

## ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Докт. техн. наук, доц. РОМАНИЮК Ф. А.

*Белорусская государственная политехническая академия*

В настоящее время практически всеми ведущими электротехническими фирмами мира реализуется концепция создания комплексных систем автоматизации и управления электроэнергетическими объектами, которые представляют собой единое техническое решение для целой совокупности функций. Такие системы выполняются состоящими из отдельных автономных модулей, связанных различными каналами коммуникаций и образующих различные ступени иерархии управления. Устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) располагаются на нижнем уровне указанной системы и имеют самый высокий приоритет. Несмотря на это, должна обеспечиваться возможность их автономной работы при отсутствии связи с верхним уровнем. Это позволяет ограничиться рассмотрением принципов организации систем РЗА без анализа всего комплекса средств автоматизации и управления объектом в целом.

В основе создания микроконтроллерных систем релейной защиты и автоматики (МРЗА) лежит принцип интеграции функций РЗА, измерения, регистрации аварийных параметров, сигнализации, передачи данных, местного и дистанционного управления в рамках одного устройства. Это обуславливает необходимость обработки весьма больших объемов информации. Причем МРЗА должны работать в реальном времени, реализуя сложные алгоритмы функционирования с быстродействием порядка одного или нескольких периодов промышленной частоты, и вырабатывать ответственные решения в процессе возникновения повреждений объектов, обладая высокой надежностью. Указанные требования определяют необходимость дальнейшего совершенствования принципов построения и организации МРЗА на основе более полного использования возможностей микроконтроллеров (МК) с учетом накопленного опыта разработки систем РЗА с цифровой обработкой информации.

Детальный анализ исследований, выполненных в отечественной и зарубежной практике [1, 2, 3—6], позволяет сформулировать совокупность таких принципов:

- невяное резервирование;
- унификация;
- модульность;
- функциональная децентрализация;
- специализация обработки информации;
- единство информационной базы;
- комплексность;
- гибкость.

**Принцип невяного резервирования** предполагает такую организацию МРЗА, при которой возникающие неисправности в аппаратной и программной частях предотвращаются путем перераспределения задач между элементами системы в полном объеме или с потерей некоторых вто-

ростепенных функций. Благодаря этому снижается вероятность отказа МРЗА в целом и продолжается выполнение функций с теми же или худшими показателями.

**Принцип унификации** заключается в использовании для построения МРЗА однотипных вычислительных элементов, связанных друг с другом посредством жестких каналов либо с помощью общего поля памяти. Благодаря этому принципу обеспечивается возможность создания высокопроизводительных вычислительных систем (ВС) на основе достаточно простых МК.

**Принцип модульности** состоит в том, что МРЗА должны выполняться в виде независимых модулей. Это обеспечивает возможность наращивания системы и делает ее менее уязвимой к отказам.

Применительно к защитам ответственных объектов данный принцип означает целесообразность их построения в виде параллельных директивных каналов, каждый из которых реализует функции одной или в крайнем случае двух защит. Принцип модульности оказывает положительное влияние на высокую ремонтпригодность МРЗА и, как следствие, обеспечивает повышение надежности функционирования благодаря возможности быстрой замены неисправного канала резервным. Для выполнения этого необходимо создать условия, позволяющие производить замену директивных каналов без отключения МРЗА.

Принцип модульного построения аппаратных средств создает и модульность программного обеспечения. Вследствие этого существенно упрощается процедура его разработки.

Принцип модульности позволяет производить расширение функций МРЗА без существенного изменения аппаратных средств и программного обеспечения.

**Принцип функциональной децентрализации** развивает предыдущий и позволяет более полно использовать его преимущества. Согласно этому принципу функциональные задачи распараллеливаются между директивными каналами. Это значительно повышает быстродействие МРЗА, облегчает ее работу в реальном времени и сокращает число задач, которые не реализуются в случае потери работоспособности директивным каналом.

**Принцип специализации обработки информации** заключается в использовании для ее выполнения как аналоговых, так и цифровых средств в зависимости от вида преобразования.

Аналоговые методы обработки информации отличаются высоким быстродействием при сравнительно невысокой точности выполнения операций, зависящей от качества элементов.

Цифровым методам присущи такие особенности, как высокая точность вычислений при относительной сложности получения высокого быстродействия.

Оптимальное сочетание этих методов обеспечивает повышение быстродействия МРЗА, а в ряде случаев создает возможность для определения контролируемых параметров, получение которых другим путем затруднительно.

**Принцип единства информационной базы** характеризует системный подход к обработке информации. Его реализация в МРЗА является крайне важной и позволяет исключить необоснованное дублирование информации, когда первичные массивы создаются для каждого директивного канала самостоятельно. Единство информационной базы по-

звolyаёт, где это возможно по соображениям надёжности, осуществлять общий ввод и многократное использование входных сигналов. Это означает, что идентичная информация, обрабатываемая в различных директивных каналах, вводится в систему по одному тракту. Для повышения надёжности функционирования МРЗА возможно резервирование этого тракта.

**Принцип комплексности** означает создание МРЗА в виде единого устройства, выполняющего все функции РЗА, измерения, управления и контроля электроэнергетического объекта. При этом указанное устройство рассматривается как подсистема нижнего уровня комплексной автоматизированной системы управления.

**Принцип гибкости** в МРЗА с относительно жесткой архитектурой обеспечивается исчерпывающей реализацией принципов модульности и функциональной децентрализации. Он предполагает возможность наращивания директивных каналов и функций, а также модификацию программного обеспечения. Для этого программы функционирования должны строиться таким образом, чтобы при необходимости менялись не только отдельные их модули, но и критерии, по которым выполняются задачи.

Возможности реализации рассмотренных принципов в значительной степени зависят от структурной организации цифровой вычислительной системы (ВС) МРЗА. В процессе разработки РЗА с цифровой обработкой информации было предложено большое количество высокопроизводительных и достаточно надёжных ВС, многие из которых в силу ряда обстоятельств не нашли практического применения. Поэтому выделим общие принципиальные решения только тех, которые представляют интерес с точки зрения использования в МРЗА.

Известные структуры цифровых ВС можно разделить на две группы – одно- и двухуровневые. К первой группе относятся схемы с одиночными, двумя и более МК, включенными параллельно с возможностью обмена информацией между собой.

Одиночный МК автономно может выполнять простые функции несложных директивных каналов РЗА. Применение такой структуры для построения директивных каналов РЗА средней сложности возможно при использовании предварительной аналоговой обработки входных сигналов. Схемы с двумя и более МК имеют большую надёжность и обеспечивают возможность для осуществления принципа единства информационной базы. При этом представляется нецелесообразным выполнение ими идентичных алгоритмов с реализацией на выходе логических функций ИЛИ либо «2 из 3». Предпочтительна организация резервирования путем создания параллельных директивных каналов, работающих по различным алгоритмам.

В двухуровневых структурах ВС все МК разбиваются на ряд групп, причем МК нижнего уровня являются подчиненными по отношению к МК верхнего уровня. Они представляют собой наиболее характерную реализацию принципа неявного резервирования, позволяя оптимально распределять выполнение задачи между МК. Такие структуры ВС можно отнести к базовым при построении наиболее сложных и ответственных директивных каналов МРЗА. Недостатком двухуровневых структур является то, что при отказе МК верхнего уровня система как единое целое прекращает функционировать. Для повышения надёжности на верхнем уровне может создаваться система из нескольких МК.

В двухуровневых структурах ВС МК нижнего уровня обычно производят предварительную обработку входных сигналов, а МК верхнего уровня принимают окончательное решение. Такая ВС является достаточно гибкой, обеспечивая возможность работы МК разных уровней в асинхронном режиме.

Определяющее влияние на состав комплекса технических средств первого уровня оказывает выбор способа представления сигналов на отдельных этапах обработки информации, которые могут быть аналоговыми, импульсными и цифровыми. Следует отметить, что принципиально в МРЗА могут применяться любые комбинации этих форм. В зависимости от их в рамках общих принципов организации МРЗА меняется только состав блока предварительной обработки информации. Целесообразность использования на отдельных этапах преобразований того или иного способа представления сигналов определяется главным образом оказываемым влиянием на качество функционирования МРЗА с учетом изменения других показателей.

Способы преобразования входных сигналов и определения их основных параметров, по которым находятся идентифицируемые величины, служат базой для разработки алгоритмов функционирования МРЗА.

Информационными параметрами входных сигналов являются амплитуды, фазовые сдвиги и частота, а также их интегральные значения. Эти параметры определяются в результате обработки величин токов и напряжений в отдельных точках объекта, которые представляют собой аналоговые сигналы.

Переходные процессы, возникающие в цепях объекта, сопровождаются появлением в токах и напряжениях аperiodических и гармонических составляющих, являющихся для РЗА помехами. Они обуславливают погрешности измерения идентифицируемых величин. Для повышения точности контроля последних в МРЗА используется предварительная аналоговая и цифровая фильтрации входных токов и напряжений. Полученный в результате синусоидальный сигнал содержит информацию об амплитуде, фазе и частоте основной гармоники входной величины. В МРЗА для определения указанных параметров наиболее широко применяется цифровая обработка отсчетов мгновенных значений сигналов и их ортогональных составляющих (ОС). Для получения ОС в МРЗА чаще других используется метод Фурье и его модификации. Цифровая реализация этого метода обеспечивает полное подавление во входном сигнале постоянной составляющей и гармоник с частотами, кратными основной при заданном шаге дискретизации  $\Delta t$ .

При других частотах появляется неопределенность, сопровождающаяся колебаниями дискретных значений отсчетов ОС. Это обуславливает возникновение дополнительных погрешностей в значениях амплитуд и фаз сигналов.

Для определения интегральных значений входных токов и напряжений в МРЗА преимущественно применяется метод, основанный на цифровом интегрировании их мгновенных отсчетов. Его существенным недостатком также является наличие частотной составляющей погрешности измерений.

Необходимость снижения частотного влияния на характеристики МРЗА вынуждает выполнять операции со сравнительно большим числом отсчетов входных сигналов при малом  $\Delta t$ . Благодаря этому погрешности определения информационных параметров входных сигналов при

небольших изменениях частоты во многих случаях оказываются приемлемыми. Тем не менее их снижение является одним из методов, обеспечивающих возможность повышения технического совершенства МРЗА.

В настоящее время этот метод реализуется за счет изменения  $\Delta f$  в соответствии с отклонением частоты от номинального значения. Однако это требует организации ее текущего контроля, что усложняет аппаратную часть и программу функционирования МРЗА. Дальнейшее совершенствование МРЗА может быть обеспечено за счет реализации новых способов формирования ОС и определения информационных параметров входных сигналов, обладающих свойством адаптивности к изменениям промышленной частоты [7].

Принципиальную возможность для определения информационных параметров входных сигналов обеспечивает импульсный метод. Он основан на замене синусоидального процесса последовательностью импульсов прямоугольной формы, длительности которых содержат информацию об амплитудах, частоте и фазовых сдвигах. Осуществляя цифровую обработку этих длительностей, можно получить значения указанных информационных параметров.

Основным достоинством этого метода является возможность определения амплитуд, фазовых сдвигов и частоты в широком диапазоне изменения токов и напряжений без расширения динамического диапазона входных каналов. Кроме того, цифровая реализация рассматриваемого метода принципиально позволяет устранить частотную составляющую погрешностей при расчете амплитуд и фазовых сдвигов, что затруднительно в аналоговом варианте его использования.

Определение информационных параметров входных токов и напряжений может осуществляться на основе цифровой обработки их интегральных значений. При этом указанные значения, представляющие собой изменяющиеся сигналы постоянного тока, формируются преимущественно с помощью аналоговых элементов. Для уменьшения пульсаций интегральных значений возможно использование цифровой фильтрации. При таком подходе ряд преобразований сигналов переносится из цифровой части в аналоговую, что обеспечивает снижение требований к быстродействию и производительности цифровых средств.

Выполненный в соответствии с изложенными принципами директивный канал может использоваться для реализации одного либо двух алгоритмов выявления повреждения. Комплексная МРЗА, предназначенная для защиты объекта по нескольким видам повреждений, представляет собой набор из нескольких автономных каналов, взаимодействующих под общим управлением. При этом параллельные каналы могут иметь общую схему обработки аналоговых сигналов.

Для достижения высокой надежности в настоящее время наиболее широко практикуется установка на объекте основного и резервного комплектов. Применительно к МРЗА могут быть использованы традиционные принципы организации такой конфигурации:

основной и резервный комплекты представляют собой одинаковые устройства;

основной комплект является полнофункциональным, а резервный выполняется упрощенным с ограниченными функциями.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее перспективны МРЗА, выполненные в виде параллельных директивных каналов, взаимодействующих под общим управлением.

2. В качестве вычислительных систем МРЗА предпочтительно использование хорошо проверенных на практике одно- и двухуровневых структур.

3. Дальнейшее совершенствование МРЗА может обеспечиваться за счет реализации новых способов определения информационных параметров входных сигналов, обладающих свойством адаптивности к изменениям частоты. Такие способы могут основываться на цифровой обработке отсчетов мгновенных значений токов и напряжений, информационных параметров импульсных сигналов и отсчетов интегральных значений входных величин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов Ю. А. Использование цифровой вычислительной техники для выполнения функций релейной защиты // *Электричество*. — 1979. — № 12. — С. 6–11.
2. Новаш В. И., Шевцов Е. И. Анализ возможностей микропроцессорных систем, предназначенных для выполнения функций релейной защиты // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений). — 1979. — № 10. — С. 15–19.
3. Гельфанд Я. С., Семенов В. А. Микропроцессорные средства и системы: Обзорная информ. — Информэнерго, 1991. — 48 с.
4. Головкин В. А. Параллельные вычислительные системы. — М.: Наука, 1980. — 519 с.
5. Микропроцессорные защиты оборудования электроэнергетических систем / М. И. Успенский, Н. А. Манов, В. А. Полуботко и др. — Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1986. — 172 с.
6. Принципы построения и структуры микропроцессорных систем защиты и автоматики / В. М. Назаренко, В. В. Рогоза, Б. С. Стогний, Ю. Н. Холоденко // *Электротехника*. — 1985. — № 9. — С. 46–48.
7. Романюк Ф. А. Формирование ортогональных составляющих входных сигналов в микроконтроллерных защитах // *Энергетика...* (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1998. — № 6. — С. 10–14.

Представлена кафедрой  
электрических станций

Поступила 1.09.2000