

тий на детали трубопроводной арматуры, культура и ритмичность гальванического производства. При этом значительно снижены производственные издержки на нанесение покрытий и практически полностью исключено негативное влияние гальванического производства на окружающую среду. Коэффициент эффективного использования суточного фонда времени гальванических линий доведен до 0,8, повышены эффективность производства и качество продукции, а также улучшены условия труда основного производственного персонала.

Библиографический список

1. Дружинин В. В., Конторов Д.С. Системотехника М.: Радио и связь, 1985. 200 с.
2. Костров А. В. Основы информационного менеджмента: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2001. 336 с.

M. Panchenko

Data support for quality management of special-purpose metallic coating process

The data support software for making optimal schedule of works into galvanic coating shop is offered.

Получено 12.11.2009

УДК 621.9.06-529

В. В. Николаев, студент, (4872)35-18-87, stanki@uic.tula.ru
(Россия, Тула, ТулГУ)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЧПУ

Рассматриваются некоторые аспекты обеспечения надежности систем ЧПУ (числового программного управления). Приводятся правила, которые необходимо соблюдать при разработке конструкции систем ЧПУ, положения, учет которых обеспечивает функциональную надежность. Описаны аппаратный контроль, его роль в обеспечении надежности, исключении аварий и брака, а также его реализация. Рассматривается принцип отключаемого контроля, применяемый для скорейшей доводки принципиальных схем, обеспечения функциональной надежности и быстрого обнаружения места неисправности.

Ключевые слова: системы ЧПУ, функциональная надежность, конструкции систем ЧПУ.

Рост значения проблемы надежности связан с некоторыми особенностями развития современной техники: во-первых, со стремлением к подробному планированию хода производственных процессов, которые становятся все более сложными; во-вторых, со все большим распространением

автоматизации различных процессов; в-третьих, с выполнением автоматизированными системами все более ответственных задач.

При проведении важных мероприятий с жесткой программой резко увеличивается значение безотказной работы каждого отдельного объекта.

Сложность современных и будущих технических систем, многообразие режимов работы, быстрая смена морально устаревших образцов новыми – все это обуславливает необходимость общетеоретического подхода к повышению надежности всех систем независимо от их устройства и назначения [1].

Конструктивная надежность. Надежность является важнейшей характеристикой систем ЧПУ. Директивные показатели надежности систем ЧПУ требуют 10000 – 20000 ч наработки на отказ, 3000 ч наработки на индицируемый сбой, 1000 – 2000 ч наработки на неиндицируемый сбой при сроке службы 8 – 12 лет и трехсменной работе в цеховых условиях. Эти требования оправданы, так как часто встречаются детали, обработка которых продолжается 24 – 72 ч, и, кроме того, имеются детали с циклами обработки 500 – 1000 ч. Отказ и даже сбой системы во время обработки такой детали могут привести к ее браку и сорвать план целого завода. При этом особенно опасны неиндицируемые сбои, так как при их возникновении обработка продолжается несмотря на потерю информации и искажение траектории, поэтому брак детали и даже авария станка неизбежны. Необходимо принятие всех возможных мер для обеспечения надежности систем ЧПУ и абсолютно недопустимо следовать «моде» и гоняться за «новинками».

При разработке конструкции систем ЧПУ надо соблюдать следующие правила.

1. Все разъемы должны быть абсолютно надежны, каждый контакт должен иметь не менее шести контактных точек и обеспечивать надежный контакт в условиях вибрации и ударов. Так как в современных системах ЧПУ используются импульсы длительностью $10^{-6} - 10^{-9}$ с, то потеря контакта даже на такое время недопустима. Кроме того, разъем должен выдерживать сотни стыковок за срок службы без потери своих свойств.

2. Конструкция блоков на основе печатных плат должна полностью исключать возможность их коробления в процессе эксплуатации, что приводит к возникновению микротрещин в печатных проводниках. Поэтому желательно применение рамок или других элементов, обеспечивающих необходимую жесткость.

3. Длительные сроки службы предъявляют дополнительные требования к ремонтпригодности. Поэтому использование многослойных печатных плат и других неремонтпригодных конструкций крайне нежелательно.

4. Желательно конструктивное размещение систем ЧПУ в одном шкафу. Допустимы два шкафа: вычислитель и цифро-аналоговый преобразователь.

зователь (ЦАП), что дает некоторые преимущества в унификации, так как ЦАП наиболее консервативная часть системы. Децентрализованное исполнение систем ЧПУ с «размазыванием» его узлов по станку не дает никаких существенных преимуществ, но заставляет работать блоки в условиях повышенных вибраций, температур и помех. Не следует также стремиться к чрезмерному уменьшению габаритных размеров системы. Стоимость 1 м² производственной площади примерно 9000 р. Это предел экономии от сокращения размеров систем ЧПУ. Причем высота систем ЧПУ не лимитируется. При увеличении габаритных размеров теряет свою остроту проблема охлаждения, в том числе герметизированных шкафов.

5. Допустимо использование только абсолютно отработанной, наиболее надежной элементной базы, так как системы ЧПУ должны не удивлять посетителей выставок, а обеспечивать выполнение производственной программы. Поэтому то, что пригодно (допустимо) для универсальных средств вычислительной техники, может быть абсолютно непригодно для систем ЧПУ.

6. Особое внимание надо уделять помехозащищенности, т. е. конструкции блоков питания и блоков развязок, при этом коэффициент полезного действия блоков можно рассматривать как второстепенный параметр.

Достаточно нарушение любого из перечисленных принципов, чтобы система ЧПУ оказалась непригодной для промышленного использования.

Функциональная надежность. Самая рациональная реализация функции может оказаться ненадежной в работе или непригодной к серийному производству, если при ее разработке не будет учтено следующее.

1. Время суммирования операндов, распространения переносов, установления логических комбинаций зависит от схемы устройства, значений самих операндов, параметров конкретных элементов (время задержек переключений), температуры окружающей среды и т. д. При благоприятном сочетании этих факторов макетные и даже опытные образцы могут удовлетворительно работать без сбоев и отказов. При серийном же производстве выяснится, что многие системы ЧПУ неработоспособны, постоянно сбиваются, не поддаются наладке и требуют серьезных схемных и даже структурных изменений.

Это может быть следствием неблагоприятного соотношения указанных факторов, отсутствием или неправильным построением местных синхронизаторов или общей структуры синхронизирующих частот. Снижение тактовых частот ликвидирует неработоспособность из-за увеличения времени суммирования и т. п., но может привести к недопустимому ухудшению внешних, потребительских характеристик. Для их обеспечения придется изменять общую структуру устройства, т. е. серьезно перерабатывать конструкцию на этапе серийного производства.

Проще устраняются ошибки синхронизации, но обнаружить их труднее, так как они могут возникать лишь при определенных сочетаниях

значений операндов и частот, к тому же неодинаковых в различных образцах. Поэтому для обеспечения надежной работы систем ЧПУ на этапе разработки необходимо просчитывать все задержки исходя из худшего случая и, кроме того, брать двойной запас. На этапе экспериментальной отработки на макетах и опытных образцах необходимо проверить имеющийся запас во всех решающих устройствах путем плавного увеличения до частоты, при которой возникают сбои. Если экспериментально определенный запас сильно отличается от расчетного, необходимо переработать схему.

2. Структуры должны строиться таким образом, чтобы при возникновении сбоя, неисправности или сигнала аварийной ситуации в одном месте (блоке) системы он поступал в другой исправный блок, который должен среагировать на этот сигнал и прервать дальнейшую отработку с минимальным ущербом. Недопустима ситуация, когда контролируемое устройство и устройство, реагирующее на неисправность или сбой, имеют общее оборудование. В этом случае «Ошибка в перемещении» (интерполяции, отработки) не может включить «Аварийное торможение» или «Аварийный стоп», если интерполяция и задание скорости выполнены на едином процессоре и неуправляемое перемещение невозможно остановить.

Неверным является такое построение блока технологических команд (контроллера) с циклическим обеганием входных сигналов, при котором исчезновение опросов отключает все аварийные выключатели станка. Более того, в них необходимо закладывать аппаратный контроль, который исключал бы запуск системы в работу при отсутствии (неисправности цепей) сигналов, исключающих неуправляемые перемещения.

Таким образом, обеспечение функциональной надежности на этапе разработки и отработки систем ЧПУ является одной из важнейших задач, для решения которой необходим аппаратный контроль.

Аппаратный контроль и его роль в обеспечении функциональной надежности, исключении аварий и брака. Поскольку для функционально ненадежных схем характерно возникновение хаотических редких сбоев, для их обнаружения и устранения на стадии разработки необходим аппаратный контроль, т. е. контроль, осуществляемый одновременно и параллельно с обработкой информации основными блоками. В отработанных серийных системах ЧПУ аппаратный контроль (пусть в меньшем объеме) нужен на стадии отладки и испытаний для доведения каждого экземпляра до требуемого уровня, а на стадии эксплуатации – для выработки сигналов, позволяющих при возникновении сбоев или неисправностей включить аварийные режимы и исключить тем самым брак детали или аварию станка.

Диагностический контроль, осуществляемый последовательно с отработкой основной информации и использующий одно и то же оборудование, выполнить эти функции не может или выполняет их с таким запазды-

ванием, что использовать его для исключения аварии или брака не представляется возможным.

Основной задачей аппаратного контроля является контроль преобразования геометрической информации с точностью до импульса на всех этапах преобразования, выполняемых в конкретной системе ЧПУ. Общепринятым является контроль вводимой информации на «чет» или по структуре кадра и контрольному числу. Значительное распределение получили аппаратный контроль отработки информации интерполятора и контроль потери информации (переполнения) в следящих системах – ЦАП.

Переход к системам ЧПУ, реализующим четыре этапа преобразования информации с одновременным повышением тактовых частот и числа промежуточных вычислений, усложнил и расширил задачи аппаратного контроля. Во-первых, возникла необходимость контроля оперативного запоминающего устройства (ОЗУ). Во-вторых, в результате работы функциональных блоков в различных системах счисления и введения коррекций сквозной контроль отработки перемещений стал невозможен (информация, введенная в систему ЧПУ, не равна отработанной) и возникла необходимость поэтапного контроля преобразования информации и передачи ее от блока к блоку.

Совместно с повышением степени интеграции элементов, а особенно с появлением специальных больших интегральных схем (спецБИС) созданы предпосылки для обнаружения места сбоя, неисправности с точностью до функционального блока и даже элемента (в спецБИСах), не подлежащего ремонту.

Реализация аппаратного контроля. Аппаратный контроль реализуется с помощью дополнительного оборудования, работающего параллельно основному. Чем больше преобразований выполняет конкретная система ЧПУ, тем больше требуется устройств контроля для обеспечения его необходимой широты. В зависимости от цели, которая ставится перед аппаратным контролем, меняются его широта и глубина. Если ставится задача обнаружения неисправности и сбоя при сквозной передаче информации с целью выработки аварийных сигналов, то требуется незначительное количество аппаратных средств. Если нужно точно указать место возникновения сбоя (неисправности), то объем контролирующего оборудования возрастает.

В структуре контроля системы ЧПУ каждый этап преобразования должен иметь свой блок контроля БК1 – БК4, принципы действия которых сильно различаются. БК1 выполняет контроль вводимой информации на «чет», а при наличии ненадежных элементов может использовать мажоритарную логику с троированием записи и считыванием информации. Кроме того, БК1 должен выполнять контроль работы ОЗУ как наиболее сложного узла.

В настоящее время в системах классов CNC (Computer numerical control) и MPST (Modular multiprocessor system) для контроля памяти всех

видов используются коды Хэминга с обнаружением и исправлением ошибок. Однако эти коды требуют для хранения контрольных разрядов до 30 % емкости ОЗУ. Кроме того, емкость ОЗУ для хранения контрольных кодов Хэминга линейно возрастает с увеличением емкости основного ОЗУ. Когда в ОЗУ хранится математическое обеспечение систем CNC, MPST и т. д., с этим, видимо, приходится мириться.

В системах рассматриваемых классов в ОЗУ хранятся только программы обработки деталей и коррекции, допустим, в коде ISO, который имеет запрещенные комбинации, например, 00000000 – «Пусто» и 11111111 – «Забой». На этом основан принцип действия контроля ОЗУ с обходом неисправных ячеек. При записи записанное число считывается и сравнивается с числом на входе. Если числа одинаковы, то все верно, тогда изменяется адрес и осуществляется запись следующего числа. Если коды не совпали, в эту ячейку записывается «Пусто» и вновь повторяется сравнение; если коды сравнились, то переходят к следующему адресу; если не сравнились, то записывают «Забой» и вновь производят сравнение. Если коды сравнились, то переходят к следующему адресу. Если же не сравнились, это значит, что в ячейке имеется двойная неисправность, т. к. в один разряд нельзя записать «ноль», а в другой – «единицу», и необходим ремонт.

При наличии любой одинарной неисправности в ячейке остается код «Забой» или «Пусто», который при считывании блокирует синхроимпульс, и эти ячейки просто выпадают. Если же сбой (неисправность) возник после записи, то он определяется традиционно при контроле на «чет». Такое устройство позволяет спокойно работать при наличии в ОЗУ большого числа неисправных ячеек, и его объем не зависит от емкости контролируемого ОЗУ. Кроме того, оно при ремонте автоматически указывает место неисправных ячеек.

Блок БК2 должен контролировать перевод $10 \rightarrow 2$, вычисление и суммирование поправок. Контроль суммирования поправок удобнее всего строить по mod 3. Контроль вычисления эквидистантных поправок можно выполнять по сумме координат базовых точек.

Блок БК3 должен контролировать отработку введенной информации. Используется традиционный прием суммирования по модулю приращений, подлежащих отработке, с последующим подсчетом импульсов унитарных кодов этих приращений счетчиком и сравнением остатков.

В блоке БК4 для контроля используется принцип предельного отклонения отработанной информации от заданной (например, предельная погрешность по положению или по скорости). Наличие в системе развитых блоков аппаратного контроля позволяет не только быстро обнаруживать место и причину неисправности или сбоя в серийной системе, но и, что значительно важнее, на небольшом числе опытных образцов выявить основные «тонкие» места возникновения сбоев и их ликвидировать, т. е. быстро добиваться функциональной надежности схем. В противном

случае это постепенно приходится выполнять в процессе серийного производства и эксплуатации, что требует много времени и средств. Для массовых систем ЧПУ средней стоимости целесообразно разрабатывать блок аппаратного контроля многих параметров, который используется в процессе разработки, а серийные системы комплектовать более простым блоком с меньшим числом параметров контроля.

Принцип отключаемого контроля. Для скорейшей доводки принципиальных схем, обеспечения функциональной надежности и быстрого обнаружения места неисправности желательно контролировать возможно большее число режимов, параметров устройств, особенно в тех случаях, когда речь идет о системах ЧПУ для ответственных и дорогих специальных станков, простой которых ставят под угрозу срыв плана завода.

В этих случаях расходы на контролирующее оборудование окупаются. Но усложнение этого оборудования (хотя оно редко достигает 5 %) при отказе создает ситуацию, при которой основное оборудование исправно и может продолжать обработку, а неисправность контрольного оборудования блокирует работу. В ряде случаев выгоднее закончить обработку детали, а ремонт системы ЧПУ провести во время смены заготовки. Поэтому рационально использовать отключение контроля параметра при неисправности контролирующего оборудования. Это достигается введением соответствующих кнопок или кодов напрямую или через шифратор (чтобы сократить их число), блокирующих сигнал «Параметр неверно», поступающий в схему управления, но не блокирующий индикацию. Это исключает влияние отказов схем аппаратного контроля на надежность систем ЧПУ [2].

Библиографический список

1. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных систем. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1977. 536 с.
2. Кошкин В. Л. Аппаратные системы числового программного управления. М.: Машиностроение, 1989. 248 с.

*V. Nikolaev
Ensuring reliability of NCS*

The role of hardware check is described for supply of reliability, prevention of breakdown and defective goods. Also hardware check implementation is described. The review cut off management, applying for faster final adjustments circuit, guaranteeing for functional reliability and rapidly detecting fault-location has made.

Получено 12.11.09