



УДК 621.317.18+681.527

Б. И. Эргашева

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

М. Ю. Обоишев

АО «Климов»

Оценка временных запаздываний в цифровых многопроцессорных системах управления и контроля

Рассмотрены практические аспекты оценки временных запаздываний, существующих в цифровых системах автоматического управления и контроля с постоянным дискретным временем управления объектом. Приведен практический пример использования представленных теоретических материалов на примере характеристик такой системы двигателя РД-33МК. Произведена аналитическая оценка точности определения длительности входных дискретных сигналов и формирования выходных дискретных сигналов и управляющих команд.

Системы управления, цифровая система, многопроцессорная система, измерительные каналы, передача данных, интерфейс, временные запаздывания

Разрабатываемые в настоящее время цифровые системы выполняют функции автоматического управления и контроля объектов за счет информации об объекте и условиях его функционирования, получаемой посредством каналов информационного обмена (далее КИО). Необходимая информация поступает, как правило, от различных аналоговых датчиков и сигнализаторов и имеет свои особенности на этапах сбора, прохождения, поступления и считывания. Важно отметить, что типовые системы автоматического управления и контроля (далее САУК) разрабатываются по техническому заданию (далее ТЗ), условия которого ограничивают требования к проектируемым системам и накладывают различные функциональные ограничения на них: эксплуатационные, массо-габаритные, электромагнитные, метрологические, ограничения в условиях внешних воздействующих факторов, по надежности и т. п. Вследствие этого на этапе разработки происходит наращивание характеристик системы, что в свою очередь, может привести к возникновению проблем у разработчика при ее построении. Учитывая сложность алгоритмов функционирования, закладываемых в САУК, с целью обеспечения таких систем оптимальными

(максимально близкими к оптимальным) характеристиками, важным элементом в этом процессе становится применение микроконтроллеров. Микропроцессорное построение цифровых систем обеспечивает решение следующих задач:

- измерение входных сигналов от датчиков и сигнализаторов;
- вычисление значений управляющих воздействий;
- реализация алгоритмов контроля объекта;
- взаимодействие по КИО;
- управляющих воздействий на элементы управления объектом;
- выдачу информации о результатах контроля объекта.

В зависимости от сложности задач, решаемых САУК, а также исходя из числа измеряемых и управляющих сигналов на этапе разработки встает выбор между применением однопроцессорной или многопроцессорной системы. В случае использования нескольких процессоров необходимо обеспечить оптимальное распределение входных и выходных сигналов и функциональных алгоритмов между процессорами. Это позволит обеспечить следующие возможности:

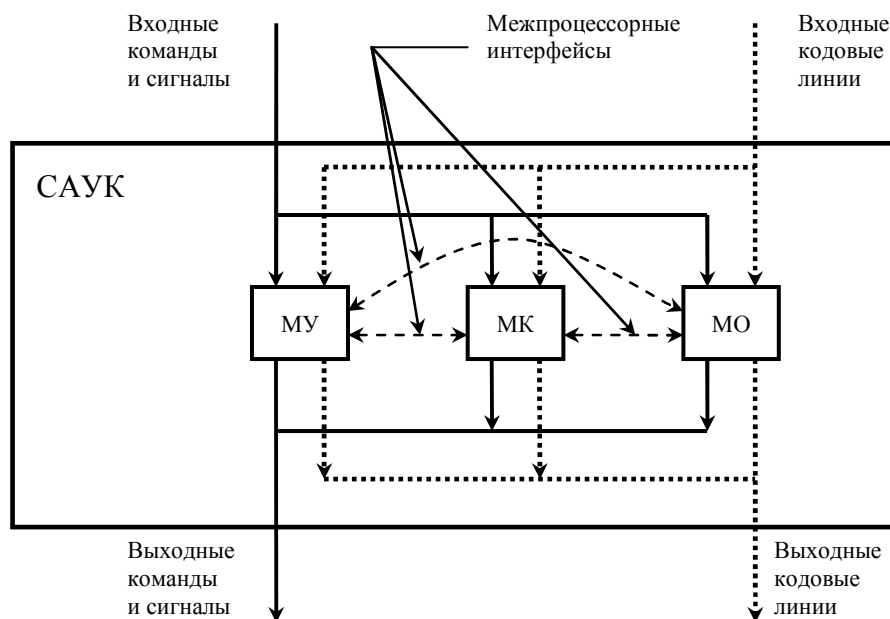


Рис. 1

– параллельное выполнение различных процессов, логически не взаимосвязанных между собой;

– разнесение контуров управления, в которых требуется обеспечить необходимое с точки зрения объекта управления быстродействие и алгоритмов контроля, в которых быстродействие не критично либо предъявляются существенно менее жесткие требования, чем к управлению системой;

– выделение отдельных алгоритмов, для которых допустимо запаздывание относительно реального времени;

– рациональное распределение входных и выходных сигналов между процессорами;

– упрощение разработки системы в целом;

– наличие резервов вычислительной мощности и времени реакции системы при ее последующих модернизациях.

Исходя из опыта реализации таких систем можно утверждать, что в настоящее время зачастую не уделяется достаточное внимание временным запаздываниям, возникающим при взаимодействии между процессорами, что может привести к невыполнению требований ТЗ и к неработоспособности системы.

При проектировании цифровых многопроцессорных САУК возможны два подхода:

– с синхронизацией временных циклов функционирования микропроцессоров между собой, т. е. когда циклы управления и контроля каждого процессора начинаются одновременно;

– без синхронизации, т. е. когда времена начала и окончания циклов не связаны между собой [1].

В связи с простотой реализации и высокими показателями надежности при решении практических задач преимущество следует отдать варианту построения без синхронизации. Далее будет рассмотрено применение указанного способа.

Типовая структурная схема цифровой многопроцессорной САУК. Типовая структурная схема цифровой многопроцессорной САУК приведена на рис. 1, где МУ – модуль управления, МК – модуль контроля, МО – модуль обмена.

Приведенная на рис. 1 структура цифровой многопроцессорной САУК типовая, поскольку каждый из входящих в ее состав модулей может выполнять функции управления, контроля и обмена данными в комбинациях, отвечающих целям разработки САУК и простоте ее конструктивного исполнения. При незначительном количестве функций управления и контроля число модулей может быть сокращено, в том числе до одного, а при существенном количестве решаемых системой задач в ее состав могут входить несколько модулей каждого вида.

Решаемые САУК задачи можно классифицировать по следующим видам:

– управление объектом в штатном режиме работы с фиксированным периодом ΔT дискретизации управления;

– управление объектом при выявлении аварийных ситуаций, требующих мгновенной выдачи управления независимо от штатного периода дискретизации управления;

– задачи контроля, критичные к временному запаздыванию при их выполнении;

– задачи контроля, не критичные к временно-му запаздыванию при их выполнении;

– задачи обмена информацией в виде электрических аналоговых и дискретных сигналов, а также по кодовым КИО с внешними системами с частотой передачи, определяемой системами, принимающими требуемые данные.

Одновременное использование нескольких типов физических интерфейсов обмена данными между элементами САУК позволяет сократить общее время передачи наборов данных между модулями этой системы. Типы применяемых интерфейсов определяются существующей в настоящее время элементной базой и целесообразно использовать все имеющиеся стандартные способы обмена данными между процессорами – последовательные кодовые каналы связи интерфейсов CAN, RS, SPI и др. [2].

Оценка временных запаздываний при измерении входных сигналов, обработке и выдаче управляющих команд в однопроцессорной системе.

Погрешность поддержания интервала ΔT дискретизации управления микропроцессором. Погрешность формирования циклов управления и контроля при применении современной техники пренебрежимо мала по сравнению со временем дискретизации управления. Например, для современных микропроцессоров, обладающих высокочастотными таймерами-счетчиками, погрешность из-за неkratности временного интервала может быть исключена [3]. В этом случае погрешность будет определяться только конструктивными характеристиками микропроцессора и составляет порядка долей наносекунд. Как будет показано далее, эта составляющая временного запаздывания может быть исключена из оценки временных характеристик как пренебрежимо малая величина.

Временные запаздывания в однопроцессорной системе или модуле системы. Типовой цикл управления САУК включает в себя последовательно выполняемые операции измерения и контроля входных параметров, расчет управляющих воздействий и контроль состояния объекта управления, выдачу управляющих и диагностических сигналов в электросхему объекта управления, регистрацию измеренной и вычисленной информации в собственном накопителе данных, выдачу информации в последовательный КИО объектов систем либо другие модули САУК. Обобщенная временная диаграмма цикла управления однопроцессорной системы (одного модуля многопроцессорной системы) приведена на рис. 2.

На рисунке ΔT – период дискретизации управления; $T_{\text{и}}$ – период измерения значений входных сигналов (аналоговых или дискретных, имеющих ограниченное число возможных значений); $T_{\text{р}}$ – время вычисления значений управляющего воздействия; $T_{\text{в1}}$ – временной интервал между вычислением величины управляющего воздействия (диагностического сигнала) и его выдачей в электросхему; $T_{\text{в2}}$ – временной интервал между вычислением значения аналогового или дискретного управляющего воздействия (диагностического сигнала) и началом выдачи информации в последовательный КИО; $T_{\text{п}}$ – время передачи данных по КИО.

Очевидно, что период $T_{\text{и}}$ может быть назначен различным для разных сигналов. Например, при измерении частоты по принципу периодометра при определении $T_{\text{и}}$ необходимо учитывать период изменения измеряемой частоты. Также в рамках периода ΔT при необходимости может быть организовано управление по отдельным параметрам с периодом Δt , не совпадающим с основным периодом ΔT . Такая организация определяется назначением контуров управлений и динамическими характеристиками объекта управления. Порядок анализа запаздываний в указанных случаях в целом соответствует представленным в настоящей работе материалам при однократном изменении управляющего воздействия в пределах основного цикла и специально не рассматривается.

Из приведенной на рис. 2 временной диаграммы циклов управления однопроцессорной САУК следует:

– запаздывание от момента фактического изменения сигнала до момента его измерения не превышает $T_{\text{и}}$;

– запаздывание, обусловленное изменением значения входного сигнала, после начала вычисления выходных диагностических или управляющих сигналов может составлять $(\Delta T + T_{\text{и}})$. При разработке системы управления такое запаздывание учитывается при выборе периода управления ΔT и выходит за рамки настоящей статьи;

– суммарное запаздывание от момента изменения значения входного сигнала до вычисления его значения не превышает $(\Delta T + T_{\text{и}} + T_{\text{р}})$, минимальное запаздывание составляет $(T_{\text{и}} + T_{\text{р}})$;

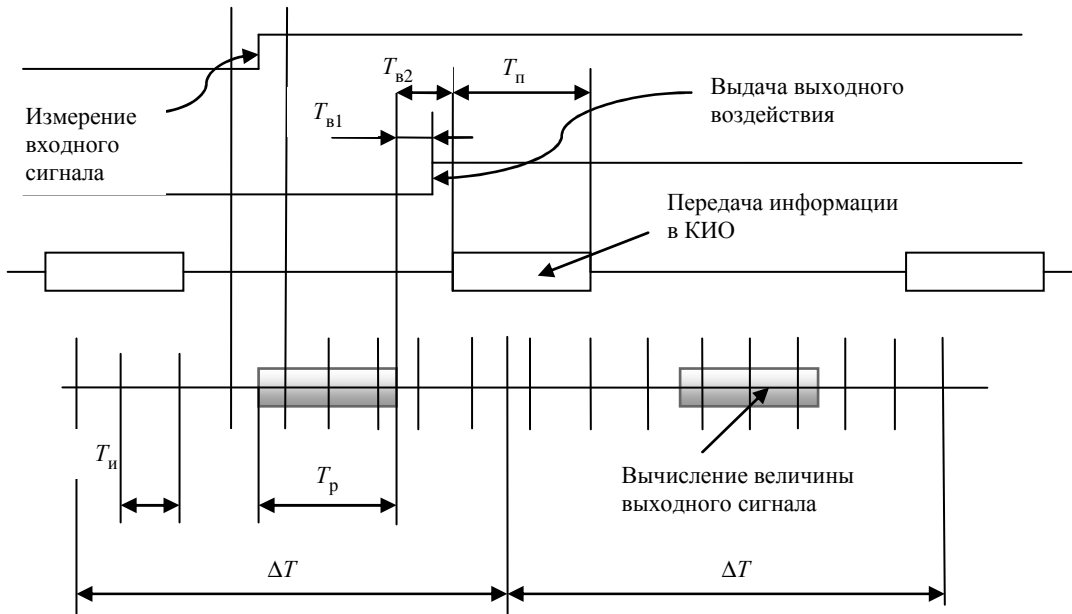


Рис. 2

– суммарное запаздывание от момента изменения входного сигнала до изменения управляющего воздействия не превышает $(\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{B1})$, минимальное запаздывание составляет $(T_{и} + T_{р} + T_{B1})$;

– суммарное запаздывание от момента изменения входного сигнала до завершения передачи данных по КИО, после которой можно определить значение сигнала принимающей стороной с помощью «разбора» и контроля принятых данных, составляет $(\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{B2} + T_{П})$.

В случае необходимости выдачи «оперативных» управлений, в которых дополнительное запаздывание на ΔT должно быть исключено, в САУК должны быть предприняты специальные методы, синхронизирующие моменты времени измерения сигнала и выдачи управления. Особенности применения таких методов будут рассмотрены на с. 20.

Необходимо отметить, что в цифровых САУК, как правило, обеспечивается $T_{и} = \Delta T/m$, $m = 1, 2, \dots, M$. Тем не менее, в модуле контроля САУК может быть принято $T_{и} = \Delta Tn$, $n = 1, 2, \dots, N$ без ущерба для качества работы системы, например при значительной вычислительной сложности отдельных алгоритмов.

Время передачи данных ($T_{П}$) определяется объемом передаваемой информации включая служебную и заданной скоростью обмена данными. В ряде случаев передача информации может осуществляться с пониженной частотой, т. е. с пери-

одичностью $k\Delta T$, $k = 2, 3, \dots$. Значение k определяется требованиями к частоте обмена, определяемой системами, принимающими данные.

Приведенная на рис. 2 временная диаграмма соответствует циклу управления подавляющего числа применяемых и разрабатываемых САУК – однопроцессорной либо одного из модулей многопроцессорной.

Временные запаздывания при передаче данных в межпроцессорном обмене и обработке. Очевидно, что при передаче данных из одного процессора в другой в многопроцессорной САУК момент завершения передачи пакета передающей стороне идентичен моменту изменения входного сигнала для процессора на принимающей стороне. Поэтому для анализа временных запаздываний на приемной стороне при отсутствии специальных методов, могут быть применены оценки, рассмотренные на с. 18.

Таким образом, при использовании в управлении и/или контроле принимаемых из другого модуля данных запаздывания будут составлять

$$(\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{B2} + T_{П})^И + (\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{B1})^П$$

– при выдаче электрического управляющего сигнала,

$$(\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{B2} + T_{П})^И + (\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{B2} + T_{П})^П$$

– при выдаче данных в последовательный КИО, где $(\dots)^И$ – временные запаздывания, вносимые

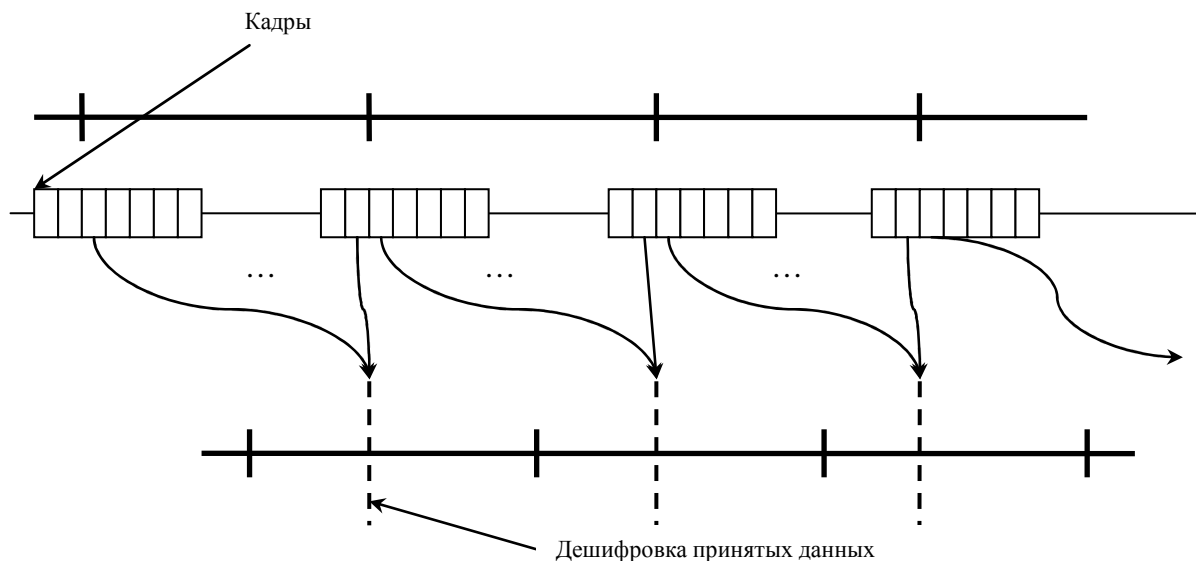


Рис. 3

передающим процессором (источником); $(\dots)^n$ – временные запаздывания, вносимые принимающим процессором (приемником).

Указанные соотношения соответствуют случаю несинхронизированных по времени начала выполнения циклов модулей микропроцессорных систем. При последовательной передаче информации между модулями для оценки временных запаздываний применяются аналогичные выражения, с учетом количества промежуточных модулей [4].

При построении систем вычисление управляющего воздействия или диагностического сигнала зачастую осуществляется по значениям параметров от двух или более модулей. В этом случае запаздывание определяется соотношением

$$\max[(\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{в2} + T_{п})^{и1}, (\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{в2} + T_{п})^{и2}, \dots] + (\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{в1})^n,$$

где $(\dots)^{и1}$, $(\dots)^{и2}$, ... – временные запаздывания, вносимые каждым из передающих модулей.

Указанное соотношение может быть использовано при анализе запаздываний записи сигнала в накопитель, выполняемое, как правило, только одним из модулей системы (например, модулем МО, см. рис. 1).

Особенности покадровой передачи данных. На рис. 2 приведен пример передачи всего набора данных в одном информационном кадре. Существуют протоколы информационного обмена, в котором весь пересылаемый набор данных разбивается на несколько отдельных кадров, каждый из которых принимающая сторона может обрабатывать независимо друг от друга, например при

применении CAN-протокола. В этом случае можно считать, что на принимающей стороне первый кадр будет получен через время

$$\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{в2} + T_{ПК},$$

а последний – через время

$$\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{в2} + L T_{ПК},$$

где L – общее количество кадров, необходимое для передачи информации.

В этом случае, как показано на рис. 3, где представлены особенности обмена при покадровой передаче данных, прием первого и последнего кадров может быть осуществлен на двух соседних циклах управления САУК. Подобные особенности должны приниматься во внимание при анализе переданных данных в многопроцессорных системах с подобной организацией.

Особенности оперативной выдачи управляющих команд без синхронизации с циклами управления САУК. Как было показано ранее, задержка от момента фактического изменения входного сигнала до выдачи управляющего воздействия может составлять $(\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{в1})$. При применении САУК существует класс задач, в которых управляющий сигнал должен быть сформирован и выдан с задержкой времени не более T_0 , причем $T_0 < (\Delta T + T_{и} + T_{р} + T_{в1})$. Как правило, подобные сигналы представляют собой дискретные команды аварийного включения-выключения, время выдачи которых T_0 должно быть существенно меньше интервала управления ΔT .

Уменьшение интервала ΔT или установка отдельного микропроцессора для решения подобной задачи, как правило, нецелесообразны. Выдача таких управляющих команд и обеспечение измерений производится в пределах интервала ΔT с адаптивной выдачей команды. В САУК авиационных двигателей такая задача решается при защите свободных турбин от раскрутки при потере кинематической связи выводного вала свободной турбины с винтом либо с валом компрессора двигателя в турбостартере.

Очевидно, что для выполнения указанных требований необходимо обеспечить выполнение следующего соотношения:

$$T_{и0} + T_{р0} + T_{в0} < T_0,$$

где $T_{и0}$ – периодичность измерения группы всех входных сигналов, определяющих условия выдачи команды; $T_{р0}$ – длительность вычисления управляющего воздействия; $T_{в0}$ – временное запаздывание от момента времени вычисления управляющего воздействия до выдачи соответствующей команды на объект управления.

Исходя из изложенного анализа запаздываний и из опыта построения подобных САУК, для выполнения требований по быстродействию необходимо:

- обеспечить повышенную частоту измерения значений входных сигналов;
- обеспечивать расчет управляющего воздействия непосредственно после измерения;
- обеспечивать выдачу управляющего сигнала непосредственно после его вычисления в случае необходимости выдачи аварийной команды;
- входные сигналы, на основе которых выдается управляющая команда, вычисление управляющей команды и выдача ее в объект должны выполняться в пределах одного микропроцессорного модуля САУК.

Как показал опыт разработки авиационной САУК, предложенный метод при подобном построении гарантированно обеспечивает выдачу сигналов по защите от раскрутки свободной турбины с задержкой не более 30 мс с запасом не менее 5 мс при периоде управления $\Delta T = 25$ мс. Указанное значение подтверждено экспериментальными данными на стендах автономной (имитационной) проверки разрабатываемых САУК.

Практический пример оценки запаздываний на примере САУК двигателя РД-33МК.

Общая характеристика САУК двигателя РД-33МК. Рассмотрим САУК двигателя РД-33МК, которая состоит из двух модулей управления (МУ),

двух модулей ввода-вывода данных и контроля (МК) и одного модуля обмена (МО). Наличие двух модулей МУ и МК обусловлено предъявляемыми требованиями по резервированию элементов САУК и не оказывает влияния на временные запаздывания при работе системы.

Все аналоговые параметры, участвующие в управлении двигателем, измеряются в МУ, дискретные входные команды от сигнализаторов двигателя и самолета, а также органов управления двигателем и самолетом измеряются МК. Аналоговые параметры, необходимые для контроля состояния силовой установки, измеряются всеми тремя модулями. Конструктивную особенность исполнения данной системы представляет выдача всех управляющих команд, кроме команд с повышенными требованиями к быстродействию (см. с. 20), модулем МК. Обмен данными с системами самолета, часть функций контроля силовой установки и ее элементов, сохранение параметрической информации по параметрам работы силовой установки и самолета производится в МО.

Принятое в системе значение дискретизации управлений составляет $\Delta T = 25$ мс. Предусмотрено дополнительное внутреннее тактирование с периодом 2.5 мс с целью обеспечить привязку выполнения действий программного обеспечения к реальному времени в пределах цикла управления. Измерение значений дискретных входных сигналов и изменение выходных значений дискретных управляющих команд в МК производится с периодом 10 мс. При этом для однозначной идентификации значения входной дискретный сигнал должен находиться в фиксированном логическом состоянии не менее 8 мс. Аналоговые параметры в МУ измеряются с периодом 25 мс. Циклы программ процессоров системы между собой не синхронизированы.

Оценка временных запаздываний при управлении и контроле силовой установки. Для передачи значений аналоговых и дискретных входных сигналов и команд управления двигателем между МК и МУ применяется интерфейс SPI с пакетной передачей данных периодом 40 Гц. Построение программного обеспечения создает экспериментально подтвержденное временное запаздывание не более 3 мс от момента измерения аналоговых параметров до расчета управляющих воздействий на исполнительные механизмы управления двигателем. Построение программного обеспечения

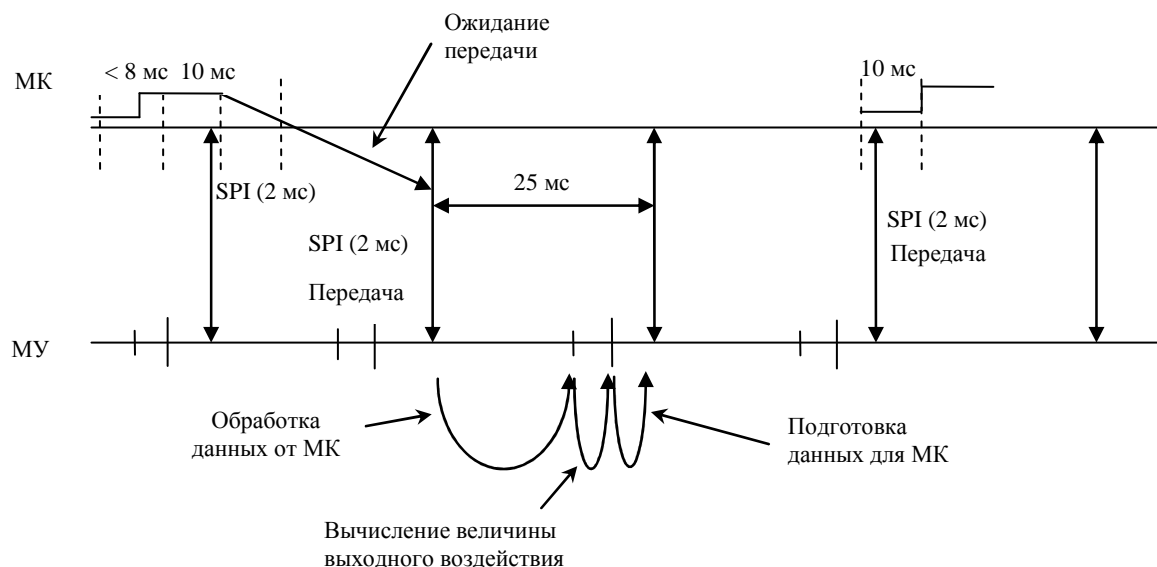


Рис. 4

позволяет вычислить управляющие воздействия из МУ в МК по интерфейсу SPI не более 3 мс после завершения расчета. Длительность передачи информации, определяемая по объему передаваемой информации и принятой скорости передачи данных, составляет порядка 2 мс. Одновременно осуществляется передача значений дискретных параметров из МК и МУ.

Временная диаграмма обмена данными между МК и МУ по интерфейсу SPI приведена на рис. 4. Из МК в МУ передаются значения дискретных входных сигналов, из МУ в МК выдаются вычисленные значения управляющих команд.

Из диаграммы на рис. 4 видно, что наибольшее временное запаздывание между изменением значения входного дискретного сигнала и изменением выходного управляющего воздействия складывается из следующих составляющих:

- 18 мс – от фактического изменения состояния сигнала на входе в МК до идентификации в МК этого изменения;
- 25 мс – время задержки до начала выполнения передачи по SPI;
- 2 мс – передача пакета по SPI в МУ (учитывается только при передаче в МК);
- 50 мс – обработка данных в МУ;
- 2 мс – передача команд в МК;
- 10 мс – выдача дискретной команды в электросхему.

Итого 105 мс.

Наименьшее запаздывание составляет 62 мс в случае, когда передача по SPI из МК начинается непосредственно после идентификации програм-

мой МК изменения входного сигнала, сигнал в электросхему выдается непосредственно после приема данных из МУ.

Временное запаздывание от момента изменения аналогового параметра до соответствующего изменения управляющего воздействия складывается из следующих составляющих:

- 25 мс – период измерения;
- 3 мс – вычисление величины управляющего воздействия;
- 2 мс – передача команд в МК;
- 10 мс – выдача управляющей команды.

Итого 40 мс.

Временное запаздывание при «оперативном» управлении. В рассматриваемой системе предусмотрена защита свободной турбины турбостартера от раскрутки с ограничением на предельное время запаздывания 30 мс. Защита обеспечивается выдачей разовой команды на исполнительный механизм прекращения подачи топлива в турбостартер. Для выполнения указанного требования измерение значения частоты $n_{с.т.тс}$ ротора свободной турбины, вычисление и выдача управляющей команды производится в МУ без применения каких-либо функций межпроцессорного обмена данными. Чтобы обеспечить предъявляемые требования по быстродействию, измерение $n_{с.т.тс}$ осуществляется с периодом 10 мс, управляющая команда выдается непосредственно после ее вычисления. Принимая во внимание темп увеличения $n_{с.т.тс}$ при потере кинематической связи с валом компрессора двигателя и предельную частоту электрического сигнала порядка

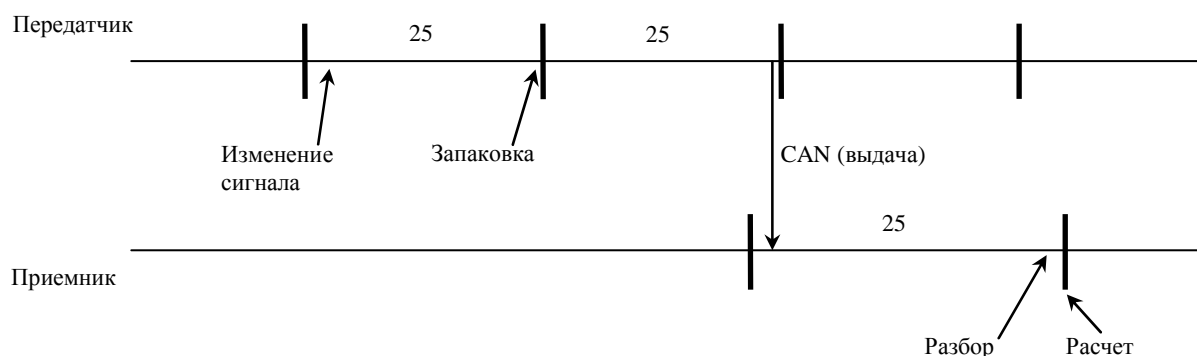


Рис. 5

1000 Гц при предельно допустимых $n_{с.т. тс}$, принятая в САУК двигателя организация защиты турбины от раскрутки обеспечивает запаздывание величиной, не превышающей 20 мс.

Временные запаздывания в системе контроля состояния силовой установки. Требования ко времени реакции системы контроля двигателя РД-33МК и формированию диагностических и информационных сигналов составляют порядка секунды. Поскольку для формирования диагностического сигнала требуется выполнение определенных условий в течение времени порядка от одной до десятков секунд, межпроцессорная передача данных, применяемых для оценки работы двигателя, организована по CAN-шине. Также CAN-шина применяется для передачи параметров управления, не критичных ко времени запаздывания (например, для обеспечения запуска двигателя) [5].

Передача параметров по CAN-шине организована таким образом, что запаздывание при обновлении (приеме) каждого параметра постоянное, не изменяющееся во времени в процессе работы системы. При выбранной скорости обмена передача всех данных выполняется в течение 25 мс. Обновление данных для передачи процессорами выполняется один раз за основной цикл (25 мс). Обновление данных для передачи и разбор принятых данных каждым из процессоров системы выполняется один раз за основной цикл (25 мс) после выполнения действий основного цикла программы процессора. Разбор принятых данных осуществляется 1 раз в цикл, при этом в соответствии с принятой организацией программного обеспечения:

– в МУ используются данные, принятые на предыдущем цикле;

– в МО используются данные, принятые на своем цикле;

– в МК используются данные, принятые на своем цикле.

Таким образом, задержка от момента изменения состояния входного сигнала на входе приемного процессора до начала обработки его значения принимающим процессором составляет не более:

– 8 мс – от фактического изменения состояния сигнала на входе в МК до идентификации в МК этого изменения;

– 25 мс – от идентификации измененного значения в МК, МО, МУ до его запаковки для передачи в CAN;

– 25 мс – запаздывание на передающей стороне;

– 25 мс – задержка на распаковку данных в принимающем процессоре.

Таким образом, наибольшее запаздывание составляет 83 мс для параметров, передаваемых из МК, и 75 мс для параметров, передаваемых из МУ и МО. Минимальное запаздывание составляет 8 мс для данных из МК и приблизительно 0 мс для данных, передаваемых из МУ и МО.

Временная диаграмма обмена данными по CAN-шине, соответствующая наибольшему запаздыванию, приведена на рис. 5.

Экспериментальное подтверждение расчетных данных. Конструктивное исполнение агрегата двигателя РД-33МК позволяет определить управляющее воздействие в дополнение к расчетной оценке временных запаздываний от момента изменения входного сигнала до момента его изменения. Выполненная экспериментальная проверка времен запаздывания с применением соответствующих контрольно-измерительных приборов подтвердила соответствие фактически полученных значений запаздывания значениям, полученным при применении рассмотренного аналитического метода расчета:

– при изменении входного сигнала и выходной команды в пределах одного микропроцессора МУ;

– при изменении входного сигнала и выходной команды МК при вычислении величины выходной команды в МУ при передаче данных по интерфейсу SPI;

– при изменении входного сигнала и выходной команды МК при вычислении величины выходной команды в МУ при передаче данных по интерфейсу CAN.

Выводы:

1. Представленный материал представляет практическую ценность для специалистов, занимающихся разработкой цифровых САУК.

2. Представленная методология оценки временных запаздываний должна применяться при

анализе временных характеристик работы при проведении метрологической экспертизы разработанных САУК. При этом временные характеристики могут быть подтверждены расчетным либо экспериментальным путем с применением соответствующего измерительного оборудования.

Изложенные в статье материалы должны учитываться при распределении входных и выходных сигналов между процессорами в многопроцессорных САУК, с учетом фактической реализации САУК, в том числе ее программного обеспечения, а также при назначении требований к системе в части времени задержки выдачи выходных управляющих команд и диагностических сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изерман Р. Цифровые системы управления / пер. с англ. М.: Мир, 1984.

2. ГОСТ 18977–79. Комплексы бортового оборудования самолетов и вертолетов. Типы функциональных связей. Виды и уровни электрических сигналов. М.: Изд-во стандартов, 1979.

3. Олссон Г., Пиани Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский Диалект, 2001.

4. Обоишев М. Ю. Разработка алгоритмов синтеза измерительных каналов: дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2004.

5. РТМ 1495–75. Руководящий технический материал авиационной техники. Обмен информацией двуполярным кодом в оборудовании летательных аппаратов / Министерство радиопромышленности СССР. М., 1975.

B. I. Ergasheva

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University

M. Yu. Oboishev

JSC Klimov

ESTIMATION OF TIME DELAYS IN THE DIGITAL MULTI-PROCESSOR CONTROL AND MONITORING SYSTEMS

The article deals with the practical aspects of temporary delays assessment that exist in the digital automatic control and monitoring systems with constant discrete object time management. The article gives a practice example using theoretical materials presented on example of engine system RD-33MK. Produced analytical evaluation accuracy of determining the length input digital signals and generating output digital control commands. Presented materials should be taken into account in the allocation of input and output signals between processors in multiprocessor systems, considering the actual implementation of systems, including their software, as well as the appointment requirements for system regarding delay issuing output control commands and diagnostic signals.

Control systems, digital systems, multiprocessing system, measuring channels, data transfer, interface, time delays
