
Опыт внедрения технологических защит на базе ПТК «САРГОН»

Выпуск 12'2002

В.А. Менделевич, М.Ф. Коновалова, И.В. Луховицкий

Рассмотрен опыт реализации технологических защит на базе ПТК «САРГОН» в АСУТП, внедренных специалистами ЗАО «НВТ-Автоматика» в 2001 г.

Надежность современных ПТК позволяет реализовать все функции АСУТП, в том числе технологические защиты (ТЗ). Защиты, реализованные в ПТК, имеют высокий уровень самодиагностики, поэтому они существенно более надежны, чем релейные при прочих равных условиях. Ряд зарубежных фирм уже многие годы внедряет микропроцессорные системы ТЗ, но их высокая стоимость не позволила применить их в массовых масштабах на объектах РАО ЕЭС России.

До последнего времени ТЗ на отечественных микропроцессорных средствах не реализовывались, что объяснялось как недоверием заказчиков к надежности отечественных ПТК, так и несовершенством нормативной базы. Ситуация коренным образом изменилась в последние 2 года: массовые внедрения полнофункциональных АСУТП убедили заказчиков в достаточной надежности микропроцессорной техники, несколько отечественных производителей предложили в составе своих ПТК устройства для реализации защит, РАО ЕЭС России выпустило РД 153-34.1-35.137-00 по технологическим защитам на микропроцессорной технике.

ЗАО «НВТ-Автоматика» имеет более чем десятилетний опыт реализации микропроцессорных защит: в конце 80-х – начале 90-х г.г. наши специалисты разработали систему противопомпажной защиты мощных компрессоров на базе контроллеров Ломиконт и успели внедрить ее до кризиса 1992 г.

В 1999 г. ЗАО «НВТ-Автоматика» приступило к разработке ТЗ нового поколения, соответствующих международному стандарту DIN V VDE 19250 5 кл. и проекту отечественного РД, который был введен в действие с 2001 г.

В 2000 г. разработка подсистемы технологических защит была завершена, а в первом квартале 2001 г. в эксплуатацию были введены первые две АСУТП с технологическими защитами, построенными на базе ПТК «САРГОН».

Принципы реализации защит в ПТК «САРГОН»

При разработке микропроцессорной реализации ТЗ наиболее сложной задачей является достижение требуемой надежности за разумную цену. Для решения этой задачи в ПТК «САРГОН» были использованы следующие положения.

- гибкость структуры подсистемы защит. Микропроцессорная реализация защит, вообще, отличается большей гибкостью, чем релейная. Программное обеспечение ПТК «САРГОН» позволяет дополнительно оптимизировать структуру под конкретный объект. Например, защиты могут быть реализованы как в отдельном микропроцессорном устройстве, так и совместно с другими подсистемами

АСУТП. Последнее целесообразно для небольших объектов.

- раздельное предотвращение отказов типа «ложное срабатывание» и «несрабатывание». Анализ показал, что оптимальные схемы снижения вероятностей этих отказов существенно различны, поэтому раздельное решение проблем «ложного срабатывания» и «несрабатывания» позволяет избежать избыточности в аппаратуре при резервировании.
- применение стандартных технических средств и специальных решений. Высокая надежность контроллеров ПТК «САРГОН», подтверждаемая многолетним опытом эксплуатации, позволяет реализовать подсистему ТЗ на стандартных контроллерах. При этом они оснащаются специальным ПО и включаются по специальной схеме резервирования. Использование стандартных технических средств позволяет существенно улучшить соотношение цена/качество.

Структура подсистемы ТЗ

Анализ возможных отказов

Рассмотрим контур функционирования ТЗ и выделим звенья, наименее защищенные от отказов.

Контур функционирования ТЗ включает: датчик, модуль ввода сигналов, вычислительный блок, модуль вывода сигналов, ИУ.

Отказ любого из перечисленных выше устройств приведет к отказу защиты, если не используется резервирование. Вероятность отказов этих устройств:

- для датчиков отказы типа «несрабатывание» и «ложное срабатывание» примерно равновероятны;
- для модуля ввода также равновероятны оба типа отказов: «несрабатывание» из-за неисправности модуля или «ложное срабатывание» – из-за помехи;
- для вычислительного блока и модуля вывода вероятность ложного срабатывания значительно менее вероятна, чем несрабатывания, т.к. несрабатывание связано в большинстве случаев с отказами вычислителя и модуля вывода;
- для ИУ вероятность отказа типа «ложное срабатывание» может быть существенно снижена, если вне контроллера не используется схема «подхвата» (использование подхвата при управлении арматурой фиксирует случайные помехи). Вероятность отказа типа «несрабатывание» ограничена надежностью пускателя.

Способы снижения вероятности отказов общие для всех типов устройств:

- отказ типа «несрабатывание» устраняется резервированием устройств по схеме «ИЛИ»;
- отказ типа «ложного срабатывания» – голосованием («два из двух», «два из трех», «два из четырех» и т.п.).

Высокая надежность подсистемы в целом обеспечивается сочетанием этих способов резервирования для различных элементов контура ТЗ.

Базовый вариант структуры ТЗ

Равная вероятность отказов двух типов для датчиков и модулей ввода делает однозначно предпочтительным использование схемы голосования (мажорирования). Для большинства применений достаточно схемы «два из трех», но для особо ответственных процессов (например, в ядерной энергетике) требуются и более сложные схемы.

Для резервирования вычислительного блока и модуля вывода управляющих

сигналов ТЗ применяются 3 схемы:

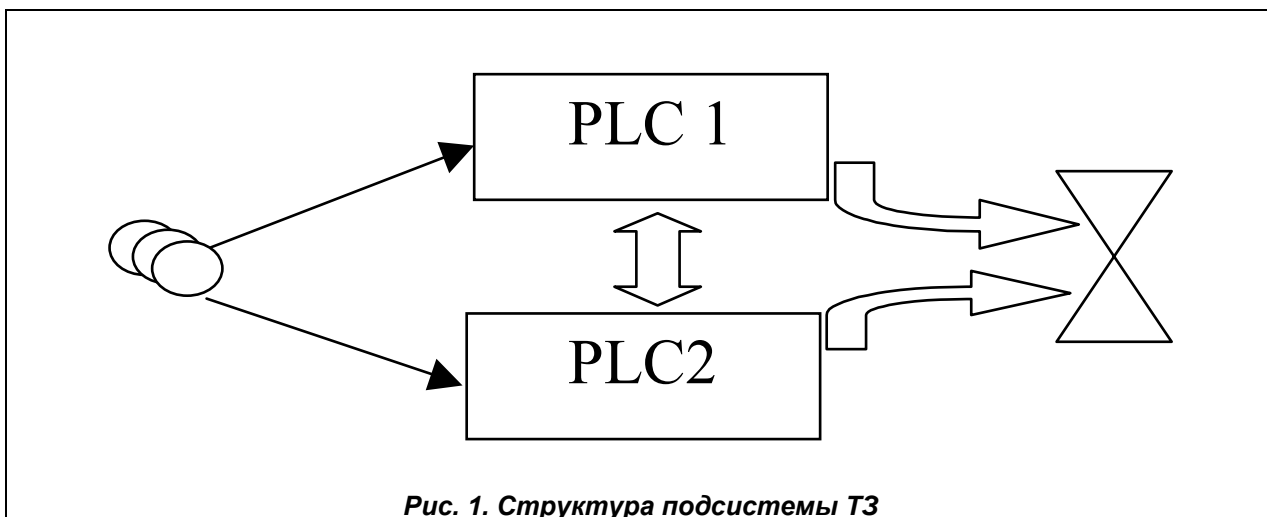
- логическое ИЛИ: резервируемые элементы работают независимо друг от друга, управляющее воздействие, сформированное любым из них, передается на выполнение;
- «горячий резерв»: один из элементов (основной) выдает управляющие воздействия, другой (резервный) – производит прием и обработку информации, но ничего не выдает, при обнаружении неисправности основного элемента происходит безударное переключение на резервный;
- мажоритарная схема: выход системы формируется путем голосования резервированных элементов.

Каждая из перечисленных схем имеет свои преимущества и недостатки, поэтому при выборе схемы резервирования вычислительного блока и модуля вывода для конкретной АСУТП необходимо учитывать особенности ОУ:

- первая схема наиболее проста, но в большом числе случаев оптимальна для ТЗ: по отказам типа «несрабатывание» она лучшая из трех, а отказы типа «ложное срабатывание» в этой части подсистемы ТЗ возможны, как правило, из-за ошибок в технологическом алгоритме, от которых не защитит никакое резервирование. По стоимости эта схема примерно вдвое дороже нерезервированной;
- вторая схема по отказам обоих типов имеет такую же надежность, как и нерезервированная система, но имеет существенно более высокие живучесть и показатель готовности (очень важный для защит, которые, как правило, находятся в ждущем режиме). Она часто применяется в тех случаях, когда схему типа 1 применить нельзя. Наиболее сложной проблемой в реализации схемы является определение условия переключения управления на резервный комплект. По стоимости данная схема примерно равна первой схеме;
- третья схема – мажоритарная – имеет наилучшую устойчивость к отказам типа «ложное срабатывание». По отказам типа «несрабатывание» она достигнет надежности схемы 0, если число контроллеров не меньше трех, а число мажоритарных элементов, осуществляющих голосование «2 из 3-х», не меньше двух. По стоимости данная схема, как минимум, в полтора раза дороже первой схемы и в три раза дороже нерезервированной системы.

Проведенный анализ вариантов резервирования показывает, что для реализации ТЗ основного теплоэнергетического оборудования целесообразно применять схему, изображенную на рис. 10.

Однако наличие дополнительных ограничений может потребовать применения другой схемы резервирования в части обработки и выдачи управляющих воздействий. В данной статье рассмотрены примеры конкретной реализации как стандартного варианта ТЗ, так и варианта с дополнительными ограничениями.



Нормативный документ, регламентирующий микропроцессорную реализацию ТЗ, предусматривает варианты как выделения подсистемы ТЗ в специализированный аппаратно-программный комплекс, так и совместной реализации в общих контроллерах с другими подсистемами АСУТП. В ПТК фирм – мировых лидеров производства средств автоматизации также встречаются оба способа реализации ТЗ.

Проведенный анализ технико-экономических характеристик двух вариантов реализации ТЗ показал, что оптимален ПТК, поддерживающий оба варианта: для крупных энергетических объектов, когда число контроллеров больше 5-6, предпочтительнее использовать выделенный аппаратно-программный комплекс; при меньшем числе контроллеров экономически выгоднее совместить реализацию защит с реализацией других подсистем АСУТП.

Структура программного обеспечения системы ТЗ

Программное обеспечение подсистемы ТЗ отличается высокой сложностью, что определяется жесткими требованиями современного РД к скорости срабатывания и надежности, разветвленностью алгоритмов ТЗ (особенно, в части реализации мажоритарных схем).

Структура подсистемы ТЗ ПТК «САРГОН» обеспечивает возможность выбора выделенной или совмещенной схемы реализации на конкретном объекте. Объектная технология, используемая в ПО ПТК «САРГОН», обеспечивает требуемое сочетание эффективности, гибкости и простоты использования.

Каждый из элементов подсистемы ТЗ (датчик, ИУ, собственно защита) представляется в АСУТП в виде самостоятельного объекта. Для резервируемых элементов создаются специальные объекты, осуществляющие резервирование по заданной схеме (например, “2 из 3-х”) и представление резервированного элемента для других программных модулей. В АСУТП становятся доступны как исходные измерения, так и результат их обработки мажоритарной схемой. Аналогично создаются объекты для ИУ и защит. Это позволяет применять разработанное ПО ТЗ как в выделенных контроллерах, так и совместно с другими программными модулями. ПО ПТК «САРГОН» включает средства выполнения эффективной диагностики работы системы резервирования.

Программное обеспечение выделенного микропроцессорного устройства ТЗ включает 5 подсистем.

1. Подсистема ввода сигналов с контролем их достоверности. Для каждого измерения подсистема осуществляет:
 - ввод резервированного сигнала и анализ по схеме “2 из 3-х” или “2 из 2-х” (в схеме резервирования могут использоваться любые сочетания аналоговых/дискретных входов);

- контроль достоверности сигналов, диагностирование недопустимого расхождения в показаниях;
 - редукцию (исключение из схемы) сигналов, признанных недостоверными;
 - контроль наличия дребезга аналоговых и дискретных сигналов, устранение его влияния;
 - формирование критерия срабатывания защиты по данному резервированному измерению;
 - ввод аналоговых и дискретных параметров, используемых для автоматического ввода защиты.
2. Подсистема диагностирования аварийной ситуации:
- ввод и вывод защиты – автоматический или по команде, ремонтный вывод защиты;
 - диагностирование аварийной ситуации по совокупности критериев, сформированных подсистемой ввода;
 - выдержка времени;
 - фиксация первопричины аварийной ситуации;
 - формирование сообщения аварийной сигнализации.
3. Подсистема срабатывания защит: выполнение последовательности действий, инициируемой диагностированной аварийной ситуацией. Действия осуществляются или путем выдачи команд управления ИУ (для всех ИУ постоянного тока), или выдачей управляющего воздействия одновременно на группу ИУ.
4. Подсистема контроля исправности цепей управления ИУ:
- контроль соответствия выходов и входов гарантирует обнаружение отказов в выходных цепях управления исполнительными устройствами защит путем сравнения значений, получаемых на контрольных входах, со значениями, заданными подсистемой защит на выходах;
 - контроль исправности цепей управления устройств постоянного тока по току, протекающему через магнитную катушку пускателя ИУ, позволяет диагностировать: отсутствие обрыва цепи управления, отсутствие короткого замыкания в цепи управления, срабатывание пускателя при получении управляющего сигнала;
 - контроль действия защит: проверка исполнения команд на переключение ИУ, сигнализация о нарушениях в действии защиты.
5. Системный контур выполняет:
- контроль исправности каналов ввода/вывода; регистрацию последовательности аварийных событий с разрешением 10 мс; архивирование предаварийной и аварийной истории ТП с интервалом 0,1с;
 - ведение БД аварийных ситуаций;
 - передачу БД и сообщений в АСУТП;
 - синхронизацию с другими контроллерами.

При совмещении ТЗ с программными модулями других подсистем АСУТП системный контур становится частью базового ПО контроллера, а все остальные подсистемы ТЗ не изменяются.

Библиотека ТЗ

Объектная структура ПТК «САРГОН» позволяет легко построить любую ТЗ из нескольких типовых блоков. Для реализации каждой подсистемы ТЗ библиотека содержит несколько типов элементов: ввод аналоговый, ввод дискретный, защита аналоговая или

дискретная, блок действия защит, блок контроля действия защит.

При создании подсистемы ТЗ АСУТП конкретного объекта выбираются те элементы библиотеки, которые соответствуют набору защит, входных сигналов и ИУ данного объекта. Выбранные элементы связываются между собой, с входными и выходными сигналами.

Стоимостные характеристики

Подсистема защит – наиболее ответственная часть системы управления энергетической установкой (энергоблоком), поэтому экономия стоимости не должна становиться целью перевода подсистемы на микропроцессорные средства. Однако практика показывает, что если стоимость микропроцессорных защит оказывается существенно дороже традиционного УКТЗ (устройство комплектное технологических защит), заказчик будет эксплуатировать традиционную релейную автоматику. Поэтому критическим порогом стоимости подсистемы ТЗ является стоимость реализации тех же защит на УКТЗ.

Высокие ТЭП ПТК «САРГОН» позволили создать типовые решения для выделенных или совмещенных с другими подсистемами технологических защит, не превышающие по стоимости свои релейные аналоги.

Технологические защиты турбогенератора Вологодской ТЭЦ

В начале 2001г. была введена в эксплуатацию полнофункциональная АСУТП турбогенератора 2 Вологодской ТЭЦ. Технологические защиты, как и другие функции АСУТП, были реализованы в ПТК «САРГОН». В соответствии с заданием Калужского турбинного завода на турбине реализованы 17 защит.

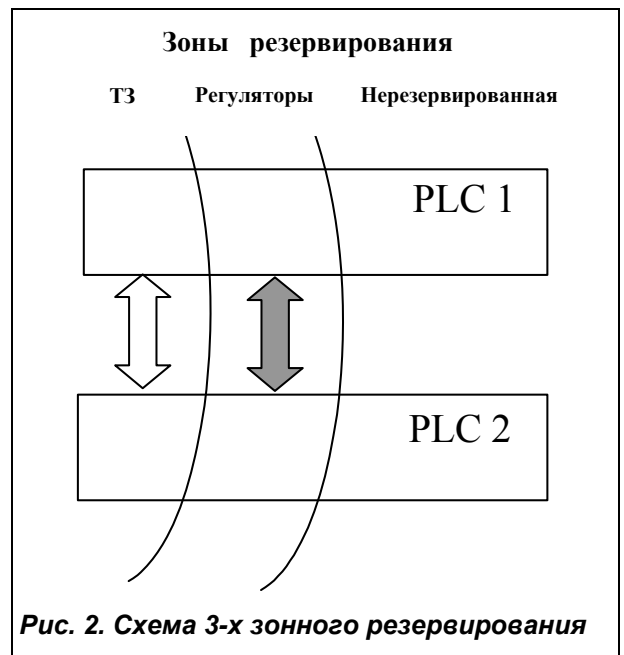
Общий объем контроля и управления (700 сигналов, 85 ИУ) требовал установки в АСУТП двух многоканальных контроллеров (PLC1 и PLC2, рис. 11).

Защиты реализованы в тех же контроллерах, что и другие функциональные подсистемы, но логически отделены от них. Возможность избирательного резервирования, предоставляемая ПТК «САРГОН», обеспечила минимизацию стоимости АСУТП при выполнении всех требований по надежности, предъявляемых к реализации ТЗ.

Схема реализации защит

Технологические защиты ТГ-2 Вологодской ТЭЦ являются примером типовой реализации изложенных выше принципов.

- сигналы с аналоговых датчиков заведены на оба контроллера.
- для резервированного измерения (температура пара перед турбиной) применяется схема обработки входных сигналов «2 из 2-х».
- защиты внутри каждого контроллера независимы от защит в другом контроллере.
- выходы контроллеров, формирующие управляющие воздействия на ИУ защит, объединены по схеме логическое «ИЛИ».
- для представления резервированных сигналов, ИУ и собственно защит в других вычислительных узлах (в том числе, на АРМ оператора) используются программные модели-связки, которые обеспечивают: отображение и использование в технологических программах резервированного элемента, который является основным в текущий момент времени; передачу команд защитам в оба контроллера.
- реализован контроль исправности цепей управления ИУ постоянного тока.



Контроль цепей управления

Для контроля цепей управления ИУ постоянного тока были использованы аналоговые входы контроллера. Контроль исправности цепи управления осуществляется по току двигателя ИУ. Программа контроля выделяет 3 пороговых значения тока:

- минимальный покоя – при меньшем значении тока диагностируется обрыв цепи управления;
- минимальный рабочий – при меньшем значении тока диагностируется невключенное исправное состояние двигателя;
- перегрузки – при большем значении тока диагностируется перегрузка по току работы двигателя.

Наличие индивидуальной гальванической развязки аналоговых входов в ПТК «САРГОН» упростило схему контроля.

Технологические защиты доменного турбокомпрессора на ТЭЦ-ПВС г. Бао-Тоу (КНР)

Проект АСУТП доменного компрессора с турбинным приводом для ТЭЦ-ПВС Бао-Тоу разрабатывался в 1993г., поэтому ТЗ установки выполнены комбинированным способом - наиболее сложная противопомпажная защита реализована на ПТК «САРГОН», а остальные ТЗ – на релейных схемах.

Главными особенностями противопомпажной защиты турбокомпрессора являются:

- сложность вычисления условия срабатывания защиты – для определения момента срабатывания необходимо в РВ вести пересчет нелинейных характеристик воздушного тракта компрессора;
- высокие требования по быстродействию – для защиты от помпажа без отключения агрегата потребовалось обеспечить продолжительность программного цикла обработки данных в 50 мс, что жестче требований РД;

- тесная связь противопомпажной защиты с системами регулирования – как противопомпажной, так и системы регулирования производительности. Воздействие на общие с САР ИМ не позволяет применить типовую схему, описанную выше, т.к. одновременная работа регуляторов в основном и резервирующем контроллере недопустимы.

Для реализации такой защиты была применена схема резервирования со 100 %-ным горячим резервом (рис. 12). Выдача управляющих воздействий производится только с основного комплекта, выходы резервного блокируются на системном уровне. Для арбитража между основным и резервным комплектом использовался аппаратный триггер и специальный кабель связи, предоставляемые фирмой-изготовителем контроллеров (ГК «ТЕКОН»).

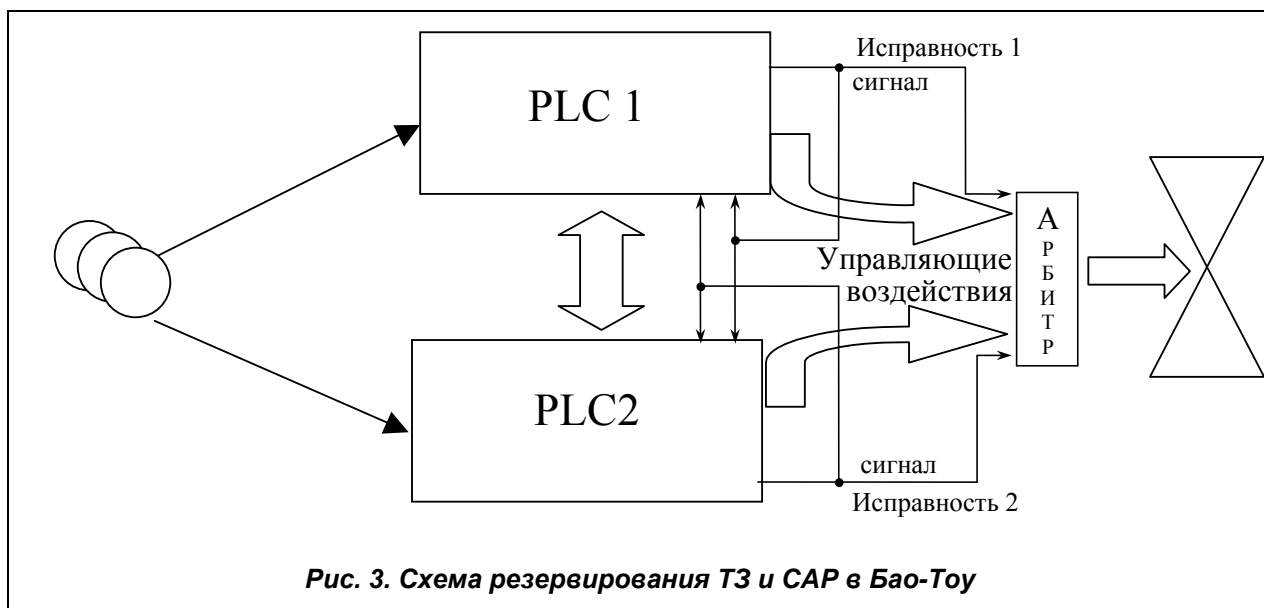


Рис. 3. Схема резервирования ТЗ и САР в Бао-Тоу

При запуске системы основным становится контроллер, включившийся в работу первым. При обнаружении его отказа или отключения триггер переключает управление на резервный контроллер. Резервный комплект постоянно находится в работе (блокируется только его выход), поэтому безударность переключения эффективно обеспечивается самими алгоритмами регулирования. Отказавший контроллер после перезагрузки и, если необходимо, ремонта включается в работу как резервный.

Проведенные испытания и два года промышленной эксплуатации системы подтвердили эффективность реализованной схемы защиты.

Схема реализации технологических защит в составе ПТК «САРГОН» была предложена бригадным инженером ОРГРЭС Шмелькиным А.Д. при проведении экспертизы ПТК в 1999г. Ценные критические замечания и советы мы получили от автора РД 153-34.1-35.137-00 Чучкиной Н.И. Важную роль сыграла решимость главного инженера Вологодской ТЭЦ Иванова А.Г. создать полнофункциональную АСУТП турбогенератора, включающую защиты. Большую поддержку при внедрении мы получили от начальника КТЦ Вологодской ТЭЦ Корчагина В.П.

Заключение

На базе ряда отечественных ПТК предлагаются реализации ТЗ, которые имеют более высокую надежность и меньшую цену, чем традиционный вариант на УКТЗ.

Существующая нормативная база и встроенные средства диагностики обеспечивают лучшие условия эксплуатации микропроцессорных ТЗ, чем релейных.