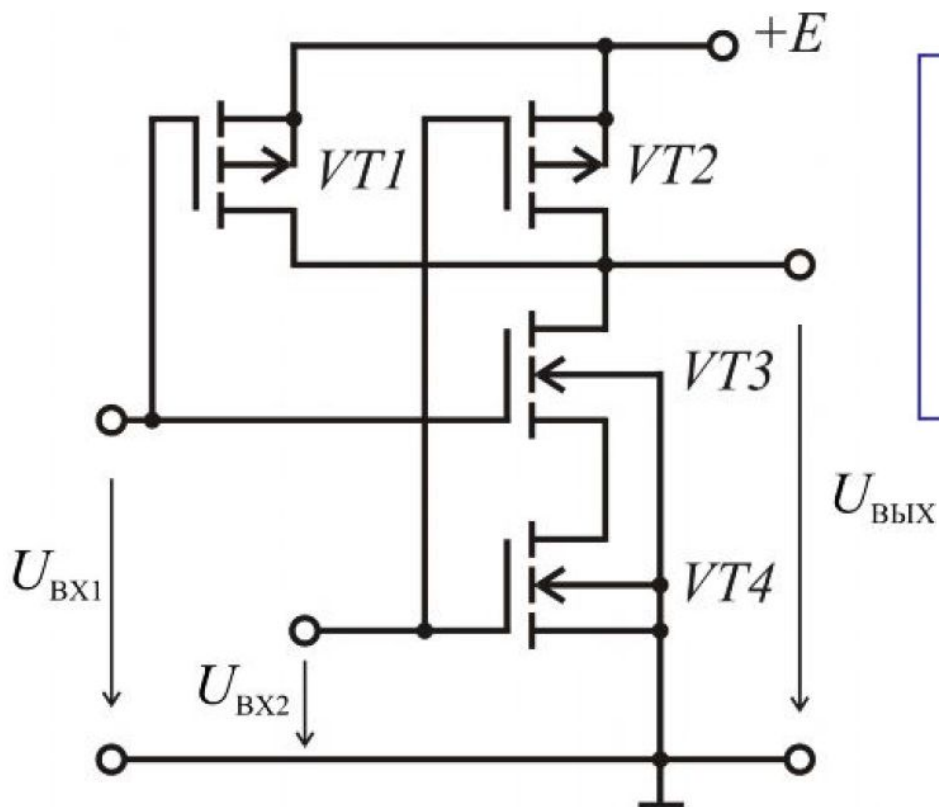


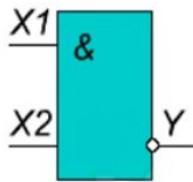
Теория Автоматического Управления Часть 6

Полулях Антон Иванович, к.т.
н., доцент кафедры АД, зам.
начальника отдела
проектирования систем
автоматического управления

8. Дискретные системы

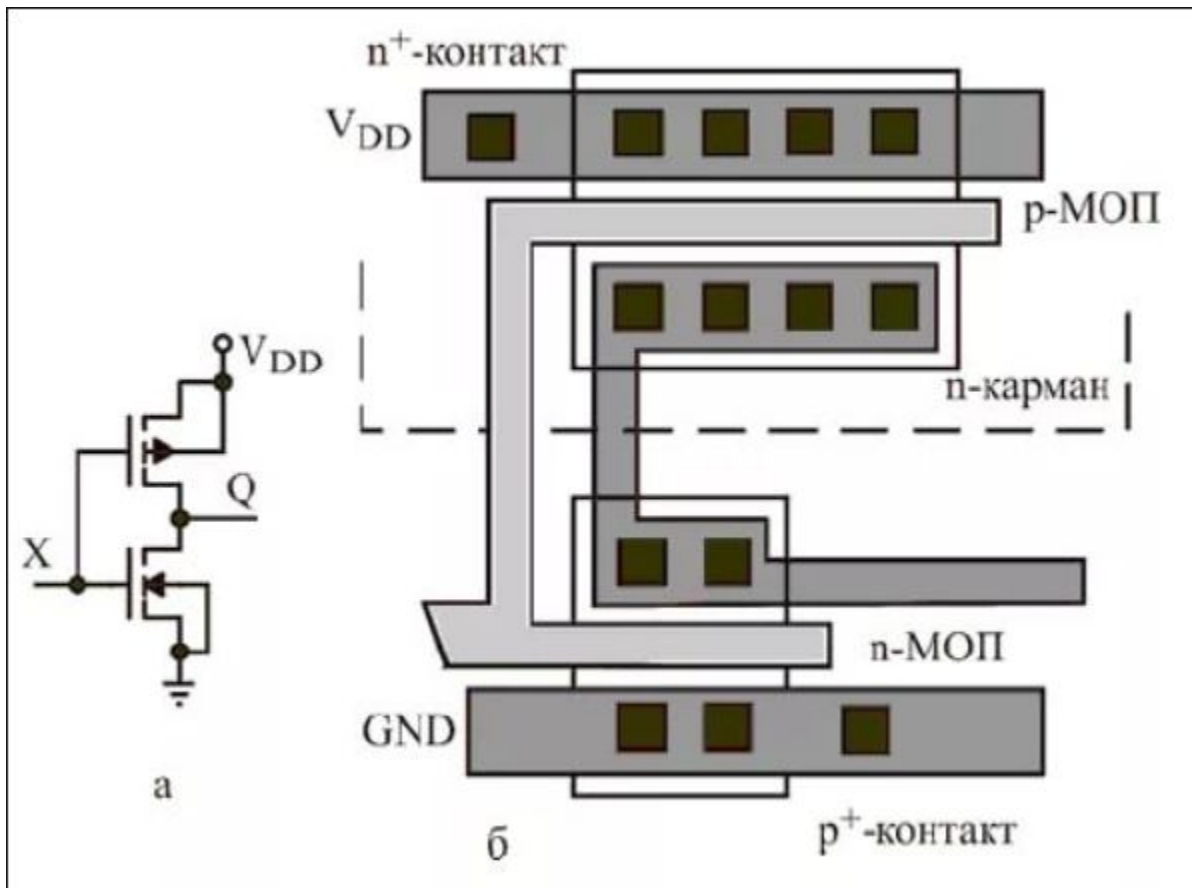
- Элементы КМОП-логики элемент 2И-НЕ



	X1	X2	Y
	0	0	1
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0

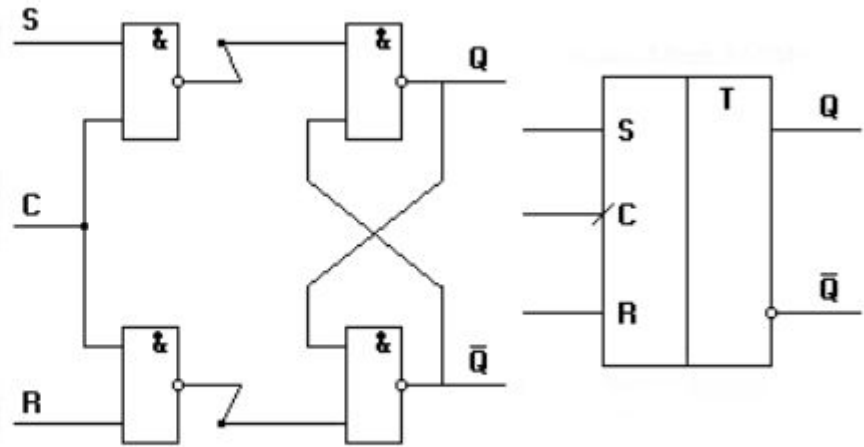
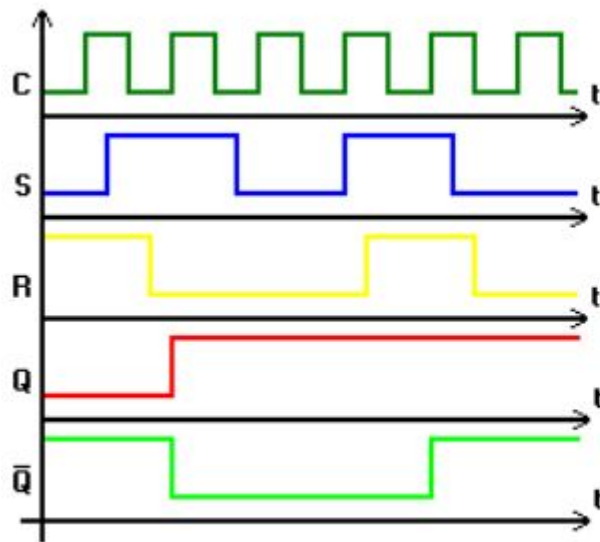
8. Дискретные системы

- Элементы КМОП-логики в интегральной микросхеме



8. Дискретные системы

- RS Триггер



8. Дискретные системы

- Структурную схему системы автоматического управления (САУ) можно представить в следующем виде (рис. 1):



Рис. 1.

- В состав устройства управления входят корректирующее и вычитающее устройства.
- В процессе разработки системы автоматического управления решаются две основные задачи:
- Синтез корректирующего устройства, результатом которого является передаточная функция корректирующего устройства;
- Техническая реализация корректирующего устройства.

8. Дискретные системы

- Рассмотрим вопросы технической реализации корректирующего устройства на примере пропорционального регулятора (рис. 2):

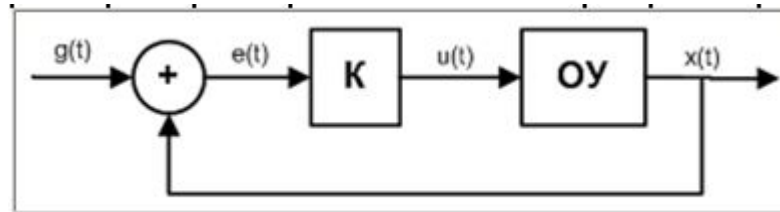


Рис. 2.

- Вариант 1.** Реализация в виде электронной схемы (например, на основе операционного усилителя, рис. 3). В этом случае значение управляющего сигнала может быть измерено в любой момент времени и с любой точностью. Системы, сигналы в которых существуют (могут быть измерены) в любой произвольный момент времени называются непрерывными системами.

8. Дискретные системы

Операционный усилитель

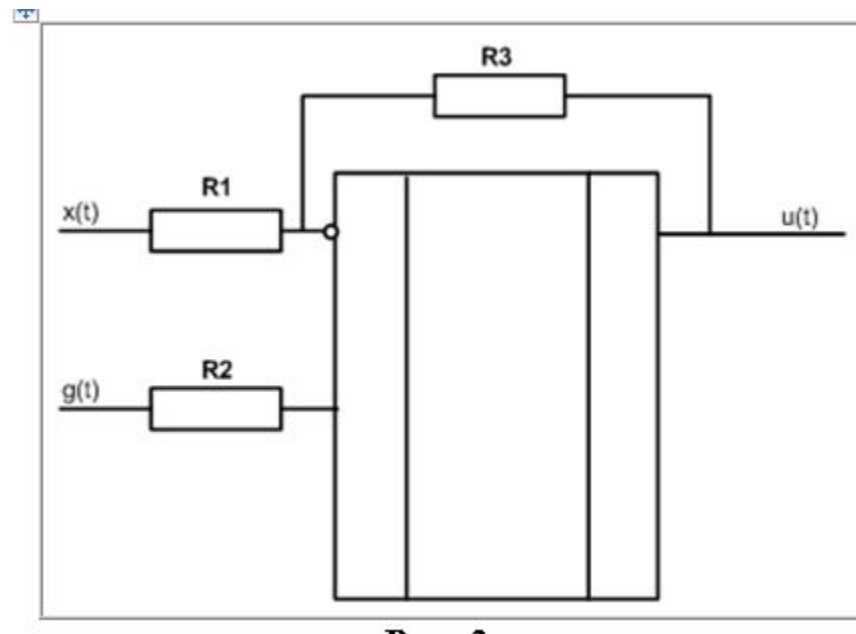


Рис. 3.

8. Дискретные системы

- **Вариант 2.** Реализация на основе специализированной ЭВМ (рис. 4):

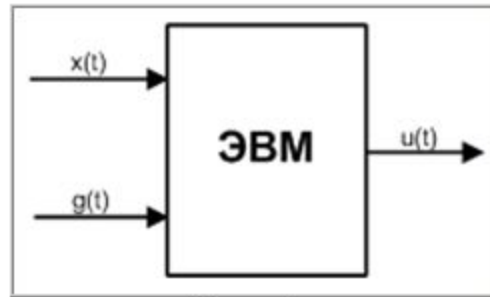


Рис. 4.

- В этом случае собственно корректирующее устройство реализуется программно в виде алгоритма расчета значения управляющего сигнала по известным значениям $x(t)$ и $g(t)$. Блок-схема такого алгоритма выглядит следующим образом (рис. 5):

8. Дискретные системы

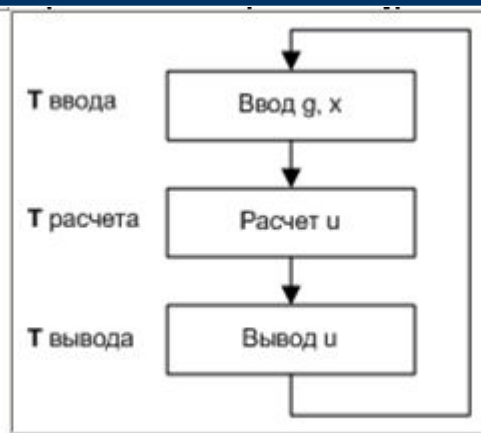


Рис. 5. Алгоритм работы корректирующего устройства

- Весь управляющий цикл состоит из ввода исходных данных для расчета, собственно расчета и вывода полученного значения управляющей величины. Работа алгоритма может быть представлена на временной оси (рис. 6):

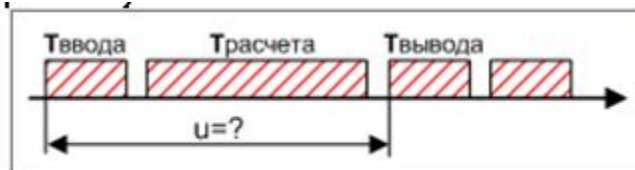


Рис. 6.

8. Дискретные системы

- Так как реализация алгоритма представляет собой набор операций, а каждая операция выполняется внутри ЭВМ за конечное время, процессы ввода, расчета и вывода также занимают конечное время.
- Следовательно, значение управляющей величины будет определено только по окончании фазы расчета, а на протяжении самого расчета и ввода данных будет оставаться неопределенным.
- Так как цикл "ввод-расчет-вывод" выполняется периодически, значение будет определено лишь в отдельные моменты времени, соответствующие моменту окончания фазы расчета на рис. 6.

8. Дискретные системы

- Временной интервал между этими моментами будет равен длительности одного цикла выполнения алгоритма :

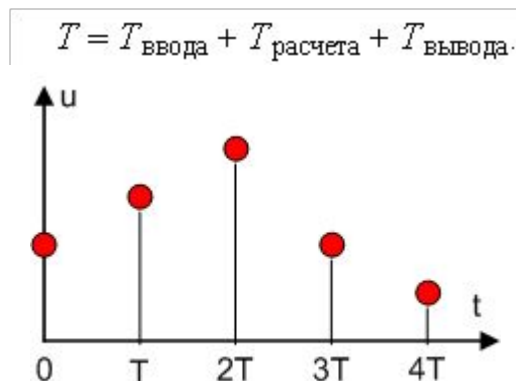


Рис. 7.

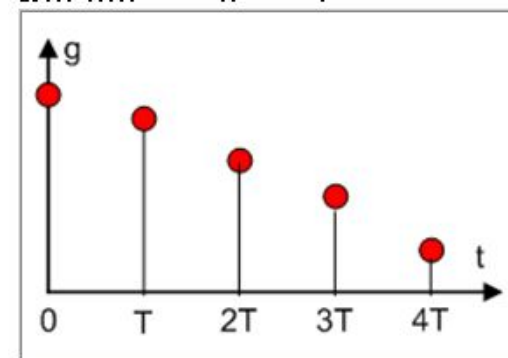


Рис. 8.

- То же самое можно сказать и о сигналах, вводимых в ЭВМ (рис. 8). Эти сигналы определены внутри ЭВМ лишь в дискретные моменты времени (на фазе ввода и). В промежутках между ними (на протяжении фазы расчета и вывода) ЭВМ не имеет информации об истинном значении величин и .

8. Дискретные системы

- Системы, сигналы в которых определены лишь в отдельные дискретные моменты времени, называются дискретными системами (Система, сигналы в которой определены лишь в отдельные дискретные моменты времени). Все системы, в состав которых входит ЭВМ, являются дискретными.
- Таким образом, все системы автоматического управления в зависимости от варианта технической реализации блока управления (корректирующего устройства) можно подразделить на непрерывные и дискретные.

8. Дискретные системы

Понятие о микропроцессорных системах управления

Микропроцессорная система управления (МПСУ, дискретная САУ, цифровая САУ) — система управления, в которой блок управления реализован в виде специализированной ЭВМ.

Микропроцессорная система (МПС) — специализированная ЭВМ, предназначенная для решения задач управления.

8. Дискретные системы

Характеристики непрерывных и дискретных систем

Проведем сравнение непрерывных и дискретных систем управления по трем группам критериев:

Сравнение с точки зрения самого процесса управления

1. Устойчивость: $x(t) = x_{\text{собств}}(t) + x_{\text{вын}}(t)$, при $t \rightarrow \infty$ $x_{\text{собств}}(t) \rightarrow 0$;
2. Точность: $\varepsilon_{\text{устан}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t)$;
3. Качество процесса управления, т.е. параметры переходного процесса: перерегулирование (должно быть по возможности меньше) и время переходного процесса (также должно быть по возможности меньше).

8. Дискретные системы

Сравнение по общетехническим характеристикам

1. Масса и габариты;
2. Энергопотребление;
3. Надежность.

Сравнение по технико-экономическим параметрам

1. Стоимость разработки и изготовления;
2. Стоимость модернизации (изменение алгоритма управления).

Сравнение будем проводить на примере системы, приведенной на рис. 1

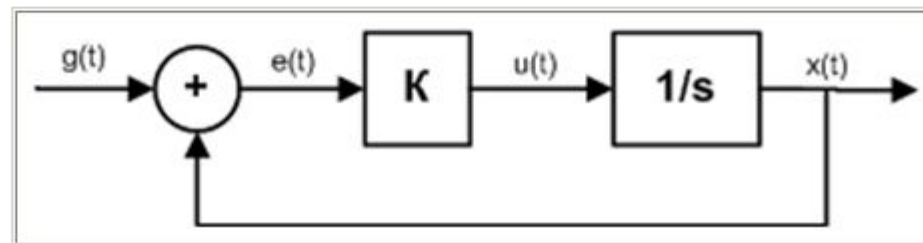


Рис. 1.

8. Дискретные системы

Сравнение с точки зрения процесса управления

Рассмотрим вначале вариант непрерывной реализации блока управления.

Устойчивость

$$W(s) = \frac{k}{s}$$

$$\Phi(s) = \frac{1}{Ts + 1}, T = \frac{1}{k}$$

Замкнутая система представляет собой апериодическое звено, устойчивое при любом коэффициенте усиления k .

Точность Система имеет астатизм 1-го порядка, следовательно, установившаяся ошибка равна нулю, если $g(t) = \text{const}$. Если $g(t) = g_0 t$, ошибка обратно пропорциональна коэффициенту усиления k .

8. Дискретные системы

Переходной

процесс

$$h(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}}$$

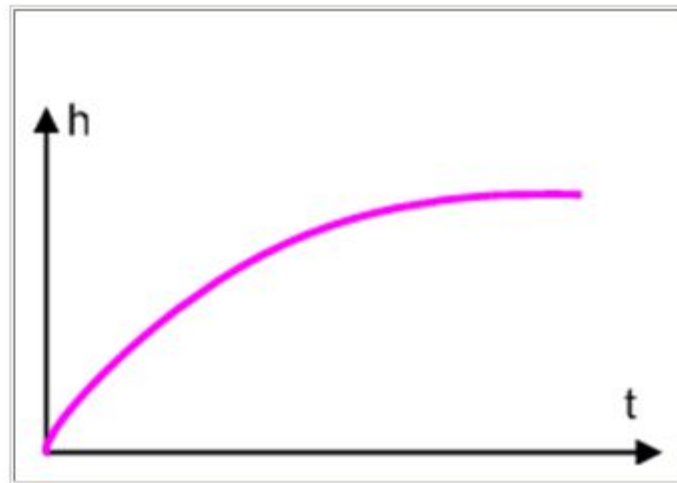


Рис. 2.

Перерегулирования нет, уменьшая постоянную времени T мы можем добиться уменьшения времени переходного процесса.

8. Дискретные системы

Теперь рассмотрим вариант дискретной организации блока управления. Так как значения управляющего сигнала $u(t)$ на выходе блока управления определены лишь в дискретные моменты времени, необходимо использовать экстраполяцию для определения значения $u(t)$ на всем интервале T . Будем считать, что в течение периода T $u(t) = \text{const}$ (рис. 3)

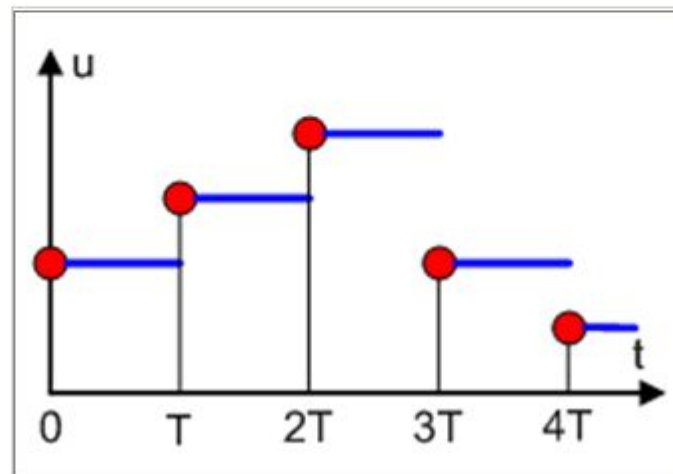


Рис. 3.

8. Дискретные системы

- Рассмотрим произвольно взятый интервал времени (рис. 4)

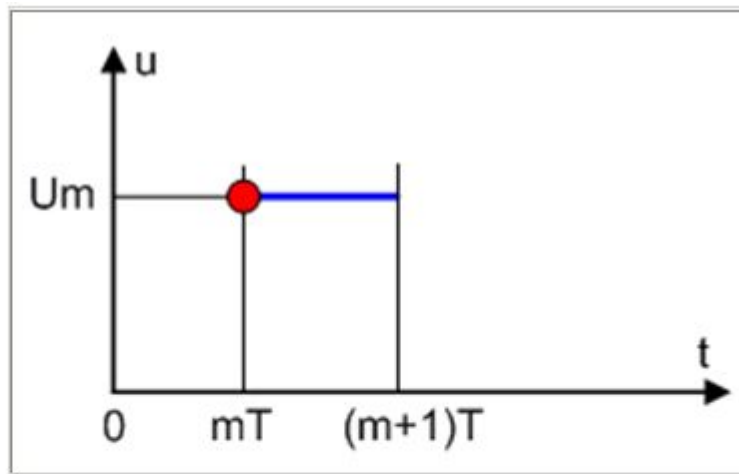


Рис. 4.

Можем

записать

следующие

соотношения:

$$u(t) = u_m = \text{const},$$

$$u(t) = k \cdot \varepsilon(t),$$

$$\varepsilon(t) = g(t) - x(t).$$

Пусть $g(t) = 0$, тогда $u_m = -k \cdot x(mT)$.

8. Дискретные системы

Для рассматриваемого временного отрезка можем записать дифференциальное уравнение:

$$\frac{dx}{dt} = u_m \Rightarrow x(t) = u_m \cdot t + c.$$

Найдем постоянную c , рассматривая момент времени $t = mT$:

$$x(mT) = -k \cdot x(mT) \cdot mT + c,$$

$$c = x(mT)(1 + kmT).$$

В результате получаем выражение для $x(t)$:

$$x(t) = x(mT)(1 - kt + kmT).$$

Рассмотрим момент времени $t = (m+1)T$:

$$x[(m+1)T] = x[mT](1 - k(m+1)T + kmT),$$

$$x[(m+1)T] = x[mT](1 - kmT - kT + kmT),$$

$$x[(m+1)T] = x[mT](1 - kT).$$

8. Дискретные системы

Для момента времени $t = (m+2)T$, будем иметь:
$$x[(m+2)T] = x[(m+1)T] \cdot (1-kT) = x[mT] \cdot (1-kT)^2$$

Для произвольного момента времени:
$$x[nT] = x_0(1-kT)^n,$$

где x_0 определяется начальными условиями.

Рассмотрим различные варианты:

Вариант 1. $kT < 1$, например $kT = 0.5$:

Таблица 1

n	$x[nT]$
0	x_0
1	$0,5x_0$
2	$0,25x_0$

8. Дискретные системы

В этом случае будем иметь некое подобие аperiodического процесса (рис. 5).

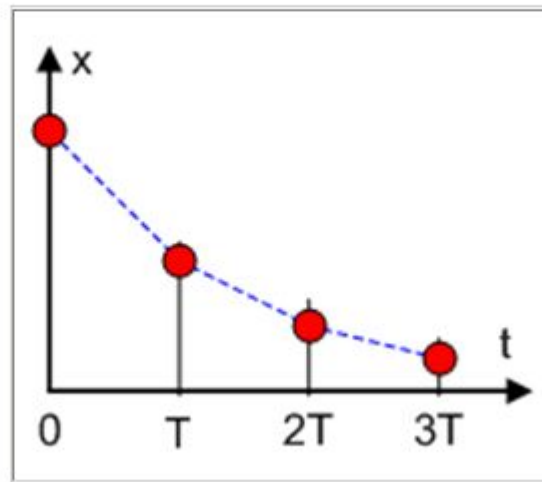


Рис. 5.

8. Дискретные системы

Вариант 2. $1 < kT < 2$, например $kT = 1,5$:

Таблица 2

n	$x[nT]$
0	x_0
1	$-0,5x_0$
2	$0,25x_0$
3	$-0,125x_0$

8. Дискретные системы

В этом случае будем иметь колебательный сходящийся (устойчивый) процесс (рис. 6)

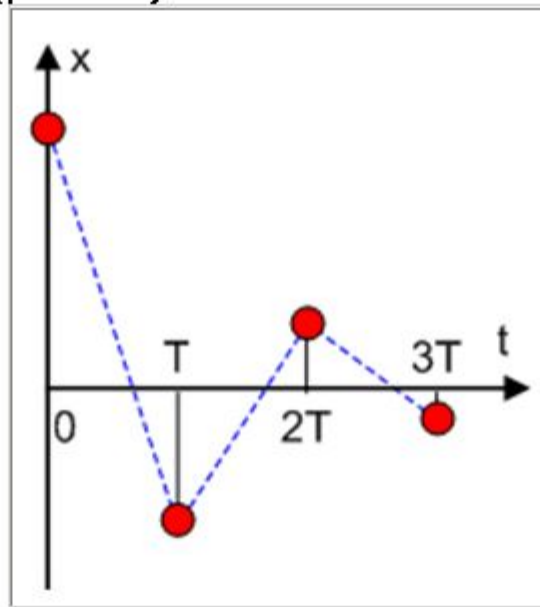


Рис. 6.

8. Дискретные системы

Вариант 3. $kT > 2$, например $kT = 2,5$:

Таблица 3

n	$x[nT]$
0	x_0
1	$-1,5x_0$
2	$2,25x_0$
3	$-3,375x_0$

8. Дискретные системы

В этом случае будем иметь колебательный расходящийся (неустойчивый) процесс (рис. 7)

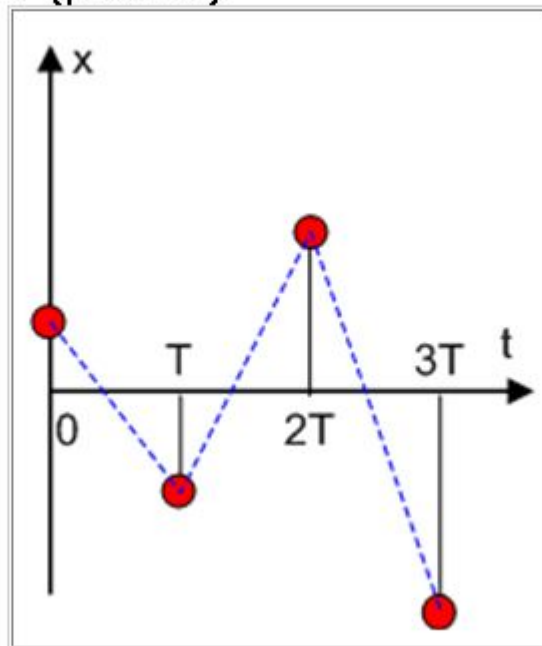


Рис. 7.

8. Дискретные системы

Таким образом, мы видим, что в цифровой системе устойчивость, точность и качество управления зависят от параметров системы, и прежде всего, от значения T (периода дискретизации, который определяется временем работы алгоритма управления). В зависимости от значения величины kT система может стать неустойчивой, чем больше значение этой величины, тем хуже вид переходного процесса. Существуют ограничения на значение kT , то есть существует предельное значение kT , при превышении которого система теряет устойчивость. Следовательно, при фиксированном T существует ограничение на значение коэффициента усиления k . Если же предположить, что фиксирован коэффициент усиления k , показатели системы ухудшаются при увеличении периода дискретизации T , и мы можем сказать, что при увеличении T выше некоего предельного значения, система теряет устойчивость.

8. Дискретные системы

- На основании этого можно сделать вывод, что при использовании линейных алгоритмов управления, цифровая система всегда хуже непрерывной системы с точки зрения процесса управления. Одна из причин такого положения заключается в том, что в дискретной системе сигнал обратной связи вводится в дискретные моменты времени, следовательно в течение интервала времени T система существует без обратной связи.

8. Дискретные системы

Сравнение по общетехническим характеристикам

Таблица 4

Параметр сравнения	Непрерывная система	Дискретная система
Масса и габариты	Приблизительно одинаковы	Приблизительно одинаковы
Энергопотребление	Хуже	Лучше
Надежность	Приблизительно одинакова	Приблизительно одинакова

Сравнение по технико-экономическим характеристикам

Таблица 5

Параметр сравнение	Непрерывная система	Дискретная система
Стоимость разработки	Приблизительно одинакова	Приблизительно одинакова
Стоимость модернизации	Выше	Ниже

8. Дискретные системы

Существует также зависимость эффективности непрерывной и дискретной реализации блока управления от сложности реализуемого алгоритма (рис. 8).

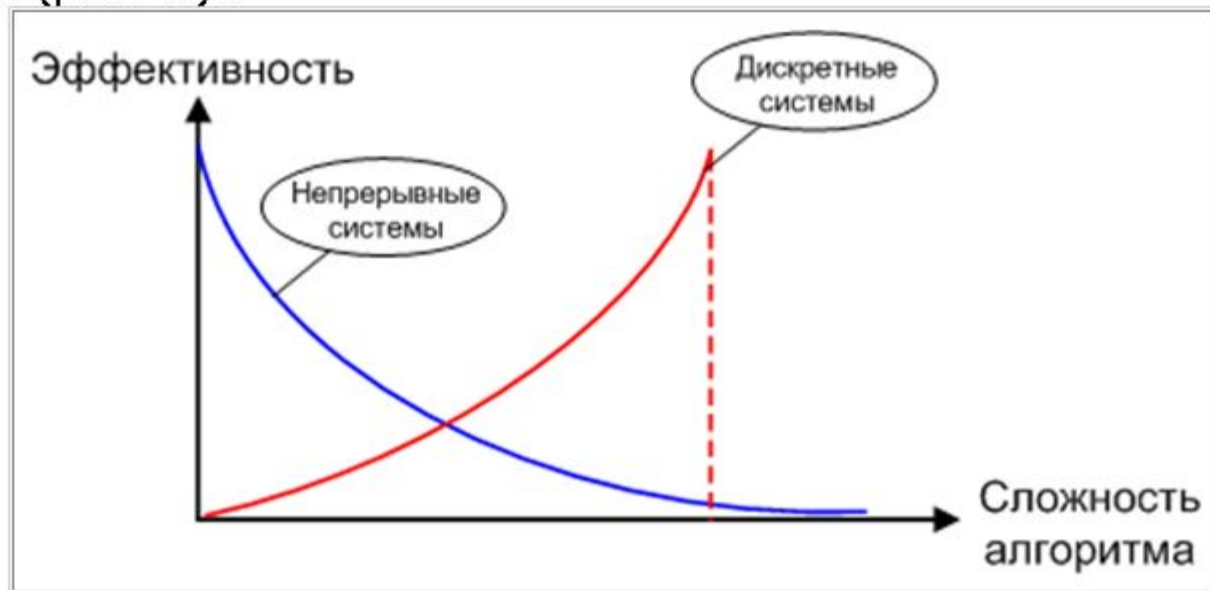


Рис. 8.

8. Дискретные системы

- Из графика видно, что по мере усложнения алгоритма, эффективность непрерывной системы уменьшается, так как возрастает число включенных в нее электронных элементов, а следовательно, усложняется конструкция, увеличиваются масса, габариты, стоимость, уменьшается точность и общая надежность. Для дискретной же системы усложнение алгоритма приводит лишь к изменению программы, что не влияет ни на массу и габариты, ни на стоимость технической реализации, так как не меняется конструкция самого блока управления. Правда, при дальнейшем усложнении алгоритма наступает критический момент, когда эффективность дискретной системы резко падает. Это связано с чрезмерным усложнением программы, сложностью ее отладки и уменьшением общей надежности системы.

8. Дискретные системы

- **Вывод:** Дискретная система управления имеет два основных преимущества по сравнению с непрерывной системой:
- Простота модернизации (изменения алгоритма);
- Большая эффективность при использовании сложных (нелинейных, адаптивных) алгоритмов управления.

8. Дискретные системы

- Определение, устройство и принцип действия микропроцессора
- Микропроцессором называется функционально законченное программно управляемое устройство, предназначенное для обработки информации и управления процессом этой обработки и выполненное в виде большой интегральной схемы.
- Микропроцессоры подразделяются на универсальные (применяемые для решения любых задач) и специализированные (для решения ограниченного круга задач).

8. Дискретные системы

- Основными характеристиками микропроцессора являются его разрядность и тактовая частота, определяющая время выполнения микропроцессором отдельных операций по обработке данных.
- В основу устройства и принципа действия микропроцессора положены два постулата:
- Наиболее эффективной для представления чисел внутри ЭВМ является двоичная система счисления.
- Любой алгоритм обработки информации может быть реализован в виде набора простейших арифметических операций.

8. Дискретные системы

Системы счисления

Система счисления — способ представления количественных величин с помощью специальных знаков, например цифр. Наиболее распространены позиционные системы счисления.

В позиционной системе счисления любое число может быть представлено в виде

$$A = \sum_{i=0}^n a_i q^i, \quad (1)$$

где A — представляемая количественная величина (число), a_i — знак, используемый для его представления и занимающий i -тую позицию, q — основание системы счисления, n — количество разрядов (знаков), используемых для представления числа.

8. Дискретные системы

В повседневной жизни мы используем десятичную систему счисления, для которой $q=10$.

Пример 1

$$1234 = 1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0$$

Максимальное число, которое может быть представлено n разрядами в системе счисления с основанием q можно вычислить следующим образом:

$$A_{\max} = q^n - 1, \quad (2)$$

т.е. n разрядов в системе счисления с основанием q позволяют представить числа в диапазоне $0 \dots A_{\max}$. Так, напрмер, с помощью одного разряда в десятичной системе счисления можно представить числа от 0 до 9 ($A_{\max}=9$), с помощью двух разрядов — от 0 до 99 ($A_{\max}=99$) и т.д.

8. Дискретные системы

Система с основанием 2 ($q=2$) называется двоичной системой счисления. Один разряд двоичной системы счисления может иметь лишь два значения: 0 или 1. Число, представленное в двоичной системе счисления, называется двоичным числом.

Попробуем определить, какая система счисления (по какому основанию) наиболее эффективна с точки зрения представления данных.

Итак, пусть мы имеем систему счисления с основанием q . Пользуясь формулой для вычисления $A_{\max}$, мы можем определить, какое количество разрядов необходимо для представления заданного $A_{\max}$:

$$n = \log_q(A_{\max} + 1). \quad (3)$$

8. Дискретные системы

Система с основанием 2 ($q=2$) называется двоичной системой счисления. Один разряд двоичной системы счисления может иметь лишь два значения: 0 или 1. Число, представленное в двоичной системе счисления, называется двоичным числом.

Попробуем определить, какая система счисления (по какому основанию) наиболее эффективна с точки зрения представления данных.

Итак, пусть мы имеем систему счисления с основанием q . Пользуясь формулой для вычисления $A_{\max}$, мы можем определить, какое количество разрядов необходимо для представления заданного $A_{\max}$:

$$n = \log_q(A_{\max} + 1). \quad (3)$$

8. Дискретные системы

Для представления числа внутри ЭВМ необходимо определенное количество элементов. Оно может быть оценено по следующей формуле:

$$D_q = q \cdot n = q \cdot \log_q (A_{\max} + 1), \quad (4)$$

для двоичной системы

$$D_2 = 2 \cdot \log_2 (A_{\max} + 1).$$

Будем оценивать эффективность различных систем счисления с точки зрения представления информации внутри ЭВМ в сравнении с двоичной системой счисления, то есть в качестве критерия эффективности будем использовать

$$F = \frac{D_q}{D_2} \quad (5)$$

8. Дискретные системы

Если показатель F будет меньше 1, то соответствующая система счисления более эффективна, чем двоичная (см. табл. 1).

Таблица 1

q	2	3	4	6	8	10
F	1	0,946	1	1,148	1,33	1,505

Из таблицы видно, что система счисления по основанию 3 более эффективна, однако она не нашла применения по причине сложности реализации запоминающих устройств, которые должны были бы в этом случае состоять из запоминающих элементов, имеющих три состояния.

8. Дискретные системы

Таким образом, двоичная система представляется наиболее эффективной для хранения информации внутри ЭВМ с учетом относительной простоты ее технической реализации.

Большое распространение получила также шестнадцатеричная система счисления ($q = 16$). Для представления числовых величин в ней используются цифры от 0 до 9 и шесть первых заглавных букв латинского алфавита (A, B, C, D, E, F). Шестнадцатеричная система позволяет представлять числа более компактно, нежели двоичная. В то же время, перевод из двоичной системы в шестнадцатеричную намного проще, чем в десятичную. Таким образом, шестнадцатеричная система используется для более компактной записи двоичных чисел (см. табл. 2).

8. Дискретные системы

Таблица 2

Число в десятичной системе счисления	Число в двоичной системе счисления	Число в шестнадцатеричной системе счисления
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	2
3	0011	3
4	0100	4
5	0101	5
6	0110	6
7	0111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F

8. Дискретные системы

- При записи числа с использованием шестнадцатеричной системы счисления, на конце числа обычно ставится буква h, при записи в двоичной — буква b. например 1000 — число в десятичной системе счисления, 1000h — в шестнадцатеричной, 1000b — в двоичной.

8. Дискретные системы

- Реализация алгоритмов в виде элементарных операций
- Пример 1. Преобразование координат (рис. 1).

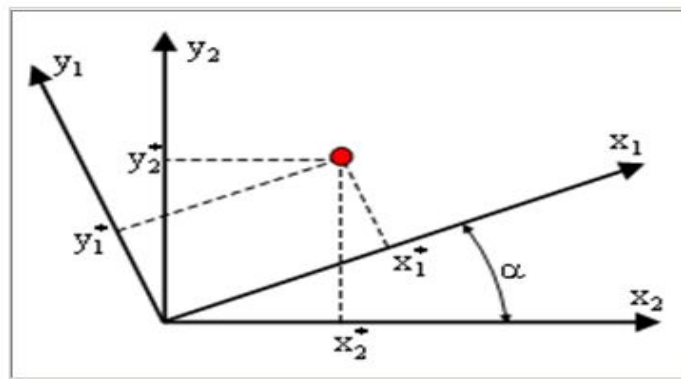


Рис. 1.

Известны координаты точки в системе координат x_1, y_1 (x_1^*, y_1^*).
Необходимо определить координаты точки в система координат x_2, y_2 , повернутой на угол α (x_2^*, y_2^*):

$$\begin{bmatrix} x_2^* \\ y_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1^* \\ y_1^* \end{bmatrix},$$

8. Дискретные системы

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2!} + \frac{\alpha^4}{4!} - \dots,$$

$$\sin \alpha = \alpha - \frac{\alpha^3}{3!} + \frac{\alpha^5}{5!} - \dots$$

Таким образом, задача преобразования координат сведена к выполнению элементарных арифметических операций (сложение, вычитание, умножение, деление).

8. Дискретные системы

Пример 2. Пропорциональный регулятор (рис. 2).

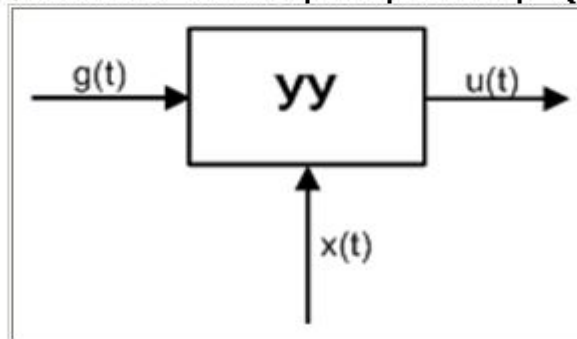


Рис. 2.

$$u(t) = k \cdot \varepsilon(t),$$

$$\varepsilon(t) = g(t) - x(t),$$

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + a_1 \frac{du}{dt} + a_2 u = \varepsilon.$$

Выполним

замену

переменных:

$$u = u_1; \quad \frac{du}{dt} = u_2,$$

тогда

получаем

следующую

систему:

$$\frac{du_1}{dt} = u_2,$$

8. Дискретные системы

$$\frac{du_2}{dt} = \varepsilon - a_1 u_1 - a_2 u_2.$$

Запишем выражения для приблизительного вычисления производной:

$$\frac{du}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{u(t+\Delta t) - u(t)}{\Delta t};$$

$$\frac{du}{dt} \approx \frac{u(t+\Delta t) - u(t)}{\Delta t},$$

$$\frac{du_1}{dt} \approx \frac{u_1(t+\Delta t) - u_1(t)}{\Delta t} = u_2(t),$$

$$u_1(t+\Delta t) = u_1(t) + u_2(t) \cdot \Delta t,$$

где $\Delta t = h$ — шаг интегрирования.

В результате получим следующую схему интегрирования:

$$u_1(h) = u_1(0) + u_2(0) \cdot h,$$

$$u_1(2h) = u_1(h) + u_2(h) \cdot h.$$

и т.д.

Эта задача также сводится к простейшим арифметическим операциям.

8. Дискретные системы

- **Обобщенная структурная схема микропроцессора**
- Обобщенная структурная схема микропроцессора представлена на рис. 3.



Рис. 3.

8. Дискретные системы

- Микропроцессор состоит из трех основных функциональных блоков:
- Арифметическо-логическое устройство (АЛУ). Выполняет простейшие арифметические и логические операции над данными, представленными в двоичном коде, то есть занимается собственно обработкой данных.
- Внутреннее запоминающее устройство (ВЗУ). Предназначено для временного хранения данных в процессе обработки.
- Устройство управления микропроцессора управляет процессом обработки данных и самим микропроцессором.

8. Дискретные системы

- Обобщенная структура микропроцессорной системы
- Обобщенная структура микропроцессорной системы (МПС) представлена на рис. 1.



Рис. 1.

8. Дискретные системы

- В состав МПС входят следующие блоки:
- Микропроцессор (МП) — выполняет обработку информации и управляет работой МПС.
- Запоминающее устройство (ЗУ) — служит для хранения информации (прежде всего программы), а также других данных, используемых в процессе расчетов, или результатов расчетов.
- Устройство ввода-вывода (УВВ) предназначено для организации обмена информацией между МПС и другими устройствами (датчиками, усилителями, устройствами ввода и т.п.).
- УВВ может отсутствовать в МПС, наличие ЗУ и микропроцессора является обязательным.
- Внешние линии связи предназначены для передачи информации за пределы микропроцессорной системы и приема информации от внешних устройств.

8. Дискретные системы

Понятие обмена данными

Обмен данными (информацией) — передача данных от одного устройства к другому в МПС.

Передача одной порции данных называется циклом обмена.

Минимальной единицей информации является бит, соответствующий одному двоичному разряду. 8 бит (8 двоичных разрядов) образуют байт.

2^{10} байт = 1 килобайт

2^{20} байт = 1 мегабайт

Машинное слово — объем данных, который может быть обработан микропроцессором как единое целое. Размер машинного слова соответствует разрядности микропроцессора, то есть для 8-ти разрядного МП машинное слово составляют 8 бит, для 16-ти разрядного — 16 бит и т.д.

8. Дискретные системы

- Обмен данными в микропроцессорной системе
- Для передачи данных в МПС используются электрические линии связи. Так как вся информация в МПС представлена в двоичном виде, по линиям связи она также передается в двоичном виде. То есть передается либо "0" (логический 0) либо "1" (логическая 1). Передаче нуля или единицы соответствуют различные уровни напряжения, устанавливаемые на линии связи. На рис. 1 и рис. 2 представлены два различных варианта кодировки значений "0" и "1" уровнями напряжения.