

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая книга ориентирована на читателей, знакомых с теорией автоматического управления в рамках линейных систем управления, изучаемых в высших и среднетехнических учебных заведениях. Она ставит своей целью ознакомить читателя с современными подходами к описанию, анализу и синтезу систем, в которых устройства управления строятся с применением современных вычислительных средств управления и автоматизации — мини-ЭВМ, микропроцессоров или микроконтроллеров. В настоящее время эти вопросы кратко рассматриваются в специальных учебных дисциплинах многих технических специальностей: «Управление в технических системах», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Мехатроника и робототехника», «Вычислительная техника», «Программирование» и др. В книге указанные вопросы рассматриваются более подробно, изложение сопровождается многочисленными примерами.

Отличительной особенностью книги является использование классического и современного подходов к описанию и методам исследования динамических систем. Как подчеркивал профессор А. А. Воронов в своей книге (Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. М.: Наука, 1979.), классический период теории управления — это период, когда «предпочтение отдавалось представлениям в частотной области». Современный период характеризуется использованием уравнений в переменных состояния, а также применением вычислительных средств для обработки информации и реализации устройств управления. Однако, как показывает практика, для решения различных задач управления целесообразно применять разные математические модели исследуемых объектов и систем управления. Поэтому в книге излагаются методы как классического, так и современного подхода.

Материал книги распределен по шести главам. Первая и вторая главы посвящены описанию цифровых систем управления и их элементов. В первой главе выводятся математические модели АЦП, АЛУ и ЦАП — технических элементов, присутствующих в контуре управления цифровых систем, а также ряд математических моделей дискретных объектов управления. Эти модели описывают поведение непрерывного объекта, управляемого цифровым устройством. Здесь же рассматривается определение и основные свойства z -преобразования, которое используется для решения различных задач анализа и

синтеза цифровых систем управления, в частности с его помощью вводится понятие передаточной функции дискретного объекта управления. Во второй главе рассматриваются различные формы моделей дискретных и цифровых замкнутых систем управления, способы перехода от моделей одного вида к другому, а также применение этих моделей для определения как реакций на различные воздействия, так и временных характеристик цифровых систем управления.

В третьей главе исследуются общие свойства дискретных объектов и цифровых систем управления, такие как управляемость, наблюдаемость, полнота и устойчивость. Рассматриваются соответствующие критерии применительно к цифровым системам. Дается определение асимптотических оценок переменных и наблюдателя состояния, формирующего эти оценки. Четвертая глава посвящена методам оценки качества цифровых систем управления в переходном и установившемся режиме, т. е. исследованию динамических и точностных свойств этих систем. Главы пятая и шестая посвящены методам синтеза цифровых систем управления. Прежде всего дается общая формулировка задачи синтеза цифровых систем управления с заданными свойствами. Так как для решения этой задачи необходима математическая модель объекта управления, то рассматривается метод идентификации объектов, основанный на использовании марковских параметров. Последние являются системными инвариантами, что обеспечивает высокую адекватность получаемой математической модели реальному объекту. В этой же пятой главе рассматривается априорный подход к синтезу цифровых систем, ориентированный на применение известных типовых законов управления или более общего модального управления. На основе модального управления синтезируются цифровые системы как общего типа, так и астатические. В шестой главе рассматриваются методы аналитического синтеза цифровых систем на основе принципа управления по выходу и воздействиям. Применение этого принципа позволяет создавать астатические и селективно инвариантные системы с желаемыми показателями качества в переходном и установившемся режиме.

В первую очередь книга ориентирована на студентов технических специальностей, изучающих применение современных цифровых средств автоматизации для решения практических задач управления различными объектами по программе бакалавриата. Некоторые материалы, представленные в книге, могут представлять значительный интерес для преподавателей, а также магистрантов и аспирантов, специализирующихся на задачах управления, автоматизации и обра-

ботки информации. В связи с этим все рассматриваемые в книге методы иллюстрируются конкретными примерами получения математических моделей, анализа свойств и синтеза цифровых систем управления. Приводятся примеры файлов, иллюстрирующих решение многих задач и примеров с использованием MATLAB.

Для большей ясности знаком ■ обозначены окончания примеров, теорем или утверждений. Курсивом выделены понятия, вынесенные в предметный указатель.

Авторы благодарны профессору Пьявченко Тамиле Алексеевне за многочисленные советы, позволившие устранить многие неудачные выражения и существенно улучшить стиль изложения материала.

Авторы признательны также рецензентам проректору по научной работе Ивановского государственного энергетического университета д. т. н., профессору В. В. Тютикову и д. т. н., профессору Донского государственного технического университета Р. А. Нейдорфу за ценные замечания, в значительной мере способствовавшие улучшению содержания книги.

В книге, несомненно, остались незамеченными ряд погрешностей и описок. Авторы заранее благодарны всем, кто найдет возможность указать свои замечания и предложения, прислав их по адресу: кафедра САУ, Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, Некрасовский пер., 44, Таганрог, ГСП-17А, 347928.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие, повышение надежности и технологичности электронных устройств в интегральном исполнении, в частности микропроцессоров и микроконтроллеров, созданных на основе интегральных технологий, приводит к более широкому применению их при создании систем автоматического управления. Это позволяет значительно улучшить качество как средств автоматизации, так и процессов управления; повысить надежность и существенно расширить область применения систем автоматического управления. При этом упрощается технология изготовления, соответственно повышается адаптируемость систем управления к изменениям технологических процессов, а также экономическая эффективность их применения.

Однако включение цифровых элементов, микропроцессоров или микроконтроллеров в контур управления приводит к возникновению ряда особенностей математического описания и функционирования цифровых систем управления. Методы описания, анализа свойств цифровых систем управления и методы их синтеза несколько сложнее по сравнению с методами непрерывных динамических систем. Для успешного освоения этих методов прежде всего требуются знания линейной теории непрерывных систем. Это связано с тем, что, например, модели объектов управления, управляемых цифровыми устройствами, строятся на основе непрерывных линейных моделей этих объектов. Аналогично, методы исследования свойств цифровых систем управления во многом аналогичны методам непрерывных систем, хотя и имеют ряд специфических особенностей. Эти особенности в основном обусловлены тем, что микропроцессоры или микроконтроллеры могут обрабатывать только информацию, представленную дискретными сигналами, значения которых заданы кодами. Вторая особенность таких сигналов — ограниченное число разрядов кодов, в настоящее время сказывается в меньшей степени, так как число разрядов современных вычислительных средств достаточно велико. Поэтому на начальных этапах анализа цифровых систем, а именно этим этапам посвящена данная книга, этим фактом обычно пренебрегают.

В данной книге рассматриваются все этапы системного подхода к созданию цифровых систем автоматического управления. К этим этапам прежде всего относится получение математических моделей как основных элементов цифровой системы управления, так и всей системы в целом. Математические модели строятся на основе деталь-

ного анализа функционирования элементов цифровых систем и принятых в теории управления методов математического описания динамических систем. При этом используется аппарат разностных уравнений как в переменных состояниях, так и в форме «вход-выход», а также аппарат передаточных функций. Последние вводятся с использованием теории z -преобразования. Значительное внимание в книге уделяется способам перехода от одной формы математической модели элемента или системы к другой форме. Обсуждаются вопросы эквивалентности и корректности таких переходов.

Методы исследования свойств цифровых систем, которые фактически являются дискретными системами, в основном аналогичны методам исследования непрерывных линейных систем. Их отличительные особенности также обусловлены дискретным характером сигналов цифровых систем управления. Это замечание относится и к методам синтеза цифровых систем управления. Именно дискретный характер сигналов обуславливает специфические черты методов синтеза астатических и селективно инвариантных и других типов цифровых систем управления. В частности, это относится к системам с конечной длительностью переходных процессов, которые иногда называются оптимальными по быстродействию дискретными системами.

Важность владения специалистами по управлению и автоматизации методами анализа и синтеза цифровых систем обусловлена тем, что в настоящее время на предприятиях все шире применяются автоматизированные информационно-управляющие системы. Эти системы позволяют на базе высокоэффективной вычислительной техники обеспечивать автоматизированное управление технологическими комплексами. Именно применение компьютерных средств и технологий позволяет создавать высокоэффективные по точности, быстродействию и широте решаемых задач системы управления технологическими комплексами и производствами. Но компьютеры и компьютерные технологии, естественно, обуславливают реализацию именно цифровых методов и систем управления и автоматизации.

Многие методы, рассматриваемые в книге, хорошо известны и приводятся в литературе по теории цифровых систем. С другой стороны, некоторые методы, связанные с анализом и, в особенности, с аналитическим синтезом цифровых систем управления, получены в оригинальных работах авторов и в компактной форме впервые излагаются в данной книге.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АЛУ	Арифметико-логическое устройство
АССУВВ	Аналитический синтез систем с управлением по выходу и воздействиям
АЦП	Аналого-цифровой преобразователь
ДОУ	Дискретный объект управления
ДСУ	Дискретная система управления
ЗУ	Задающее устройство
КНФ	Каноническая наблюдаемая форма
КУФ	Каноническая управляемая форма
МК	Микроконтроллер
ННУ	Нулевые начальные условия и нулевые другие воздействия
НОУ	Неопределенный объект управления
ОУ	Объект управления
ПК	Персональный компьютер
ПФ	Передаточная функция
САУ	Система автоматического управления
ЦАП	Цифроаналоговый преобразователь
ЦСУ	Цифровая система управления
ЦУУ	Цифровое устройство управления
ШИМ	Широтно-импульсная модуляция

ОПИСАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

1.1. Математические модели элементов цифровых систем

Рассмотрим основные элементы и работу системы управления с микроконтроллером на примере одномерной системы управления непрерывным линейным объектом, т. е. системы с одним задающим воздействием и одной управляемой переменной (величиной). Функциональная схема такой системы показана на рис. 1.1.

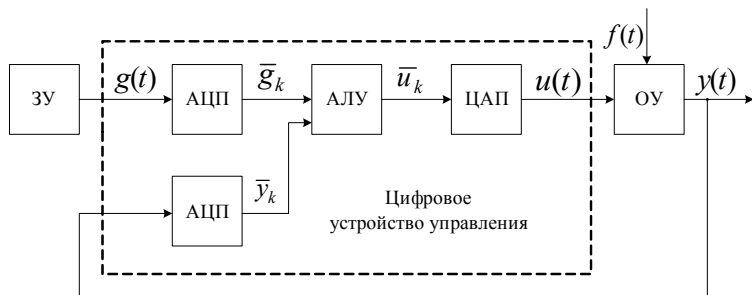


Рис. 1.1

Блок-схема одномерной цифровой системы управления

На рис. 1.1 приняты следующие обозначения: ЗУ — непрерывное задающее устройство, которое формирует задающее воздействие $g = g(t)$. Фактически, посредством этого воздействия в систему вводится цель управления, т. е. целевой (желаемый, требуемый) характер изменения управляемой величины $y = y(t)$ во времени. Последняя является выходной переменной непрерывного объекта управления (ОУ), на вход которого поступает управляющее воздействие (управление) $u = u(t)$. Так как величины $g = g(t)$ и $y = y(t)$ являются непрерывными функциями времени, а микроконтроллеры или микропроцессоры не могут обрабатывать непрерывные сигналы, то в систему вводятся *аналого-цифровые преобразователи* (АЦП). Эти устройства с некоторым периодом T преобразуют дискретные значения непрерывных сигналов $g(t)$ и $y(t)$ в цифровые коды $\bar{g}(t) = g(kT)$ и $\bar{y}(t) = y(kT)$, которые с тем же периодом T , но с некоторой задержкой во

времени поступают в *арифметико-логическое устройство* (АЛУ). Здесь на основе этих величин по некоторому алгоритму вычисляются значения управляющего воздействия, точнее, коды этих значений $\bar{u}(t) = u(kT)$, которые преобразуются в *цифроаналоговом преобразователе* (ЦАП) в *кусочно-постоянное управление* $u(t)$ [9, 20, 27, 35]. Чаще всего это управление является электрическим напряжением или током.

Подчеркнем, что на рис. 1.1 аббревиатурой ОУ обозначена совокупность усилителя, исполнительного устройства, регулирующего органа, некоторого агрегата, в котором протекает управляемый процесс, а также измерительных преобразователей (датчиков) [9]. Под действием управления $u(t)$, усиленного усилителем, исполнительное устройство изменяет состояние регулирующего органа агрегата, уменьшая или увеличивая приток или отток энергии, вещества или информации в зависимости от типа управляемого объекта. Тем самым оказываются управляющие воздействия на управляемый процесс, в результате чего, с одной стороны, управляемая величина $y(t)$ изменяется в соответствии с задающим воздействием $g(t)$. С другой стороны, эти управляющие воздействия компенсируют влияние возмущения $f = f(t)$, которое вызывает отклонения характера управляемого процесса от целевого, определяемого задающим воздействием $g(t)$. К объектам управления такого типа относятся нагревательные печи, химические реакторы, буровые установки и многие другие производственные агрегаты [20, 27, 35, 42].

Отметим также, что в некоторых случаях именно объект управления должен совершать целевые движения, которые описываются задающим воздействием $g(t)$. При этом его управляемая переменная (величина) $y(t)$ также изменяется в соответствии с этим воздействием с некоторой погрешностью. К объектам этого типа относятся: летательные аппараты (самолеты, вертолеты, беспилотники, квадрокоптеры), корабли, мобильные роботы и другие подвижные объекты управления [25, 29].

Элементы АЦП, АЛУ, ЦАП и ряд других технических устройств (блоки памяти, питания и управления) имеются в составе *микроконтроллеров* (МК), которые в настоящее время чаще всего используются в цифровых системах управления для вычисления значений управляющего воздействия. Поэтому указанную совокупность технических элементов далее будем называть также *цифровым устройством управления* (ЦУУ). На рис. 1.1 ЦУУ выделено штриховой линией. Представленная на этом рисунке система автоматического управле-

ния (САУ), строго говоря, содержит как цифровые, так и нецифровые элементы. Однако рассматриваемые в данной книге основные особенности этой системы обусловлены наличием в её составе именно цифровых элементов, поэтому в дальнейшем она будет называться *цифровой системой управления (ЦСУ)*.

В теории управления исследование САУ обычно осуществляется на основе *системного подхода*, т. е. анализ и синтез систем проводятся с использованием математических моделей как элементов систем, так и систем в целом [7]. Для получения математических моделей исследуемых систем используются математические модели их элементов. В связи с этим перейдем к рассмотрению моделей указанных на рис. 1.1 элементов ЦСУ.

1.1.1. Математическая модель АЦП

Существует большое число типов АЦП, работающих на основе различных принципов [31, 41]. Однако независимо от типа АЦП его выходной сигнал появляется периодически, с некоторым периодом T , и постоянным запаздыванием $\tau_{\text{пр}}$ по отношению к моментам времени kT , $k = 0, 1, 2, 3, \dots$. Принято считать, что выходной сигнал АЦП $\bar{g}(t)$ представляет собой последовательность импульсов (кодов) \bar{g}_k , амплитуда которых пропорциональна значениям $g_k = g(kT)$, а период следования равен T , как показано на рис. 1.2.

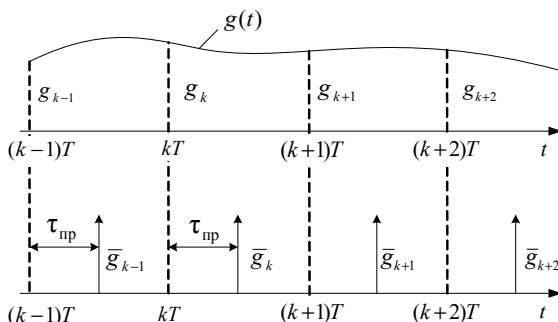


Рис. 1.2

Выходной сигнал АЦП — последовательность \bar{g}_k

Выходной сигнал АЦП можно описать следующим выражением:

$$\bar{g}(t) = \begin{cases} K_{\text{АЦП}} g_k, & t = kT + \tau_{\text{пр}}, \\ 0, & t \neq kT + \tau_{\text{пр}}, \end{cases} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1.1)$$

где $\bar{g}(t)$ — выходной сигнал АЦП, представленный кодом (обычно двоичным); $K_{\text{АЦП}}$ — коэффициент передачи АЦП. Код на выходе АЦП определяется его характеристикой преобразования, которая показывает связь значений его выходного кода со входным сигналом $g = g(t)$ и приведена на рис. 1.3.

В соответствии с рисунком 1.3 при непрерывном изменении входной величины g двоичный код \bar{g}_k изменяется скачкообразно. Причем величина его скачков равна единице. Максимальное значение выходного кода АЦП определяется числом его разрядов $N_{\text{АЦП}}$ и равно величине $2^{N_{\text{АЦП}}} - 1$, т. е.

$$\bar{g}_{\max} = 2^{N_{\text{АЦП}}} - 1, \quad (1.2)$$

Таким образом, ступенчатым изменениям кода \bar{g}_k на единицу соответствуют изменения входного сигнала $g = g(t)$ на некоторую величину Δ , которая называется *ценой младшего разряда* АЦП. Эта величина зависит как от числа разрядов $N_{\text{АЦП}}$, так и от максимального значения входного сигнала g_{\max} , на которое рассчитан данный АЦП.

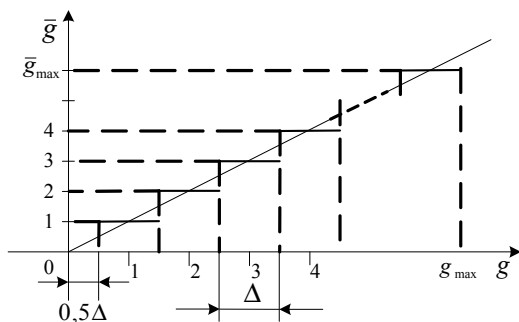


Рис. 1.3

Значения выходного кода \bar{g}_k и входного сигнала g

Так как, согласно рис. 1.3, величина $g_{\max} = (2^{N_{\text{АЦП}}} - 1 + 0,5)\Delta$, то Δ — цена младшего разряда АЦП определяется выражением

$$\Delta = \frac{g_{\max}}{2^{N_{\text{АЦП}}} - 0,5}. \quad (1.3)$$

Так как изменение входного сигнала АЦП на величину Δ вызывает изменение выходного кода на единицу, то коэффициент передачи АЦП, с учетом равенства (1.2), определяется выражением

$$K_{\text{АЦП}} = \frac{1}{\Delta} = \frac{2^{N_{\text{АЦП}}} - 0,5}{g_{\text{max}}}. \quad (1.4)$$

На основании выражений (1.1)–(1.3) и рис. 1.3 можно заключить, что при подаче на вход АЦП непрерывного сигнала $0 < g < g_{\text{max}}$ на выходе АЦП спустя некоторое время $\tau_{\text{пр}}$ появляется двоичный код:

$$\bar{g}_k = \begin{cases} 0, & 0 \leq g_k < \Delta/2, \\ K_{\text{АЦП}} E \left[\frac{g_k}{\Delta} - 0,5 \right] + 1, & \frac{\Delta}{2} \leq g_k < g_{\text{max}} \end{cases}, \quad (1.5)$$

где $E[\]$ — операция взятия целой части числа, заключенного в скобку $[\]$.

Процесс преобразования непрерывной величины $g = g(t)$ в коды её дискретных значений g_k , $k = 0, 1, 2, \dots$, определяемые соотношением (1.5), называется *квантованием по уровню*, а величина Δ — шагом квантования по уровню. Квантование по уровню приводит к некоторой неоднозначности связи выходной величины \bar{g}_k АЦП со значениями $g(kT)$ его входного сигнала $g(t)$ при $t = kT$. На основании графика, приведенного на рис. 1.3, нетрудно заключить, что максимальная разность между значением сигнала $g(kT)$ и его дискретным представлением $\bar{g}\Delta$, т. е. погрешность $\delta_g = g - \bar{g}\Delta$, не превышает половины цены младшего разряда Δ , т. е.

$$|\delta_g| \leq \frac{\Delta}{2}. \quad (1.6)$$

Величина $0,5\Delta$ называется *погрешностью квантования по уровню*, причем, как видно из выражения (1.3), с увеличением числа разрядов АЦП она существенно уменьшается. Используемые в настоящее время АЦП обычно имеют 8, 12, 16, 24 и более разрядов. Поэтому погрешность квантования по уровню чаще всего мала, и на первых этапах анализа и синтеза цифровых САУ ею обычно пренебрегают, полагая $\bar{g}_k = K_{\text{АЦП}} g_k$. При более углубленном анализе свойств ЦСУ влияние квантования по уровню учитывается путем добавления к выходному сигналу АЦП, как показано на рис. 1.4, случайного шумоподобного сигнала v_k , имеющего равномерное распределение.

Без учета погрешности, обусловленной квантованием по уровню, и с использованием понятия дельта-функции [9, 23] выражение (1.1) можно представить следующим образом:

$$\bar{g}^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} g(kT) \delta(t - kT - \tau_{\text{пр}}). \quad (1.7)$$



Рис. 1.4

К учету влияния квантования по уровню

Функция $\bar{g}^*(t)$ представляет собой последовательность дельта-импульсов, возникающих в моменты времени $kT + \tau_{\text{пр}}$. При этом площадь каждого из них равна значению выходного сигнала $\bar{g}(t)$ АЦП при $t = kT$. Эта функция называется решетчатой или *дискретной функцией*, соответствующей непрерывной функции $g(t)$. Процесс преобразования непрерывной функции $g(t)$ в дискретную \bar{g}_k называется *дискретизацией* или *квантованием по времени*. Величина T называется *периодом дискретизации* или *периодом квантования по времени*.

Таким образом, АЦП осуществляет квантование входного сигнала по времени и по уровню. Однако если квантованием по уровню, как отмечалось выше, обычно пренебрегают ввиду малости шага квантования по уровню и малости его влияния на поведение цифровой системы управления, то квантование по времени оказывает существенное влияние на работу цифровых систем, превращая их в дискретные системы, и его необходимо учитывать при математическом описании этих систем.

На основании изложенного математическую модель АЦП можно представить (при $g(t) > 0$, $K_{\text{АЦП}} = 1$ и $\tau_{\text{пр}} < T$) в виде следующих соотношений:

$$g_{\text{АЦП}}(t) = \begin{cases} 0, & kT \leq t < kT + \tau_{\text{пр}}, \\ g(kT), & t = kT + \tau_{\text{пр}}, \\ 0, & kT + \tau_{\text{пр}} < t < (k+1)T. \end{cases} \quad (1.8)$$

В дальнейшем выходной сигнал АЦП $g_{\text{АЦП}}(t)$ (1.8) с учетом *времени запаздывания* $\tau_{\text{пр}}$ будем обозначать $g_{k+m_{\text{пр}}}$, где $m_{\text{пр}} = \tau_{\text{пр}}/T$ — *относительное запаздывание*, обусловленное временем, затраченным на преобразование входного сигнала $g(t)$ в АЦП.

1.1.2. Математические модели АЛУ

Арифметико-логическое устройство в составе системы управления (рис. 1.1) выполняет логические и арифметические операции, связанные, как отмечалось выше, с вычислением очередного кода \bar{u}_k управления u_k . При этом сравниваются, складываются или умножаются, естественно, двоичные коды значений тех величин и коэффициентов, которые используются при вычислении управления. Для выполнения этих операций требуется какое-то время, поэтому вычисленное значение u_k также появляется с некоторой задержкой во времени по отношению к поступившим от АЦП данным.

Конкретный вид выполняемых операций и их последовательность, т. е. алгоритм вычисления управления, определяются видом закона управления, применяемого в данной системе. Очень часто используется простейший пропорциональный закон: *управление по отклонению*, который в непрерывной форме имеет вид

$$u(t) = K_p \varepsilon(t), \quad \varepsilon(t) = g(t) - y(t). \quad (1.9)$$

Здесь $\varepsilon(t)$ — *отклонение*, а K_p — коэффициент передачи простейшего устройства управления (регулятора), т. е. K_p — это параметр закона управления (1.9). Численное значение этого коэффициента определяется при проектировании (синтезе) системы управления и обычно уточняется при настройке системы.

В дискретной форме, т. е. при использовании МК, пропорциональный закон управления по отклонению формально принимает вид

$$u_k = K_p \varepsilon_k, \quad \varepsilon_k = g_k - y_k. \quad (1.10)$$

Однако этот закон не может быть точно реализован в ЦУУ из-за задержек, вызванных затратами времени на преобразование сигналов и вычисление значения управления u_k . В процессе управления объектом работа микроконтроллера контролируется специальным блоком управления (на рис. 1.1 и 1.4 он не показан). Этот блок синхронизирует и работу АЦП, подавая на него соответствующие импульсы в моменты времени $t_k = kT$, $k = 1, 2, 3, \dots$. По окончании операции преобразования, т. е. в моменты времени $t_k = kT + \tau_{\text{пр}}$, двоичные коды \bar{g}_k и \bar{y}_k значений g_k и y_k передаются в соответствующие ячейки памяти МК, где они запоминаются. Затем блок управления извлекает из памяти МК программу вычисления управления, коды \bar{g}_k, \bar{y}_k , передает их в АЛУ и запускает эту программу. В соответствии с ней в АЛУ сначала вычисляется код промежуточной величины $\varepsilon k = g_k - y_k$, а затем он умножается на код коэффициента K_p , который также извлека-

ется из памяти МК. Код вычисленного значения управления u_k преобразуется в ЦАП, где код управления в течение некоторого времени преобразуется, чаще всего в напряжение, пропорциональное значению управления u_k . Это напряжение и поступает на объект управления в момент времени $t = kT + \tau_z$, оказывая, с некоторой задержкой τ_z , соответствующее управляющее воздействие в течение всего периода T , т. е. до момента прихода следующего кода управления u_{k+1} . Отметим, что в некоторых случаях код управления преобразуется в длительность импульсов постоянного напряжения, подаваемых с тем же периодом T на исполнительный механизм. Это происходит в так называемых системах с *широтно-импульсной модуляцией* (ШИМ). Однако это не имеет принципиального значения, так как управление и в этом случае является дискретным.

Таким образом, из-за задержек на преобразование сигналов и вычисление управления сигнал на выходе АЛУ формируется с задержкой $\tau_{пв} = \tau_{пр} + \tau_{выч}$. Здесь $\tau_{выч}$ — время, в течение которого в АЛУ вычисляется код \bar{u}_k управляющего воздействия. Поэтому выходной сигнал АЛУ при пропорциональном законе управления может быть записан следующим образом:

$$u_{k+m_{пв}} = K_p \varepsilon_k, \quad (1.11)$$

где $m_{пв} = \tau_{пв}/T$ — относительное запаздывание, обусловленное задержками на измерение сигнала датчиком, преобразование его в двоичный код в АЦП и вычисление кода управления в АЛУ. При этом момент времени, в который код управления (1.11) поступит на вход ЦАП, определяется выражением $t = (k + m_{пв})T$.

Как видно, основные отличия АЛУ от непрерывных устройств управления заключаются, во-первых, в том, что в нём вычисляются лишь дискретные значения управления. Во-вторых, эти значения запаздывают по отношению к моментам измерения величин, используемых для формирования управления. При реализации других законов управления уравнения АЛУ будут иметь, конечно, отличный от (1.11) вид, но указанные здесь особенности цифровых систем управления всегда будут иметь место. В связи с этим при создании ЦСУ выбор датчиков, аппаратуры передачи данных и МК всегда согласовывается с выбранным периодом квантования T , или же наоборот: значение T согласовывается с динамическими свойствами выбранных технических цифровых средств.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru