование входных сигналов измерительных органов, реагирующих на две величины и фазовые зависимости между ними в трехфазной системе (защита от токов утечки).

Значительно более сложной задачей является определение поврежденной фазы сети при утечках тока на землю с одновременным выявлением утечки. Известны методы определения путем вычисления векторов по условию перехода через ноль или быстродействующее вычисление векторов на основе фильтров с измененными коэффициентами. Эта задача с точки зрения рационального построения ЦИО определяется как алгоритм двух выборок на основе выделения составляющих ортогональных функций. Причем она ставится как решение поиска и сравнения двух электрических величин с произвольным входом сигналов в трехфазных системах.

Известно [1], что наиболее точное определение вращающегося вектора $\underline{U}(t) = Ue^{j(\varphi_0 + \varphi)}$ можно осуществить на основе двух выборок $U(nT - mT)$, $U(nT)$ синусоидального сигнала известной частоты ω_0 через время mT . Задача решается на основе уравнений, составленных для этих выборок:

$$U(nT - mT) = U \sin(\omega_0 nT + \varphi - \omega_0 mT);$$

$$U(nT) = U \sin(\omega_0 nT + \varphi).$$

Цифровое преобразование, обеспечивающее достоверное положение вектора и его модуль по двум выборкам, имеет вид:

$$\underline{U}(nT) = \frac{1}{|\sin(\omega_0 mT)|} [U(nT)e^{j\omega_0 mT} - U(nT - mT)] = U_x(nT) + jU_y(nT),$$

где φ – начальный угол вектора.

Для вычисления модуля и его аргумента в любой момент времени nT можно сделать преобразования:

$$U(nT) = \sqrt{[U_x(nT)]^2 + [U_y(nT)]^2}; \quad (6)$$

$$\Delta\varphi = \arctg \frac{U_{2y}}{U_{2x}} - \arctg \frac{U_{1y}}{U_{1x}},$$

где $U_{1x}, U_{1y}, U_{2x}, U_{2y}$ – значения сигналов в соответствующих выборках.

Полученные выражения положены в основу разработки программ и построения структуры измерительного органа для двух выборок с выделением ортогональных функций (рисунок 2).

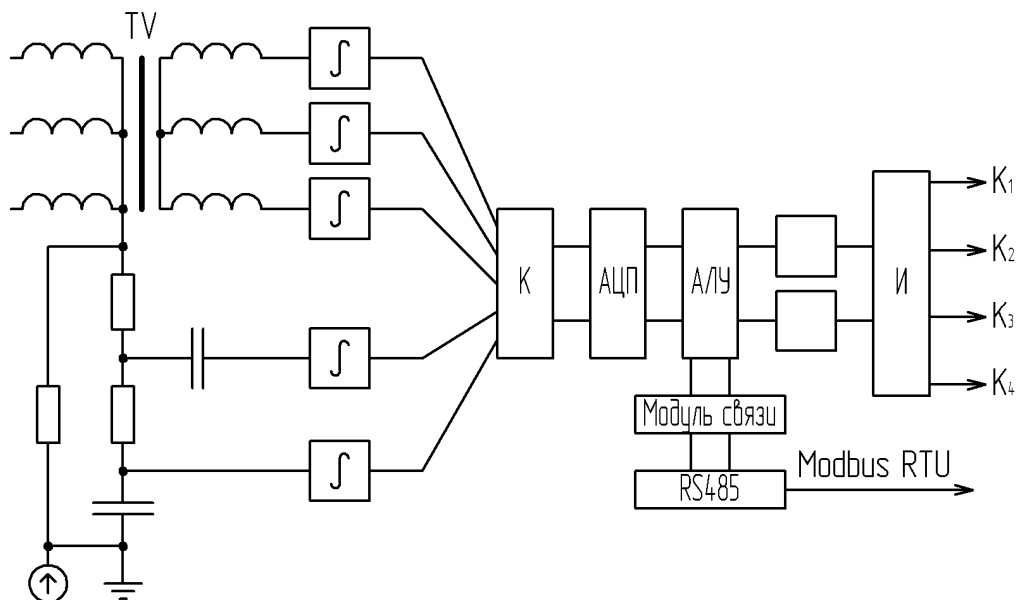


Рисунок 2 – Структурная схема построения защиты, реагирующей на две входные величины, совпадающие по времени с третьей

Требования к датчикам тока и напряжения. Датчики тока должны иметь минимальные статические и динамические погрешности и линейные выходные параметры в диапазоне возможных значений при аварийных режимах. Датчики напряжения не должны вносить фазовые погрешности, особенно в динамических режимах, при возникновении утечек тока на землю.

Выбор микроконтроллера. В качестве решающих устройств для реализации приведенных выражений (5) и (6) целесообразно принять серию микроконтроллеров Microchip© PIC, оптимальных по соотношению цена/качество при обеспечении возможности решения поставленных для них задач. За длительное время применения указанные микроконтроллеры зарекомендовали себя положительно в отношении как надежности (и в повторно-кратковременном, и в непрерывном режиме работы), так и устойчивости к помехам при постоянном наличии разноплановых входных сигналов.

Выбор конкретной модели микроконтроллера определяется следующими факторами:

а) степени сложности решаемых задач с точки зрения математики – определяется разрядность ядра микроконтроллера, его архитектура, максимально возможная частота тактирующего генератора и скорость выполнения команд;

б) количеством входных и выходных сигналов (как аналоговых, так и цифровых) – определяется количество выводов микроконтроллера и его корпус;

в) количеством входных аналоговых сигналов, их частотой, формой и требуемой точностью измерения – определяется разрядность, скорость и максимальная допустимая погрешность встроенного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), количество аппаратных модулей АЦП в одном микроконтроллере, количество каналов, последовательно подключаемых через мультиплексор к модулю АЦП;

г) особенностью построения ПО, которое наряду с условиями применения и задачами конечного аппарата определяет необходимость наличия разного рода аппаратных средств микроконтроллера – внутренних модулей (таймеры, настраиваемые источники прерываний, контроллеры прямого доступа к памяти DMA, Direct Memory Access), модулей захвата/сравнения и периферии (широотно-импульсные модуляторы, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, модули коммуникаций);

д) требованиями по энергопотреблению микроконтроллера – возможен выбор микроконтроллеров из серии XLP (eXtra Low Power – сверхнизкое потребление) или использование программных методов снижения силы потребляемого микроконтроллером тока для микроконтроллеров со стандартным энергопотреблением.

Линейка представленных производителем микроконтроллеров покрывает практически все потребности разработчиков, а использование технической документации научно-исследовательского центра компании Microchip и нетривиальных алгоритмических методов при написании программ делает возможным решение задач практически любой сложности.

Для решения простых задач, например, организации одноканальной максимальной токовой защиты или управления коммутационным аппаратом в режиме форсированного включения и удержания, целесообразно использовать наиболее простые, малогабаритные и дешевые микроконтроллеры, снабженные минимальной периферией и архитектурной функциональностью. Для такого рода задач обычно используются 8-битные контроллеры в 6...20-ти выводных корпусах. Вполне вероятно, что задача может быть успешно решена даже при использовании внутреннего генератора с относительно низкой частотой (от сотен кГц до 4...8 МГц). Для своевременного выполнения отдельных частей программы или использования прерываний по времени необходим также таймер (которым снабжаются

все без исключения микроконтроллеры PIC) и, учитывая наличие аналоговых входных сигналов, – АЦП.

В случае выбора недорогого микроконтроллера с маломощным математическим аппаратом часть задач по подготовке и преобразованию входных сигналов необходимо переложить на аппаратные решения, чтобы не перегружать микроконтроллер. Иногда такие микроконтроллеры не в состоянии справиться с полноценной обработкой входных сигналов программными методами, особенно при наличии высокого уровня разнородных помех, искажающих входной сигнал, от которых невозможно избавиться простыми методами, например усреднением (сглаживанием) входного сигнала или исключением из массива данных наименее характерных величин.

Следует обратить особое внимание на математические способности контроллеров низкого уровня, поскольку в них аппаратно поддерживаются наиболее простые арифметические операции: сложение, инкремент, сдвиг, инверсия и пр. Любые вычисления можно свести к ряду простейших арифметических операций и выполнить их расчет программными методами, а не аппаратными средствами микроконтроллера. В большинстве случаев это занимает у ядра слишком много времени, в результате чего основной цикл обработки входных сигналов неприемлемо увеличивается, а выполнение второстепенных задач, обычно связанных с индикацией, хранением или передачей данных, становится просто невозможным.

Более сложные микроконтроллеры применяются в системах управления и защиты, характеризующихся:

- большим количеством входных сигналов;
- разнородностью входных сигналов;
- сложностью формы входного сигнала, требующей высокой степени его предварительной обработки или (и) дальнейших преобразований;
- множеством вариаций входного сигнала, требующих ситуативного реагирования на основе сильно разветвленного алгоритма;
- необходимостью прогнозирования изменения входного сигнала, в частности для реализации быстродействующих защит;
- требованиями к высокой информативности аппарата, включающей индикацию, хранение и передачу данных в сеть АСУ ТП.

Для таких систем выбираются микроконтроллеры с большей разрядностью ядра, высокой тактовой частотой, сильным аппаратным математическим ресурсом, обширной периферией, большим количеством выводов, наличием одного или нескольких модулей высокоскоростного АЦП с повышенной разрешающей способностью и точностью преобразования.

Эффективным решением также является использование встроенного контроллера прямого доступа к памяти, который позволяет внутренним модулям и периферии самостоятельно производить вычисления, формировать массивы данных и обмениваться информацией без непосредственного участия ядра контроллера, что существенно повышает его производитель-

ность и экономит время. Кроме того, DMA-контроллер, например, дает возможность пакетной обработки и пересылки информации для подряд расположенных регистров, что также оптимизирует работу программы и ещё больше снижает нагрузку ядра микроконтроллера.

Важным фактором при выборе микроконтроллеров является их помехозащищенность и температурный режим. Известно, что чем выше быстродействие микроконтроллера, тем больше потребляемая мощность, а значит и выделение тепла. Наличие резонаторов требует правильного расположения на плате элементов схемы и их экранирования.

Создание ПО. С развитием ПО, в частности, компиляторов и оболочек для написания программ для микроконтроллеров, появилась возможность существенно ускорить работу и упростить анализ и отладку тестируемого ПО за счет применения языков высокого уровня. Одним из наиболее распространенных является язык С, при помощи которого обеспечивается решение практически любых задач. В целях унификации разнородных защит и облегчения их совместимости для одновременной работы в распределительных сетях целесообразно применять указанный язык программирования при создании ПО для задач любого рода. Современные компиляторы оптимально преобразуют в машинный язык программный код, написанный на языке высокого уровня так, что у программистов отпадает необходимость пользоваться сложным в написании и неудобным для восприятия языком низкого уровня (ассемблер). Зачастую даже в довольно объемные программы не включаются и ассемблерные вставки, которые принято использовать для ускорения выполнения наиболее сложных или требовательных к ресурсам контроллера участков кода. Тем не менее, их использование до сих пор приветствуется многими разработчиками.

Приведенные выше аналитические зависимости и структурные схемы построения измерительных органов, а также рекомендации по выбору элементной базы и ПО положены в основу синтеза новых микропроцессорных защит от аварийных режимов работы шахтных распределительных сетей как низкого, так и высокого напряжения. Схемные решения защиты наряду с устройствами телеметрии реализованы в микроконтроллерных блоках защиты типа БКЗ-ЗМК, аппаратах защиты от токов утечки АЗУР.МК, блоках защиты трансформаторных подстанций на стороне высшего напряжения БЗУ-ТП, блоках комплексной централизованной защиты проходческих комбайнов БЗУ-ПК. При этом одновременно решаются вопросы самотестирования схем, запоминания режимов срабатываний как аварийных, так и режимов проверки, а также локального архивирования, передачи данных диспетчеру и индикации, характеризующейся высокой информативностью. Аппараты прошли всесторонние испытания в шахтах и подтвердили высокую надежность работы, удобство эксплуатации и возможность интеграции в АСУ ТП.

Выводы:

1. Проведен анализ условий применения и методов цифровой обработки совокупности входных информационных сигналов при аварийных режимах работы шахтных распределительных сетей напряжением до 1200 В.

2. Разработаны методы цифровой обработки указанных сигналов и рекомендации по выбору элементной базы и ПО для проектирования современных микроконтроллерных защитных устройств.

3. Приведены сведения о реализации методов и рекомендаций в современных микроконтроллерных защитах низкого и высокого напряжения, совместимых с системами АСУ ТП предприятий и встраиваемых во взрывозащищенные коммутационные аппараты.

Список литературы

1. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Э.М.Шнеерсон.– М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

2. Основные требования к устройствам релейной защиты и управления, предназначенным к применению в современных энергосистемах России / Г.С.Нудельман, М.Г.Линт, В.А.Фещенко, А.В. Жуков // РЗА., Все о релейной защите.– 2009 .– Режим доступа: <http://rza.org.ua>

3. Компактная станция KE-1004 ENDIS (Becker, Германия).– Режим доступа: <http://www.ru.Becker-mining.com>

4. Риман Я.С. Защита шахтных участков сетей от токов короткого замыкания / Я.С.Риман.– М.: Недра, 1985.– 85 с.

5. Оппенгейм А. Цифровая обработка сигналов/ А.Оппенгейм, Р.Шафер. – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.

6. Основы цифровой обработки сигналов/[Солоница А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М, Соловьева Е.Б]. – СПб:БХВ-Петербург, 2005.– 768 с.

7. Дзюбан В.С. Аппараты защиты от токов утечки в шахтных электрических сетях / В.С.Дзюбан. – М.:Недра, 1982. – 151 с.

8. Савицкий В.Н. Алгоритм работы гибких микропроцессорных защит от аварийных режимов распределительных сетей угольных шахт напряжением до 1200 В / В.Н.Савицкий, А.И.Белошистов, А.В.Савицкий // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч. тр. УкрНИИВЭ.– Донецк: УкрНИИВЭ, 2007. – С.108-117.