Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Несмотря на существование большого разнообразия методов резервирования, в промышленной автоматизации получили распространение только два из них:

- горячее резервирование замещением (hot standby)
- метод голосования (2oo3 voting, 1oo2 voting и др.).
- реже используется теплый резерв (warm standby).

Цель резервирования - обеспечение безотказности или безопасности.

Методы резервирования, используемые для достижения этих двух целей, существенно различаются.

Основное различие

для обеспечения **безопасности** достаточно снизить вероятность только опасных отказов,

для обеспечения **безотказности** требуется обеспечить работоспособность системы при всевозможных отказах.

Поэтому системы, связанные с безопасностью, получаются проще, чем отказоустойчивые системы при условии одинаковой наработки до отказа.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

В основе метода резервирования лежит идея замены отказавшего элемента исправным, находящемся в резерве. Сложности реализации этой идеи зависят от целей резервирования.

Примеры таких целей:

- минимальное время перехода на резерв
- минимальная стоимость оборудования при заданной вероятности безотказной работы в течение определенного времени (наработки).

Замена отказавшего элемента может быть:

- «ручной», для этого достаточно иметь резервный (запасной) элемент на складе, продолжительность замены составит от единиц до десятков часов, что для многих систем автоматизации недопустимо;
- «горячей», для этого необходимо применять контроллеры и модули ввода-вывода с возможностью «горячей замены» и хорошо развитую систему диагностики неисправностей.

И первый и второй способы предполагают замену неисправного модуля оператором, или другим уполномоченным лицом.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Для обеспечения возможности "горячей замены" необходимо предусмотреть следующее:

- защиту от статического электричества, которое может возникать на теле оператора, выполняющего замену устройства;
- необходимую последовательность подачи напряжений питания и внешних сигналов, например, с помощью разъемов с контактами разной длины;
- защиту системы от броска тока, вызванного зарядом емкостей подключаемого устройства, например, с помощью токоограничительных резисторов или отдельного источника питания;
- защиту устройства от перенапряжения, короткого замыкания, переполюсовки, превышения напряжения питания, от ошибочного подключения;
- программируемые устройства должны быть заранее запрограммированы, в сетевые устройства должен быть записан правильный адрес и предусмотрена подсистема автоматической регистрации нового и исключения старого устройства из сети;
- в алгоритмах автоматического регулирования должен быть предусмотрен "безударный" режим смены контроллера или модулей ввода-вывода.

Если резервный элемент входит в состав системы, то она относится к резервированным системам с ручным замещением отказавшего элемента.

Пример

В корзине 8 модулей, из них 7 задействованы, 8-й резервный для любого.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

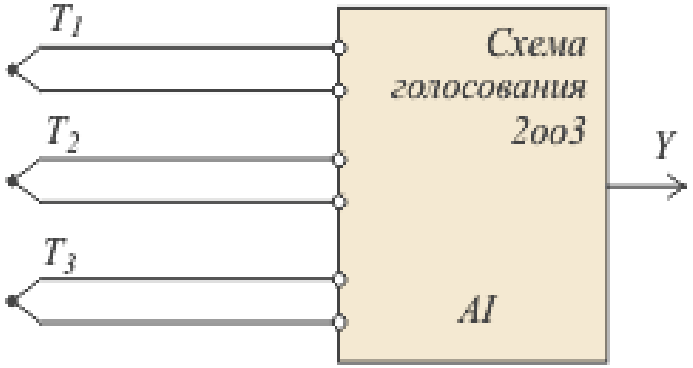
Системы с голосованием

Основным отличительным признаком систем резервирования с голосованием является **невозможность выделения в системе основных элементов и резервных, поскольку все они равноправны, работают одновременно и выполняют одну и ту же функцию**. Выбор одного сигнала из нескольких осуществляется схемой голосования, которая называется **мажоритарной схемой**.

Мажоритарный элемент - логический элемент из класса пороговых, с чётным или нечётным числом входов и одним выходным сигналом, значение которого совпадает со значением на большинстве входов.

Рассмотрим пример резервирования датчиков 2oo3

В схему голосования поступают три значения измеряемой в температуры, из которых необходимо выбрать одно. Значения температуры располагаются в порядке возрастания, а на выход схемы голосования поступает значение, расположенное между двумя крайними (но не среднее арифметическое!). Например, если в результате измерения получены значения (0,12; 39,5; 39,4)°C, то используется только значение 39,4, остальные игнорируются.



Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Системы с голосованием

Резервирование элементов с дискретными сигналами выполняется аналогично рассмотренному выше.

В результате мажоритарного голосования выбирается то значение, которое принимают большинство сигналов. Например, при логических сигналах A="1", B="1", C="0" результатом голосования будет значение Y="1". Блок мажоритарного голосования реализует логическую функцию Y = AB + BC + CA.

Для работы мажоритарной схемы число "голосов" должно быть нечетным.

На самом деле, в системах безопасности возможно применение любого числа "голосов".

Вместо недостающего голоса используется условие, что система считается работоспособной, если отказ является безопасным.

Обозначение схем голосования по стандарту МЭК 61508:

- 1oo2 один голос из двух (1 Out Of 2);
- 2oo2 - (два голоса из двух);
- 2oo3 (два голоса из трех);
- 2oo4 (два голоса из четырех);
- 3 oo4 (три голоса из четырех).

Нерезервированные системы обозначаются как 1oo1.

Если в резервированной системе имеется развитая подсистема диагностики неисправностей, то к обозначению добавляется буква "D", например, 1oo2D .

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Системы с голосованием

Пример схемы с голосованием по схеме 1oo2

Примером системы с голосованием вида 1oo2 может служить система охранной сигнализации двери, в которой используются два датчика A и B с целью взаимного резервирования. При отказе одного из датчиков (например, датчика B, когда вместо A=1, B=1 получаем A=1, B=0) система, пользуясь правилом большинства голосов, не может принять решение. Однако, если учесть, что ложное срабатывание охранной системы не приводит к опасной ситуации, а несрабатывание системы при наличии нарушителя является опасным отказом, очевидно, схема голосования должна считать, что достаточно одного голоса из двух, чтобы принять решение о подаче аварийного сигнала. Если сигналом срабатывания сигнализации является логическое значение "1", а сигналом отсутствия нарушителя является значение "0", то блок голосования реализует логическую функцию Y = A + B.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Системы с голосованием

В системах с голосованием по схеме 2oo2 (3oo3) требования к безопасности гораздо выше

Пример

Система контроля герметичности люка при погружении подводной лодки.

Если люк имеет два датчика, то сигнал готовности к погружению может появиться только при наличии подтверждения (A="1", B="1") от обоих датчиков одновременно (двух из двух). Выход из строя одного датчика не должен позволить системе выработать сигнал готовности к погружению, чтобы опасная ситуация не возникла.

Такой блок реализует логическую функцию Y = AB.

Несмотря на высокую эффективность схем голосования с четным числом голосов, они имеют недостаток, состоящий в возможности **ложного срабатывания**. Хотя этот тип отказов и не является опасным, в некоторых случаях он приводит к значительному материальному ущербу.

Выбор наилучшей системы осуществляется на основании результатов экономических расчетов.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Системы с голосованием

При отказе одного из элементов резервированной системы безопасности 2oo3 ее уровень безопасности понижается и она может начать функционировать как система 1oo2. Если замена неисправного элемента не произведена и произошел второй отказ, то система переходит в режим без резервирования 1oo1, однако в этом режиме система не может находиться долго по требованиям безопасности. Очередность перехода от одной схемы резервирования к другой называется **схемой деградации**.

Система безопасности 2oo3 может иметь следующие варианты деградации:

2oo3 - 2oo2 - 1oo1 - 0.

Здесь "0" обозначает состояние, когда система перестает функционировать (останавливается). Перед остановкой система должна перевести все свои выходы в безопасные состояния.

Понятие безопасного состояния для каждой системы определяется при ее проектировании.

Пример

Для систем аварийного отключения безопасными являются **обесточенные** состояния исполнительных механизмов

Для систем автоматического пожаротушения или аварийной вентиляции - наоборот, состояния, при которых на исполнительные устройства подана энергия.

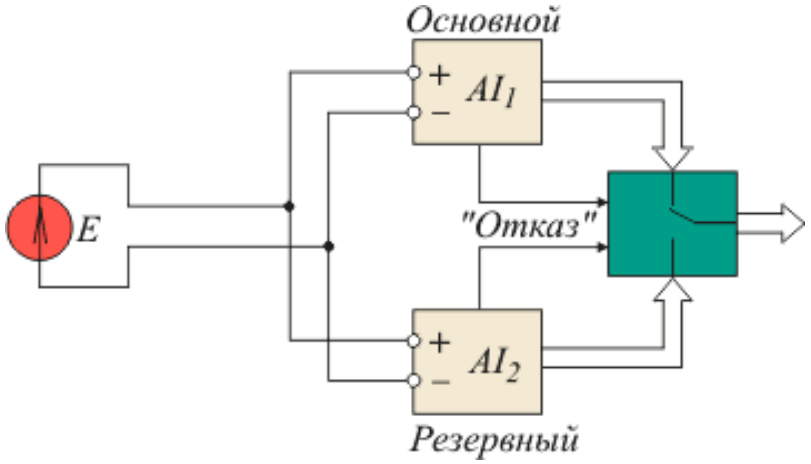
Схемы голосования широко используются в системах противоаварийной защиты и сигнализации, где они имеют большое разнообразие.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Системы с горячим резервированием замещением (Hot Standby).



Отличительной чертой таких систем является принципиальная необходимость в подсистеме контроля работоспособности как основного, так и резервного элементов, наличие блока переключения на резерв, а также шины для синхронизации между процессорами (последнее относится только к резервированию процессоров).

Основным параметром систем с резервированием замещением является время переключения на резерв. Переход на резерв выполняется в пределах одного или нескольких контроллерных циклов и занимает время от единиц миллисекунд до долей секунды.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Системы с более медленным переключением на резерв (от долей до единиц секунд) относят к системам с теплым резервом (Warm Standby). Конструктивное отличие теплого резервирования контроллеров от горячего заключается в отсутствии высокоскоростного канала синхронизации между процессорами, вместо него используется стандартная низкоскоростная промышленная сеть или другой последовательный канал обмена.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Для контроля работоспособности используются такие параметры и события, как:

- обрыв линии связи;
- короткое замыкание (к. з.);
- отклонение величин напряжения питания и (или) тока;
- отсутствие связи;
- перегрев выходных каскадов модулей вывода;
- перегрузка по току;
- отсутствие нагрузки;
- выход сигналов за границы динамического диапазона;
- срабатывание предохранителя;
- срабатывание блокировок и защит;
- целостность линий связи с модулями ввода-вывода;
- ошибка контрольной суммы;
- ошибка памяти;
- "зависание" процессора и т. п.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Перечень процедур контроля ПЛК приведен в ГОСТ Р 51841.

Диагностическая информация должна выводиться на пульт оператора и одновременно может использоваться для переключения на резерв.

Для исключения ошибочного перехода на резерв по причине сбоя в системе контроля используют временной фильтр, который разрешает переключение только при условии, что состояние неисправности длится не менее установленного времени (например, 1...100 мс).

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Резервированными могут быть отдельные элементы системы, их группы и вся система в целом.

Поэлементное резервирование позволяет повысить отказоустойчивость в первую очередь наиболее важных или наименее надежных элементов, выбрать различную кратность резервирования для разных элементов системы и тем самым достичь максимального отношения надежности к цене.

Общее резервирование не требует анализа соотношений между надежностью отдельных элементов системы, исключает ошибки при расчете надежности и выборе различных схем резервирования, а также ошибки, вызванные плохой наглядностью архитектуры системы при поэлементном резервировании.

В случае **общего** резервирования достаточно **двух отказов для отказа всей системы**, если один из элементов расположен в основной системе, второй - в резервной.

При **поэлементном** резервировании **вероятность такого отказа существенно ниже**, поскольку для его реализации необходимо, чтобы один из отказавших элементов был основным, второй - его резервом, что крайне маловероятно.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Модули ввода и датчики

Типичными отказами при вводе сигналов в ПЛК является обрыв или короткое замыкание линии связи. На долю отказов линий связи, датчиков и исполнительных устройств в системах автоматизации приходится 85% всех отказов.

Линии связи могут повреждаться в результате:

- стихии (обмерзание, порыв проводов),
- земляных работ, неправильного монтажа;
- злонамеренных действий
- и т. п.,

Поэтому их надежность часто не связана напрямую с надежностью кабеля.

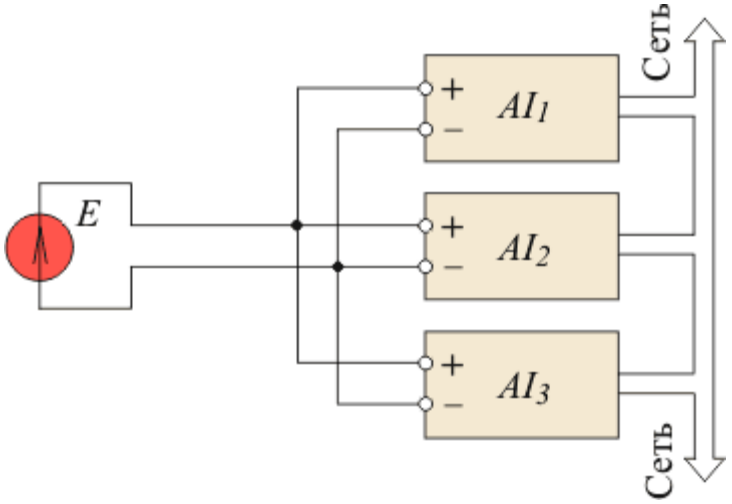
Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

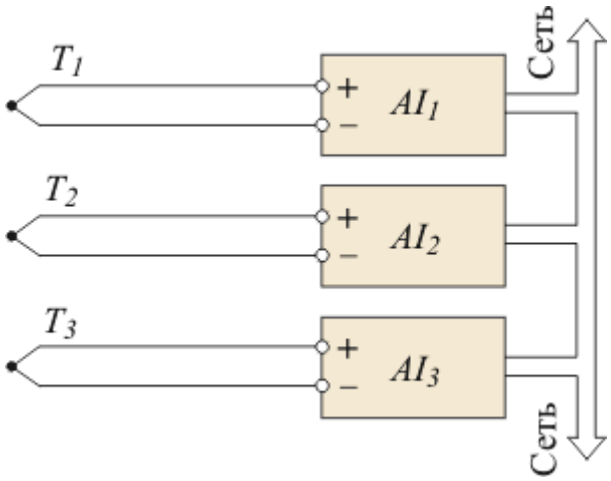
Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Схемы голосования могут применяться для резервирования:

- датчиков при использовании одного модуля ввода;
- модулей ввода при наличии одного датчика;
- датчиков и модулей ввода одновременно.





Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Если выполняется резерв модулей при одном датчике, то потенциальные входы модулей соединяются ?, а токовые - ?

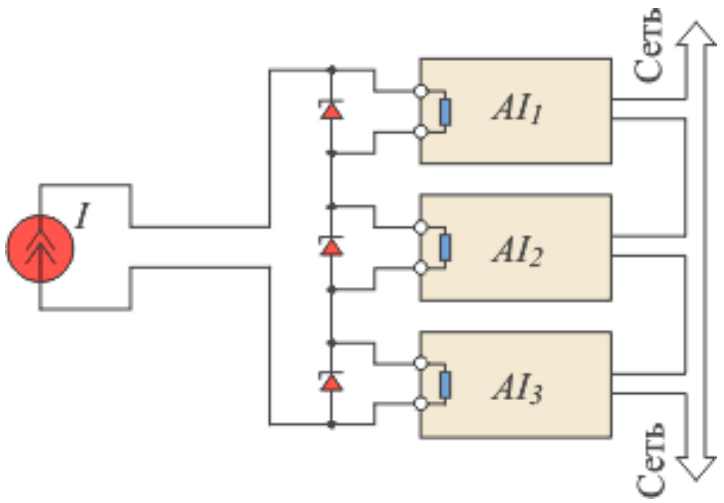
Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

При последовательном соединении отключение одного из модулей (например, для выполнения замены) приводит к разрыву всей цепи.

Для устранения этого эффекта используют стабилитроны. При использовании источника тока с большим внутренним сопротивлением (например, стандартного источника 4...20 мА) ток не зависит от сопротивления нагрузки, поэтому появление стабилитрона в контуре с током при удалении одного из модулей не вносит погрешность в результат измерения. Ток утечки стабилитрона должен быть мал по сравнению с допустимой абсолютной погрешностью измерения тока, а напряжение стабилизации - больше максимального падения напряжения на измерительном резисторе.

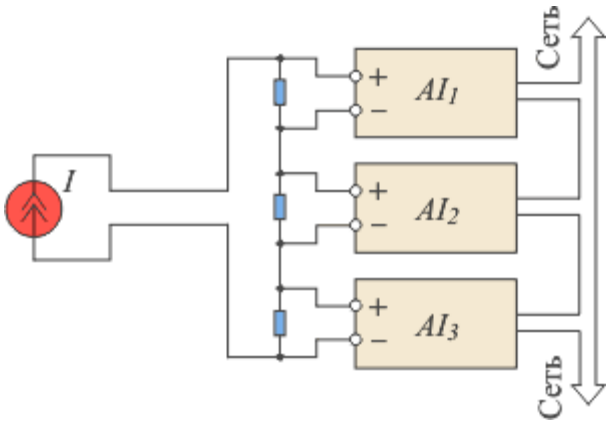


Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Тот же эффект достигается, если использовать внешние измерительные резисторы, которые обеспечивают замкнутый путь для тока при удалении одного из модулей. При этом используются модули с потенциальным входом, а измерение тока выполняется косвенным методом (по падению напряжения на сопротивлении).



Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Основной проблемой в системах, резервированных методом замещения, является автоматический контроль исправности.

Для контроля исправности аналоговых модулей ввода могут быть использованы следующие величины и события:

- среднеквадратическое значение напряжения или тока шума;
- напряжение смещения нуля;
- температура внутри корпуса модуля;
- погрешность (оценивается с помощью встроенного источника опорного напряжения);
- зависание процессора (диагностируется с помощью сторожевого таймера);
- напряжение питания процессора;
- ошибка контрольной суммы;
- ошибка в ответе на команду.

Для диагностики обрыва во входных цепях аналоговых модулей используются следующие методы:

- контроль выхода переменной за границы динамического диапазона или границы ее изменения;
- применение тестирующих источников тока.

В обоих случаях контролируют выход сигнала из динамического диапазона.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Датчики и модули ввода дискретных сигналов

При вводе дискретных сигналов используются методы голосования и резервирования замещением.

Схемы подключения датчика типа «сухой контакт»

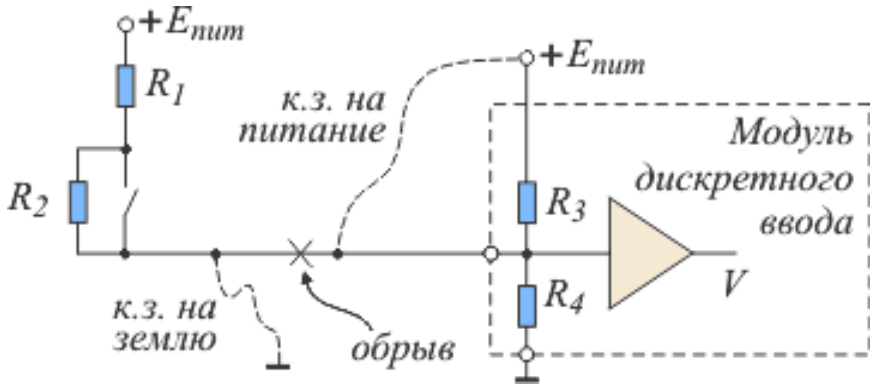
При обрыве линии на входе модуля появляется сигнал, величина которого определяется делителем напряжения $E_{пит}R4/(R3+R4)$.

В случае короткого замыкания на шину питания напряжение на входе модуля равно напряжению питания.

При к. з. на землю напряжение на входе равно нулю.

При разомкнутом состоянии датчика напряжение равно $E_{пит}R4/(R4 + R3||(R1+R2))$,

при замкнутом - $E_{пит}R4/(R4 + R3||R1)$. .



Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Датчики и модули ввода дискретных сигналов

Рассмотрим пример

Датчик используется в системе охраны и его нормальным состоянием является открытое.

Обрыв линии связи и к. з. на землю останутся незамеченными, поскольку их невозможно отличить от нормального состояния датчика.

Предположим, что нормальным состоянием датчика является замкнутое.

Тогда при любом из перечисленных отказов линии связи сигнализация сработает, т.е. отказа, приводящего к несрабатыванию функции безопасности, произойти не может.

В системах безопасности и противоаварийной защиты используют датчики, у которых нормальным состоянием замкнутое (находятся под напряжением).

При выборе упрощенных схем диагностики следует учитывать, что в правильно спроектированной системе безопасности срабатывание датчика не должно быть блокировано неисправностями линии связи, а если такая блокировка возможна, то она должна быть обнаружена системой контроля.

Для обнаружения неисправностей модуля ввода может использоваться автоматическое тестирование во время кратковременного отключения источников сигнала и нагрузок путем подачи на вход тестовых комбинаций логических уровней

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

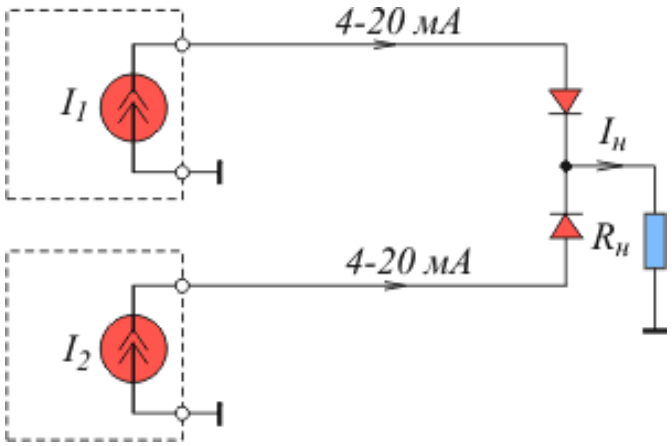
Резервирование замещением

Модули аналогового вывода

Резервирование модулей **вывода** принципиально отличается от резервирования модулей ввода тем, **что устройства вывода в большинстве случаев являются источниками энергии**, в то время как устройства ввода являются приемниками информации (сигналов).

Поэтому если для переключения на резерв в модулях ввода достаточно программным способом перенаправить поток принимаемой информации, то в модулях вывода необходимо переключить поток энергии, что невозможно сделать только программными средствами.

До наступления отказа каждый источник выдает ток, равный половине тока нагрузки *I/2*. При к. з. или обрыве линии связи ток через диод в этом канале становится равным нулю и срабатывает алгоритм резервирования, который устанавливает в исправном канале ток, равный *I*.



Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Модули аналогового вывода

Реальная ситуация с резервированием аналоговых выходов

Резервированный вывод аналоговых сигналов реализуется наиболее сложно и в промышленной автоматике используется редко. Проблема состоит в том, что для переключения на резерв механические реле использовать нежелательно по причине их низкой надежности, а другие способы (включая метод голосования) порождают сложные схемы, которые также понижают надежность системы.

Поэтому модули аналогового вывода чаще всего просто отсутствует в промышленных резервируемых системах.

Отсутствие резервированных модулей аналогового вывода оправдывается также тем, что в системах промышленной безопасности все исполнительные устройства импульсного типа.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Модули дискретного вывода

Резервирование модулей дискретного вывода, кабелей и нагрузки обычно выполняется методом голосования. Для этого дискретные выходы соединяются параллельно через диоды (как при резервировании аналогового вывода)

Для чего используются диоды?

При отказе одного из источников управление нагрузкой продолжается от второго источника. У способа есть недостатки, например, при пробое выходного каскада на шину питания, отказавший канал блокирует управление нагрузкой, но несмотря на это он может быть использовано в системах, связанных с безопасностью, если рассмотренный вид отказа резервированной системы не влияет на выполнение функции безопасности.

Пример

Если безопасным состоянием выхода является наличие напряжения (для питания двигателей насосов в системе пожаротушения), рассмотренный отказ не является опасным и не влияет на величину вероятности отказа при наличии запроса.

Таким образом, параллельное соединение дискретных выходов с целью резервирования может использоваться только в системах **аварийного включения** нагрузки и не используется в системах **аварийного отключения**.

Вероятность отказа при включении у такой цепи эквивалента дублированной системе, а при отключении - меньше, чем у нерезервированной.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

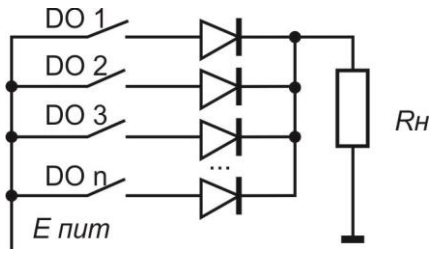
Резервирование замещением

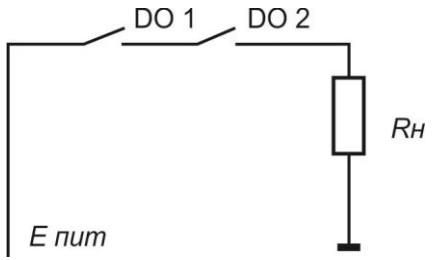
Модули дискретного вывода

Резервирование модулей дискретного вывода в системах **аварийного отключения**.

В системах **аварийного включения** реализуется функция логического **ИЛИ**, а системах **аварийного отключения И.**

Тип выхода – «сухой контакт».





Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Процессорный модуль следует резервировать в первую очередь, т.к. при его отказе наступает отказ всей системы. Одновременно с процессором обычно резервируют блок питания и промышленную сеть.

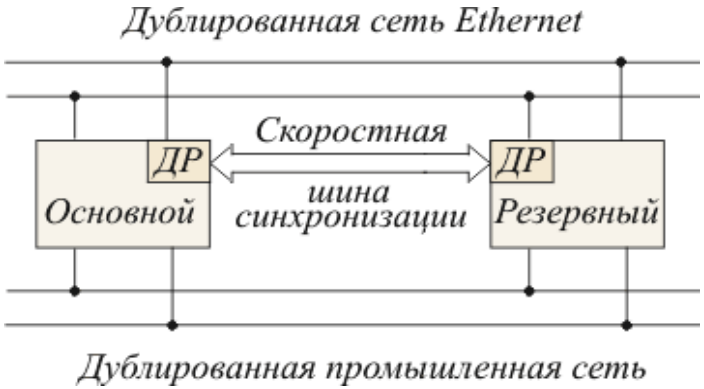
Резервирование процессора с целью повышения отказоустойчивости и живучести выполняют методом замещения с горячим или теплым резервом, а также метод голосования.

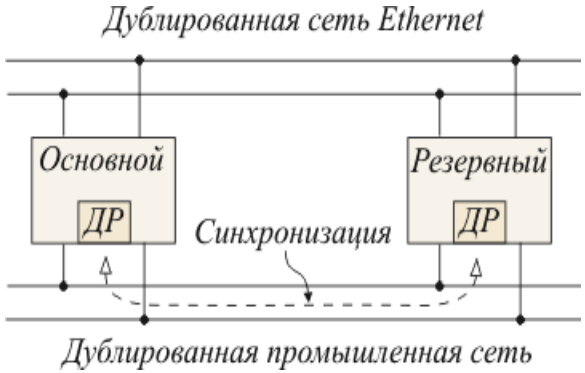
Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули





Сложность резервирования процессоров заключается в том, что в момент замещения резервный процессор должен иметь внутренние состояния, идентичные состояниям основного.

В системах резервирования замещением для быстрой перезаписи внутренних состояний используется специализированная высокоскоростная шина или оптический канал синхронизации (горячий резерв)

Для систем, некритичных ко времени перехода на резерв, может быть использован медленный последовательный канал синхронизации с интерфейсами, например, RS-232, USB, RS-485 или обычная промышленная сеть (CAN, Modbus, Profibus и др.) общего назначения. Такие системы относят к системам с "теплым" резервом.

ДР – драйвер резервирования

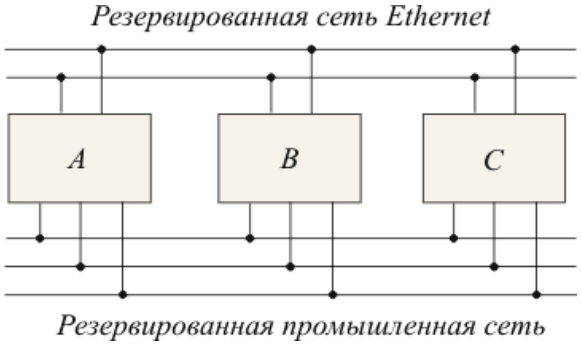
Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

При резервировании используют методом голосования по схеме 2oo3. Для систем, связанных с безопасностью, используют резервирование по схеме 1oo2 или 2oo2, в том числе с диагностикой (1oo2D и 2oo2D).



В системах с голосованием большинство внутренних состояний процессоров идентичны, поскольку они работают одновременно с одними и теми же входными данными и исполняют одну и ту же программу, поэтому синхронизация необходима только во время горячей замены отказавшего процессора.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

К резервированным процессорным модулям предъявляются следующие основные требования:

- безударное переключение на резерв (без внесения возмущений в управляемый процесс);
- малая длительность переключения;
- высокая надежность общих средств, выполняющих функцию переключения (шина синхронизации и программное обеспечение).

Контроль работоспособности процессоров может выполняться на каждом контроллерном цикле, перед считыванием сигналов с модулей ввода и перед выводом сигналов на исполнительные устройства. Для выполнения контроля без остановки процесса функционирования системы источники сигнала и нагрузки отключаются на короткое время (например, 1 мс) для подачи тестовых воздействий и измерения реакции на них. При достаточно малой продолжительности отключенного состояния оно не вносит возмущений в работу системы вследствие инерционности исполнительных устройств.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Горячее резервирование замещением

Основной сложностью при резервировании процессорного модуля является обеспечение синхронизации между основным и резервным процессором. Для того, чтобы перейти в рабочее состояние, резервный процессор должен иметь возможность:

- синхронизировать с основным процессором работу прикладной программы, накопленные данные, состояния регистров, состояния входов и выходов, таблицы неисправностей;
- обнаружить отказ основного процессора;
- заместить отказавший процессор.

При первоначальном включении резервного процессора из выключенного состояния или после горячей замены он должен получить от основного следующую информацию:

- все данные, полученные со входов;
- все данные, отправленные на выходы;
- состояния ПИД-регуляторов;
- уставки и другие значения, заданные пользователем в процессе работы системы;
- содержимое регистров, в том числе счетчиков-таймеров;
- другие данные, которые пользователь считает нужным синхронизировать.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Горячее резервирование замещением

После первоначальной синхронизации она повторяется в каждом контроллерном цикле. Это позволяет утверждать, что резервный контроллер всегда готов к замещению основного.

В этом заключается суть термина "горячий резерв".

Процедура перехода на резерв обычно занимает один контроллерный цикл. В течение этого времени выходные состояния всех модулей вывода сохраняются неизменными. Процедуру перехода на резерв выполняет специальный драйвер резервирования, который:

- определяет, какой из процессоров является основным, какой – резервным, обычно основным является тот, который раньше был включен или назначен пользователем;
- рассылает всем участникам сети сообщения о том, какой процессор стал основным и какого типа система получилась после перехода на резерв (в соответствии со схемой деградации);
- выполняет синхронизацию;
- выполняет диагностический тест, который идентифицирует ошибки шины, потерю связи с сетевыми устройствами, изменение статуса процессора.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Горячее резервирование замещением

Переключение процессора обычно выполняется без коммутатора, с помощью изменения в сетевых устройствах адреса процессора. Например, если по умолчанию основной процессор имеет адрес 31, но после отказа драйвер резервирования указал, что основной процессор изменил адрес на 30, то модули вывода не принимают данные с адреса 31, но принимают с адреса 30. Если данные не поступают ни с адреса 31, ни с адреса 30, то модули вывода переводят свои выходы в безопасные состояния.

Приложения-клиенты верхнего уровня системы автоматизации, которые используют данные из контроллера, во время переключения на резерв должны перерегистрироваться на получение информации от нового процессора.

Для выполнения безударного переключения необходим быстрый обмен информацией между процессорами в течение одного или максимум двух-трех контроллерных циклов. Для этого используется быстродействующий канал связи, выполненный в виде параллельной электрической шины или с помощью оптического кабеля.

Оптоволоконный канал, в отличие от параллельной шины, может использоваться для разнесения основного и резервного контроллеров на большое расстояние (километры), что необходимо для снижения вероятности отказа по общей причине, например, вследствие стихийного бедствия.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Горячее резервирование замещением

Необходимость постоянной синхронизации является причиной того, что у резервированных процессоров контроллерный цикл длиннее или используются более мощные процессоры, чем обычно.

Поскольку продолжительность синхронизации является очень важным параметром, от которого зависит коэффициент готовности системы и возможность безударного переключения на резерв, появляется задача минимизации объема передаваемой информации. Одним из путей решения этой проблемы является передача данных только при наступлении определенных событий в системе, которые могут приводить к различию во внутренних состояниях основного и резервного процессоров. В частности, синхронизация по событиям выполняется, если:

- происходит обмен информацией с модулями ввода-вывода;
- поступает запрос на прерывание;
- срабатывают запрограммированные пользователем таймеры;
- изменяются данные в результате обмена по сети.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Горячее резервирование замещением

Синхронизация по событиям должна выполняться средствами операционной системы контроллера в фоновом режиме и быть не связанной с программой пользователя. Это позволяет использовать одну и ту же прикладную программу как на резервированных процессорах, так и в системах без резервирования.

Недостатком систем с резервированием замещением является наличие нерезервированных подсистем: канала синхронизации, программного драйвера резервирования и процессора, на котором этот драйвер исполняется. Отказ этих элементов приводит к отказу всей резервированной системы.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Резервирование методом голосования

Метод голосования проще, чем резервирование замещением, поскольку не требует постоянной синхронизации состояний процессоров. Кроме того, метод голосования позволяет выполнять задачу управления без остановки во время перехода на резерв.

Голосование с целью обеспечения **безотказности** возможно только в системе, состоящей **не менее чем из трех процессоров**, что достаточно дорого.

Два процессора, включенные по схеме голосования, могут быть использованы только в системах **безопасности**.

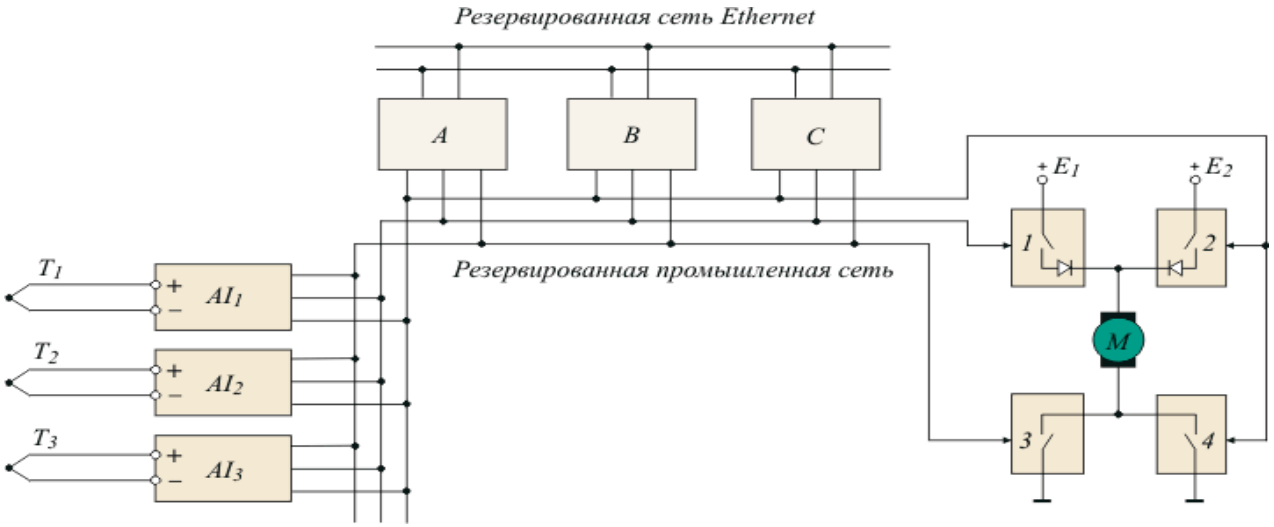
Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Резервирование методом голосования



Система с голосованием по схеме 2oo3.

Три процессорных модуля A, B и C исполняют одну и ту же программу пользователя, получая одни и те же данные от датчиков через модули ввода AI. Каждый процессорный модуль имеет три сетевых контроллера, которые исполняют протокол обмена по сети.

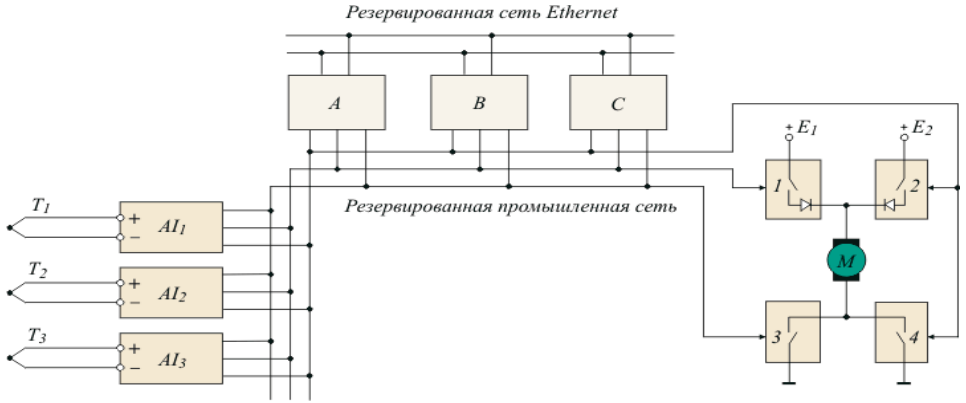
Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Резервирование методом голосования



Работает система следующим образом. Каждый из трех параллельно работающих процессоров посылает в модули ввода запрос (команду). Каждый из трех модулей ввода получает эти три команды и выполняет голосование по схеме 2oo3 (исключить ошибки в команде). Поскольку модулей ввода три, в процессор отправляется также три ответа на его команду, из которых каждый процессоров выбирает один ответ по схеме 2oo3, который и используется в дальнейшей работе прикладной программы.

Процедура вывода аналогичная:

- каждый процессор посылает в модули вывода команду вывода;
- каждый из модулей вывода (1, 2, 3 и 4) принимает три команды;
- в каждом модуле вывода выполняется голосование по схеме 2oo3, в результате которого для исполнения выбирается одна команда из трех, по которой включается или выключается исполнительное устройство.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Резервирование методом голосования

Таким образом, голосование выполняется не отдельным блоком резервирования, а в каждом элементе системы отдельно, поэтому отказ любого блока голосования не приводит к отказу всей системы.

После отказа одного из процессоров система продолжает непрерывно работать, поскольку схема голосования выдает правильной результат в результате мажоритарного голосования. После отказа двух процессоров наступает отказ системы. Однако в системах безопасности достаточно резервировать только функцию безопасности, что позволяет использовать голосование по схеме 1oo2, 2oo2 и использовать результат диагностики неисправности в качестве одного из "голосов". Поэтому после отказа одного из процессоров в системе 2oo3 она может перейти в режим 1oo2 (или 2oo2), после отказа второго процессора - в режим 1oo1 и только после отказа третьего перевести свои выходы в безопасные состояния.

Резервирование ПЛК и устройств ввода-вывода

Общие принципы резервирования

Резервирование замещением

Процессорные модули

Резервирование методом голосования

В системах с голосованием непрерывная синхронизация процессоров не требуется, поскольку при идентичных входных и выходных сигналах внутренние состояния процессоров оказываются также идентичны. Однако синхронизация необходима после горячей замены процессора, когда новый процессор должен получить стартовую информацию для своего функционирования синхронно с остальными процессорами. Отсутствие общего аппаратного и программного обеспечения, выполняющего функции перехода на резерв, повышает отказоустойчивость всей резервированной системы.

Несмотря на отсутствие необходимости в синхронизации, между процессорами выполняется обмен диагностическими данными и статусом. Данные, доступные всем элементам системы, называются глобальными и передаются от каждого процессора двум другим. Эти данные используются прикладными и системными программами, в частности, для реализации схемы деградации при появлении отказов.