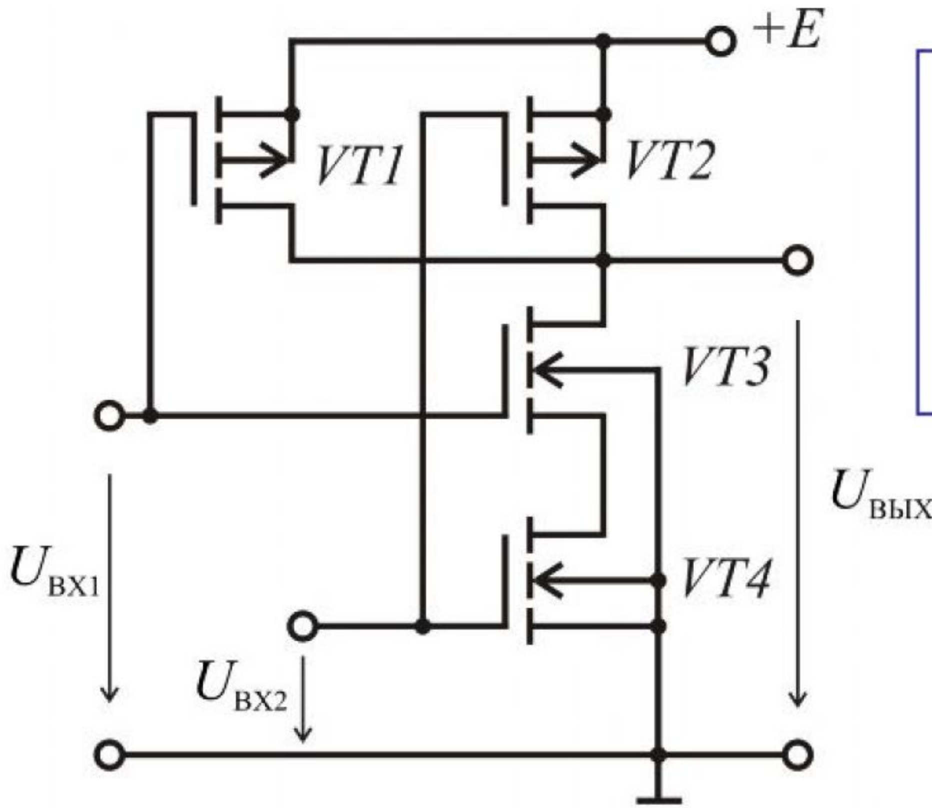
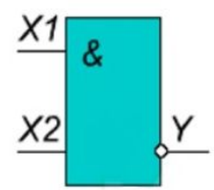
Теория Автоматического Управления
Часть 6

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**

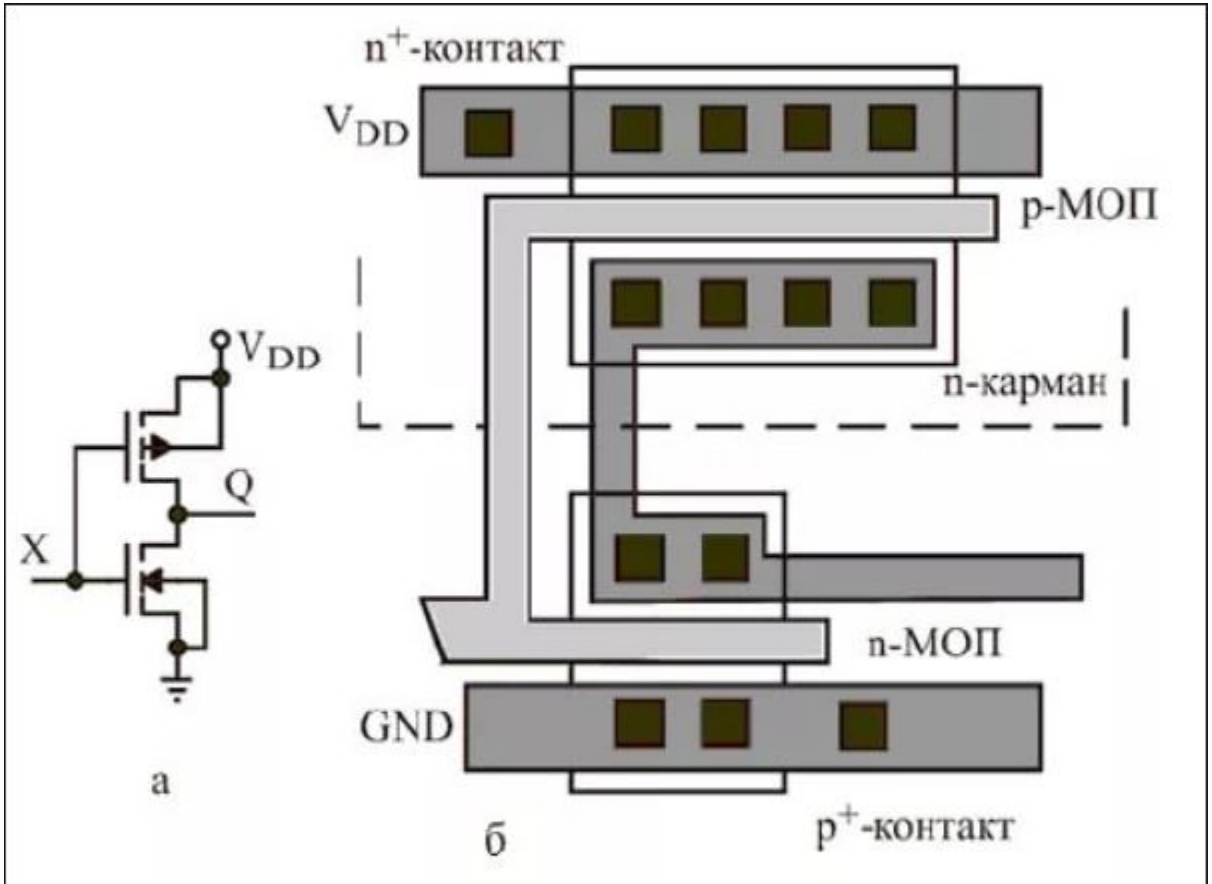




X1	X2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

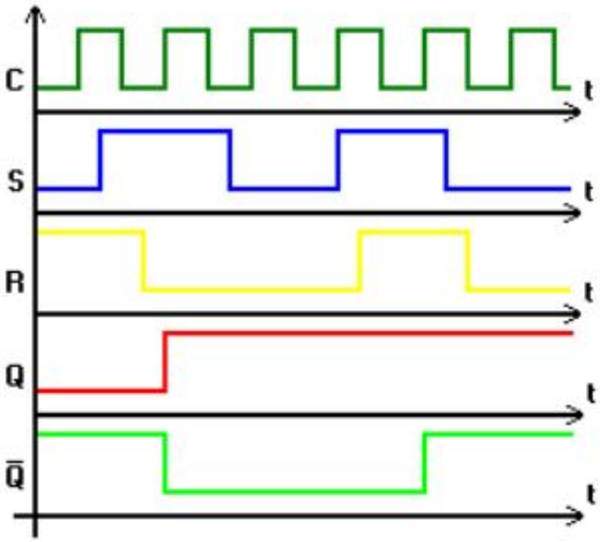
8. Дискретные системы

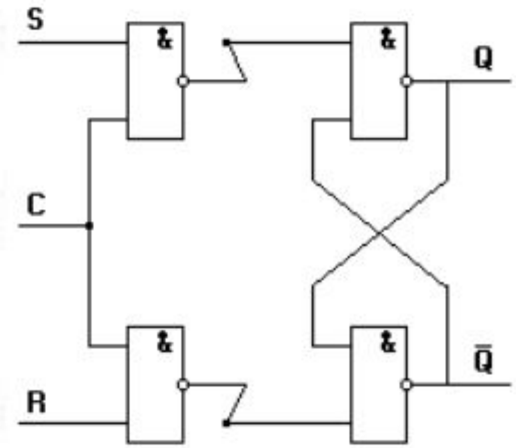
- Элементы КМОП-логики в интегральной микросхеме

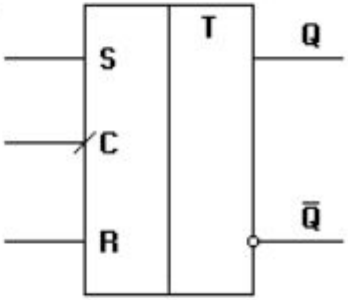


8. Дискретные системы

- 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):

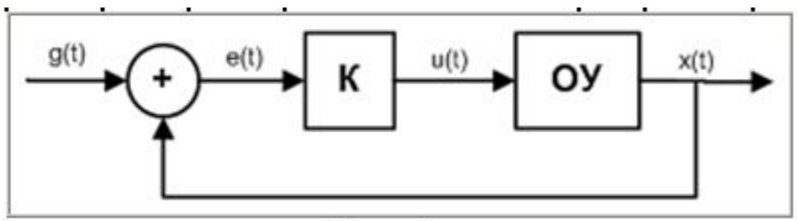


Рис. 2.

- **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

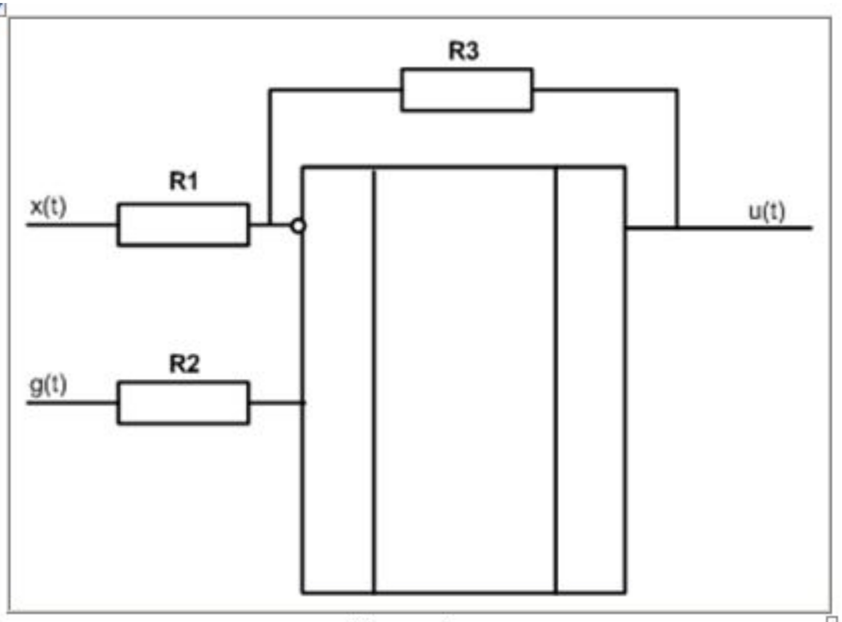


Рис. 3.

8. Дискретные системы

- **<u>Вариант 2.</u>** Реализация на основе специализированной ЭВМ (рис. 4):

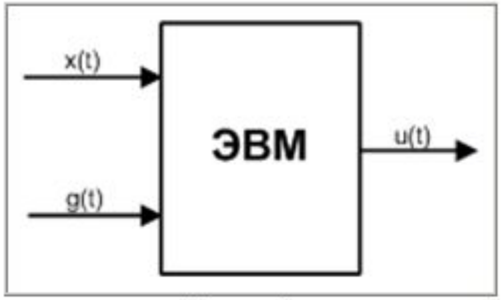


Рис. 4.

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

8. Дискретные системы

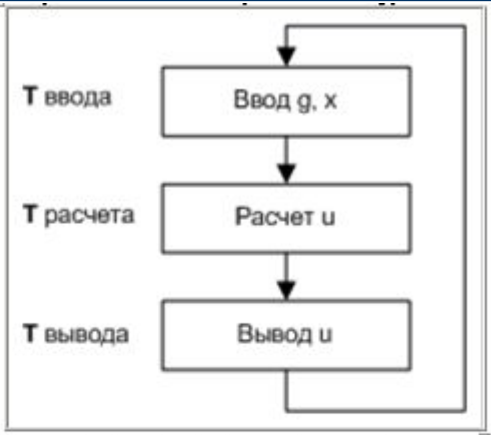


Рис. 5. Алгоритм работы корректирующего устройства

- 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):

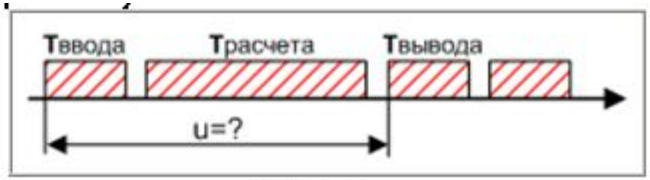


Рис. 6.

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 :

$$T = T_{\text{ввода}} + T_{\text{расчета}} + T_{\text{вывода}}.$$

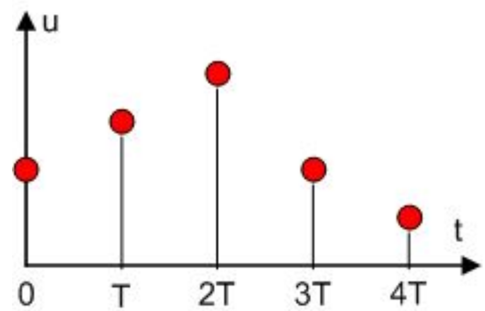


Рис. 7.

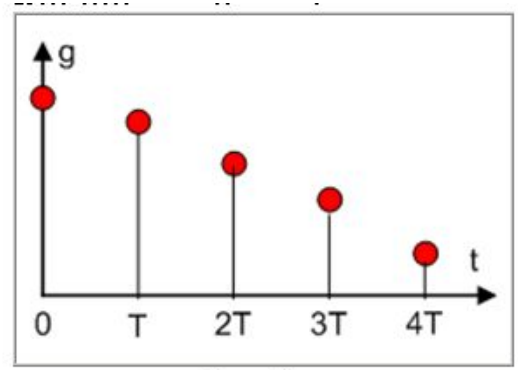


Рис. 8.

- 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 $g(t)$ и $x(t)$). В промежутках между ними (на протяжении фазы расчета и вывода) ЭВМ не имеет информации об истинном значении величин $g(t)$ и $x(t)$.

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: $x(t) = x_{собств}(t) + x_{вын}(t)$, при $t \to \infty$ $x_{собств}(t) \to 0$;
2. Точность: $\varepsilon_{устан} = \lim\limits_{t \to \infty} \varepsilon(t)$;
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

<u>Сравнение по общетехническим характеристикам</u>

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

<u>Сравнение по технико-экономическим параметрам</u>

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

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

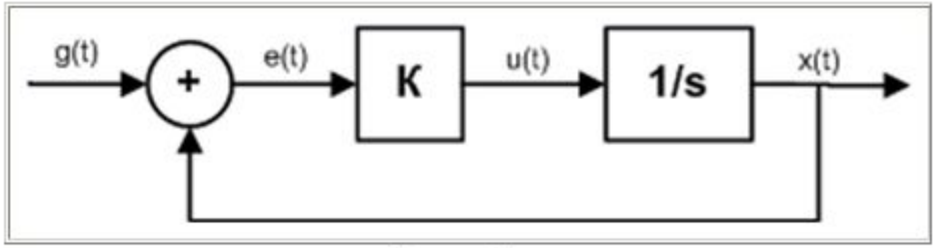


Рис. 1.

8. Дискретные системы

Сравнение с точки зрения процесса управления

Рассмотрим вначале вариант непрерывной реализации блока управления.

Устойчивость

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

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

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 $g(t)=\mathrm{const}$. Если $g(t)=g_0 t$, ошибка обратно пропорциональна коэффициенту усиления k

8. Дискретные системы

Переходной процесс

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

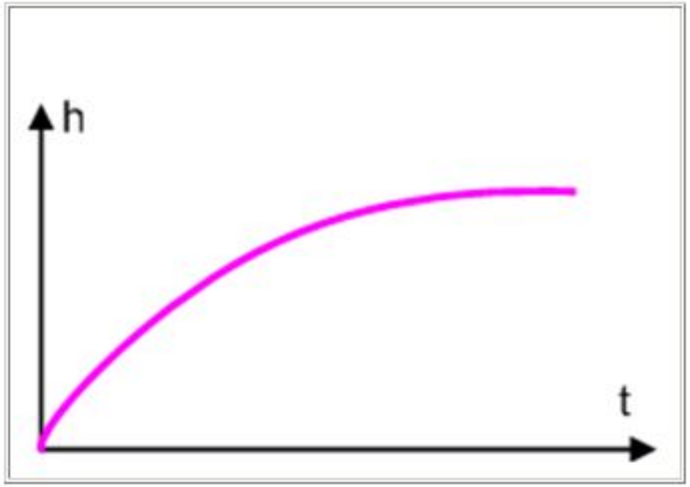


Рис. 2.

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)

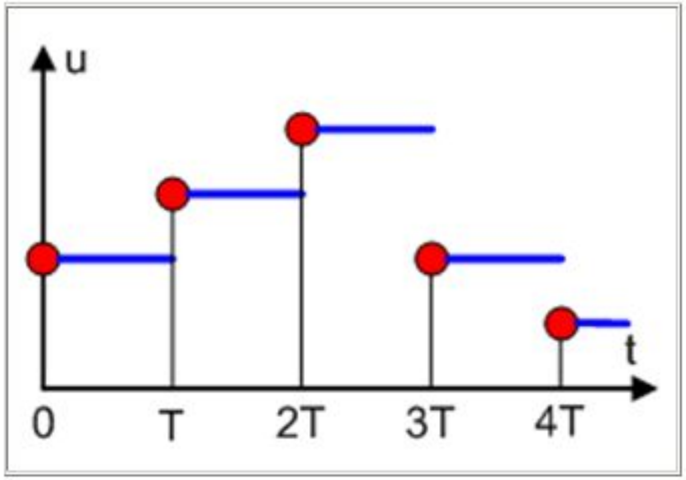


Рис. 3.

8. Дискретные системы

- Рассмотрим произвольно взятый интервал времени (рис. 4)

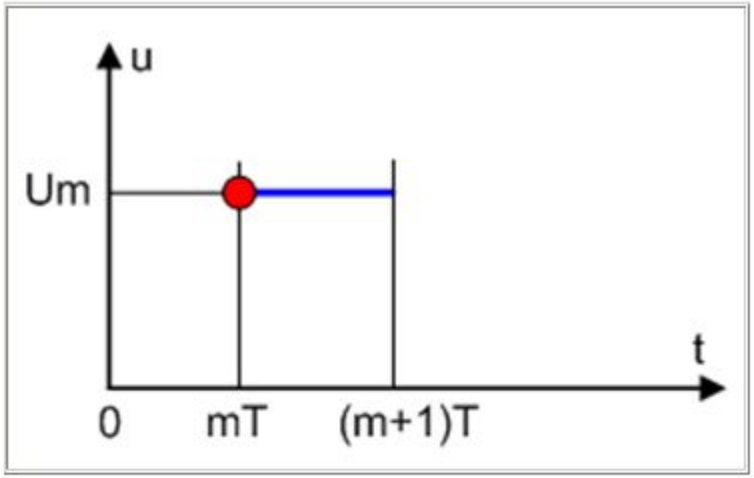


Рис. 4.

Можем записать следующие соотношения:

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

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

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

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

8. Дискретные системы

Для рассматриваемого временного отрезка можем записать дифференциальное уравнение:

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

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

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

$$\mathrm{c} = x(mT)(1 + kmT).$$

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 апериодического процесса (рис. 5).

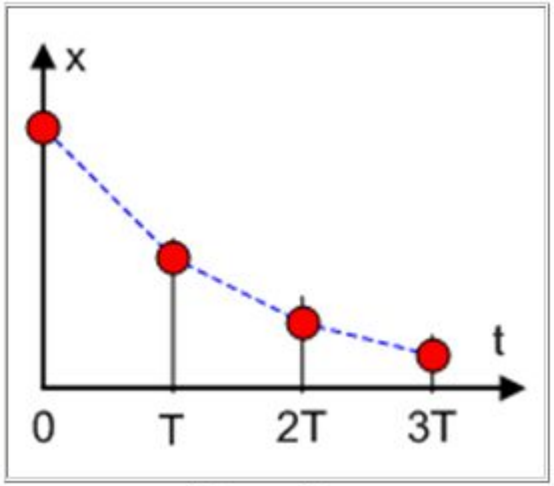


Рис. 5.

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)

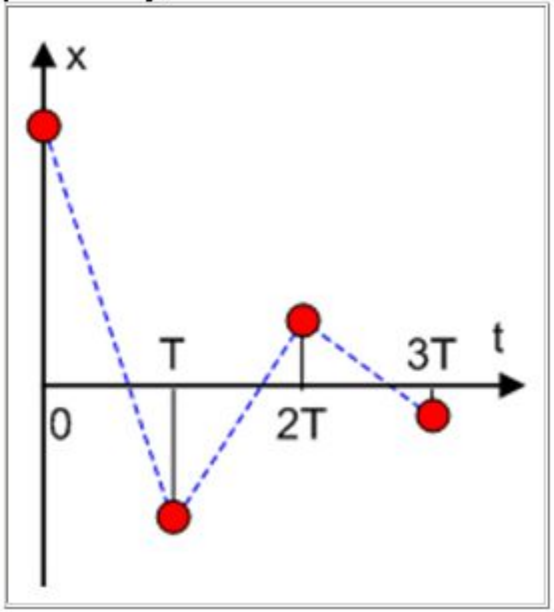


Рис. 6.

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)

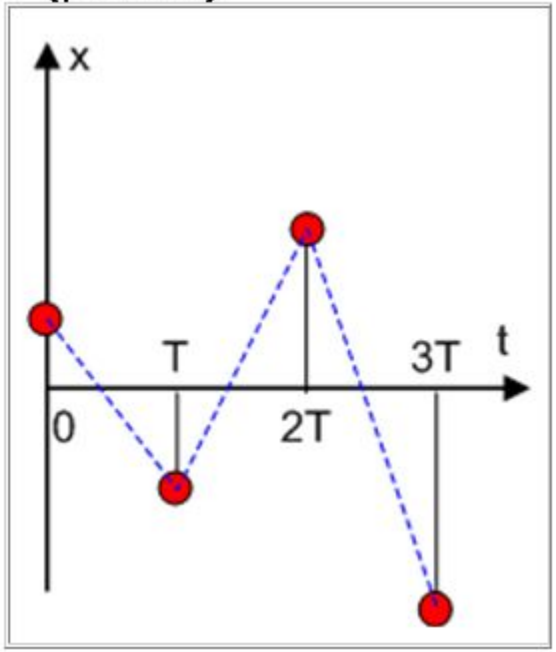


Рис. 7.

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).

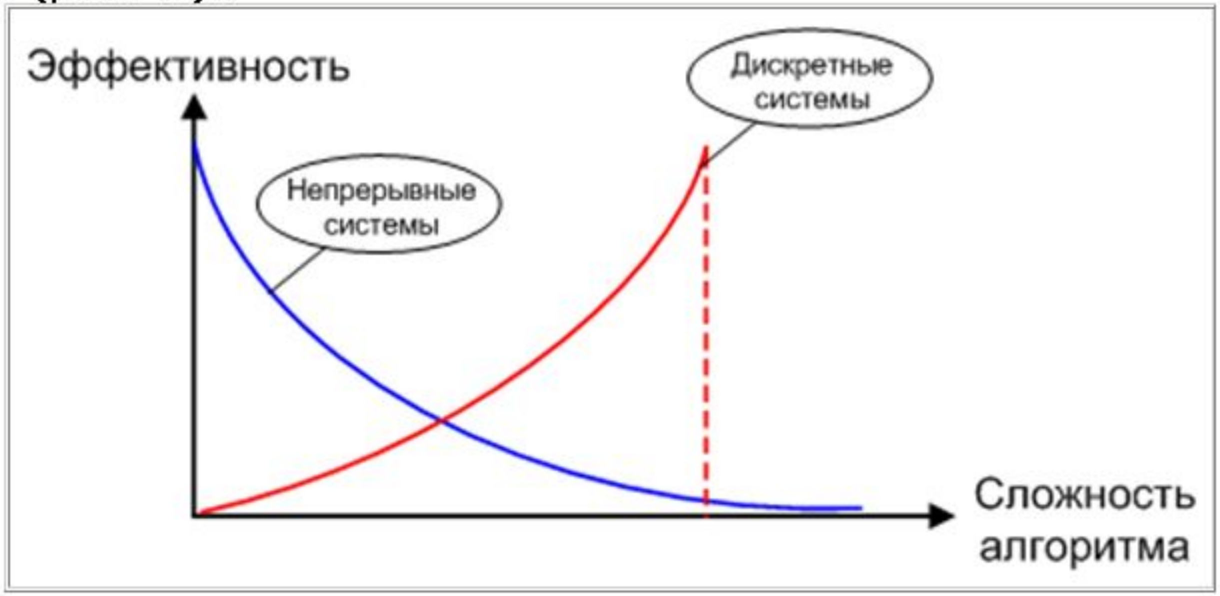


Рис. 8.

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

- **<u>Вывод:</u>** 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

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

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:

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

т.е. n разрядов в системе счисления с основанием q позволяют представить числа в диапазоне $0 \ldots A_{\max}$. 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 $A_{\max}$:

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

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 $A_{\max}$:

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

8. Дискретные системы

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

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

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

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

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). Шестнадцатиричная 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**
- **<u>Пример 1.</u>** Преобразование координат (рис. 1).

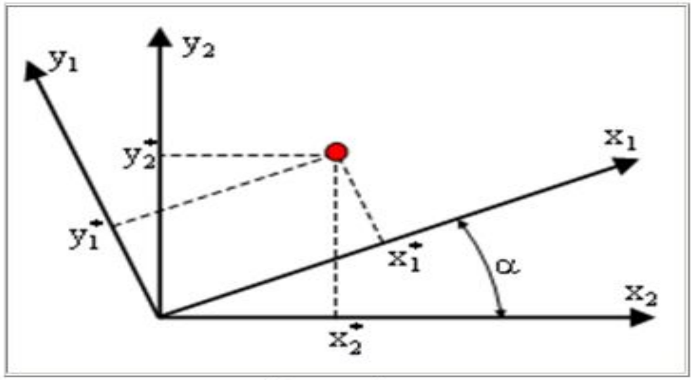


Рис. 1.

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

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

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

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

8. Дискретные системы

Пример 2. Пропорциональный регулятор (рис. 2).

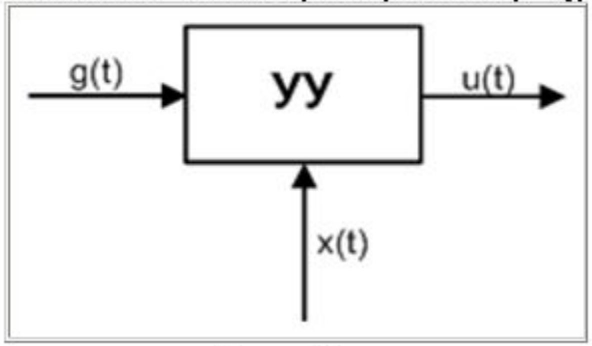


Рис. 2.

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

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

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

Выполним замену переменных:

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

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:

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

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

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

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

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.