

Лабораторная работа №4

Прохождение сигнала в цифровой системе управления

Цель работы: исследование сигналов в цифровых системах управления.

Теоретические сведения

Основной особенностью цифровых систем управления является способ обработки информации. В их состав входят цифровые вычислительные устройства (ЭВМ и цифровые контроллеры), осуществляющие обработку цифровой информации и формирующее управляющее воздействие.

Цифровые регуляторы обладают многими преимуществами по сравнению с классическими непрерывными:

- отсутствие дрейфа параметров элементов;
- возможность реализовать сложные законы управления;
- возможность оперативной перестройки, настройка сводится просто к замене алгоритма обработки измеряемых сигналов.

Сигналы в цифровой системе управления различны по физической природе и способам кодирования. В силу дискретности процессов в цифровых вычислительных устройствах и конечности их разрядной сетки, ЭВМ относится к дискретным блокам, сигнал на ее выходе является квантованным по времени и уровню. С другой стороны, объект управления чаще всего имеет непрерывный характер.

Укрупненная схема рассматриваемой системы представлена на рисунке 1. Она включает в себя цифровой блок управления и аналоговые элементы (кинематический механизм, двигатель, усилители, измерительные устройства). Последний блок по типу сигналов относится к непрерывным блокам (НБ). В блок управления входит ЭВМ и устройства ввода-вывода информации (УВВ) или устройства сопряжения с объектом (УСО), представленные цифро-аналоговыми и аналого-цифровыми преобразователями и обеспечивающие сопряжение цифровой и аналоговой частей системы управления.

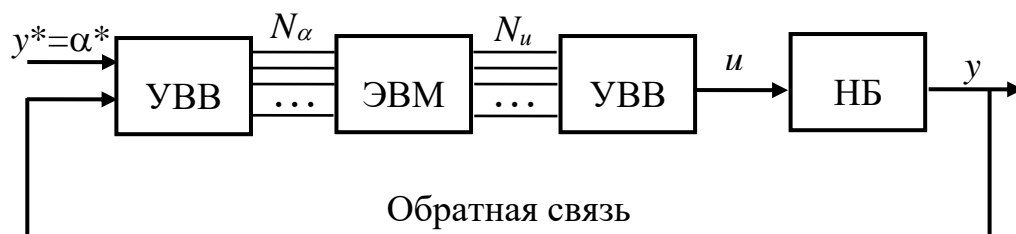


Рисунок 1 – Укрупненная схема цифровой системы управления

В функции цифрового блока управления входит расчет управляющего сигнала $u(t)$ на основании задания желаемого (эталонного) значения α^* и текущей информации о состоянии объекта управления $\alpha(t)$. Простейший алгоритм расчета управляющего сигнала имеет вид

$$u(t) = K (\alpha^* - \alpha(t)),$$

где K - постоянный коэффициент, т.е. управляющий сигнал пропорционален текущему значению отклонения $\alpha^* - \alpha(t)$.

На рисунке 2 представлена эквивалентная схема цифровой системы, используемая для моделирования. Кроме звеньев, описываемых линейными дифференциальными уравнениями, она имеет в составе импульсный элемент (ИЭ), преобразующий дискретное входное воздействие в последовательность импульсов. Для отображения дискретизации по времени в структуру системы вводится квантователь (ключ), замыкание которого происходит только в дискретные моменты времени. Для расчета управляющего воздействия требуется время, поэтому в структуру системы включают также элемент задержки (ЭЗ). Если фоновые задачи отсутствуют, то задержка τ равна интервалу дискретности T и представляет собой время обновления входных данных. Непрерывная часть системы представляет собой совокупность элементарных непрерывных звеньев, обычно описывающих работу объекта управления (ОУ).

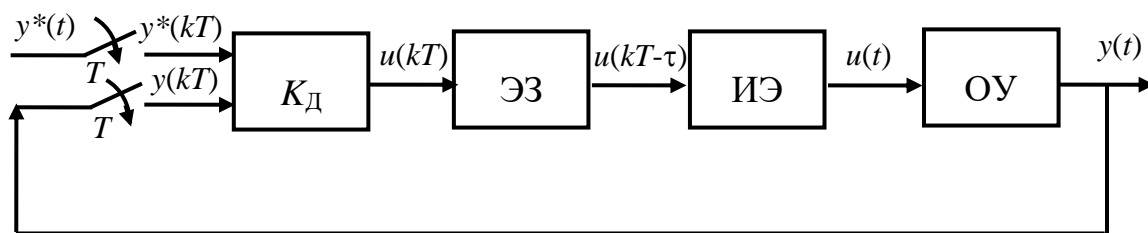


Рисунок 2 – Эквивалентная схема цифровой системы

В процессе преобразования дискретного сигнала в непрерывный ИЭ осуществляет импульсную модуляцию. На вход импульсного элемента поступает сигнал $u^*(t)$, который появляется в дискретные моменты времени $t = t_k = kT$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), где T – интервал дискретности. В результате импульсной модуляции изменяется амплитуда и ширина импульса. Форма импульса в общем случае может быть произвольной. В большинстве дискретных систем управления высшие гармоники в сигнале $u^*(t)$, появляющиеся вследствие операции квантования по времени, должны быть отфильтрованы прежде, чем сигнал будет приложен к непрерывной части системы. Обычно системы управления состоят из элементов, которые спроектированы в расчете на непрерывные входные сигналы, поэтому необходимо сглаживание импульсных сигналов, иначе аналоговые элементы системы могут подвергаться чрезмерному износу. Для сопряжения цифровых и аналоговых элементов используют устройство восстановления данных (фильтр).

Для получения идентичного непрерывного сигнала квантованный по времени сигнал необходимо пропустить через идеальный низкочастотный фильтр с амплитудной характеристикой, показанной на рисунке 3. Однако, такая идеальная характеристика фильтра

физически нереализуема. Поэтому на практике невозможно точно восстановить квантованный по времени непрерывный сигнал. Кроме того, более точная аппроксимация исходной функции времени требует большей временной задержки, что может привести к неустойчивости системы. Следовательно, проектирование устройства восстановления данных связано с поиском компромисса между требованиями устойчивости и желанием получить точную аппроксимацию непрерывного сигнала.

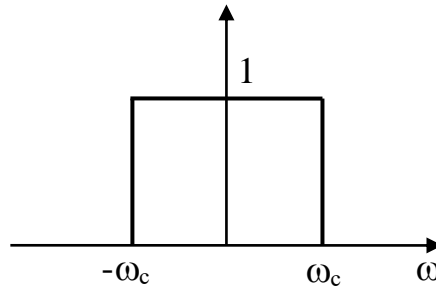


Рисунок 3 – Амплитудная характеристика идеального фильтра

Задача восстановления данных состоит в том, чтобы при имеющемся ряде чисел $u(0)$, $u(T)$, ..., $u(kT)$, ... или последовательности импульсов с амплитудой в моменты времени $t = kT$, равной $u(kT)$ при $k = 0, 1, 2, \dots$, восстановить непрерывный сигнал $u(t)$, $t \geq 0$. Этот процесс может рассматриваться как процесс экстраполяции, т.к. непрерывный сигнал восстанавливается по информации, доступной только в предшествующие моменты времени. Например, оценивание исходного сигнала $u(t)$ между двумя последовательными моментами выборки kT и $(k + 1)T$ производится на основании значений $u(t)$ во все предшествующие моменты выборки kT , $(k - 1)T$, $(k - 2)T$, ..., 0; т.е. по значениям $u(kT)$, $u(k - 1)T$, $u(k - 2)T$, ..., $u(0)$.

Аппроксимация базируется на разложении $u(t)$ в ряд на интервале между моментами выборки $u(kT)$ и $u(k - 1)T$:

$$u_k(t) = u(kT) + u'(kT)(t - KT) + \frac{u''(kT)}{2!}(t - KT)^2 + \dots, \quad (1)$$

где $u_k(t) = u(t)$ для $kT \leq t < (k+1)T$,

$$u'(kT) = \left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=kT},$$

$$u''(kT) = \left. \frac{d^2u(t)}{dt^2} \right|_{t=kT}.$$

Для вычисления коэффициентов данного ряда требуются значения производных функции $u(t)$ в дискретные моменты времени. Поскольку единственная доступная информация об $u(t)$ – это ее значения в моменты выборки, то производные $u(t)$ оцениваются

по значениям $u(kT)$. Выражение, включающее только два дискретных значения, дает оценку первой производной $u(t)$ в моменты времени $t = kT$ в виде

$$u'(kT) = \frac{1}{T}(u(kT) - u((k-1)T)). \quad (2)$$

Аппроксимированное значение второй производной $u(t)$ при $t = kT$

$$u''(kT) = \frac{1}{T}(u'(kT) - u'((k-1)T)) = \frac{1}{T^2}(u(kT) - 2u((k-1)T) + u((k-2)T)). \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) видно, что чем выше порядок производной, которую нужно аппроксимировать, тем больше требуется предшествующих выборок: число предшествующих выборок, необходимых для аппроксимации значения $u^{(n)}(kT)$ равно $(n+1)$, где n – число аппроксимированных значений производных функции $u(t)$.

Таким образом, описанное выше экстраполирующее устройство состоит из набора временных задержек, число которых зависит от точности оценки временной функции $u(t)$. При определенных параметрах систем автоматического управления временное запаздывание нарушает устойчивость замкнутой системы. Поэтому использование производных высоких порядков для более точной экстраполяции и приводит к затруднениям в сохранении устойчивости системы. Кроме того, экстраполяция высокого порядка требует сложных, дорогостоящих схемотехнических решений. Вследствие этого, на практике часто ограничиваются только первым членом выражения (1).

Устройство, реализующее только первый член $u(kT)$ выражения (1), называют экстраполятором нулевого порядка (ЭНП), т.к. используемый полином имеет нулевой порядок, или фиксатором нулевого порядка, т.к. оно фиксирует значение предыдущей выборки в течение данного периода квантования до следующей выборки. Устройство, реализующее первые два члена выражения (1), называют фиксатором первого порядка, т.к. реализуемый им полином имеет первый порядок.

Экстраполятор нулевого порядка может быть использован для моделирования операции фиксации в устройстве выборки и хранения. В случае применения ЭНП выражение (1), определяющее аппроксимируемую выходную функцию, принимает следующий вид:

$$u_k(t) = u(kT). \quad (4)$$

Выражение (4) определяет импульсную переходную функцию экстраполятора нулевого порядка, т.е. реакцию фиксатора на единичный импульс (рисунок 4а, 4б). Работа квантователя и ЭНП может быть представлена с помощью схемы, изображенной на рисунке 2в. При этом предполагается, что конденсатор мгновенно заряжается до напряжения $u(kT)$ в момент времени $t = kT$. В действительности же скорость заряда конденсатора определяется его емкостью и сопротивлением источника. Так как в течение периода квантования T ключ

квантователя разомкнут, конденсатор сохраняет заряд до момента прихода следующего импульса от квантователя. Предполагается, что входное сопротивление усилителя равно бесконечности, поэтому разряд конденсатора отсутствует.

Таким образом, экстраполятор нулевого порядка преобразует входные импульсы в последовательность прямоугольных импульсов длительностью T . Входной и выходной сигналы идеального ЭНП представлены на рисунках 4г и 4д. В действительности усилитель имеет конечное входное сопротивление, и форма выходного сигнала соответствует последовательности импульсов, амплитуда которых экспоненциально уменьшается. В целом выходной сигнал экстраполятора нулевого порядка является ступенчатой аппроксимацией непрерывного сигнала, точность которой зависит от частоты квантования: увеличение частоты приводит к увеличению точности аппроксимации.

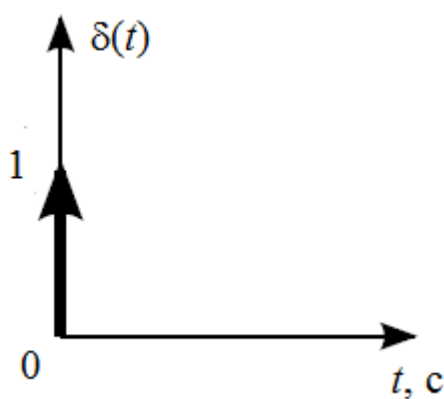
В общем случае линейная дискретная модель с экстраполятором нулевого порядка может быть описана следующим образом:

$$\text{ЭНП: } u_k(t) = u'((k-1)T),$$

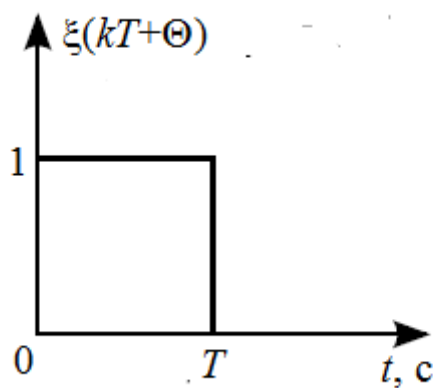
$$\text{ЛНЧ: } y(t) = W_{\text{оу}} u_k(t),$$

где $u'((k-1)T)$ - входной сигнал экстраполятора.

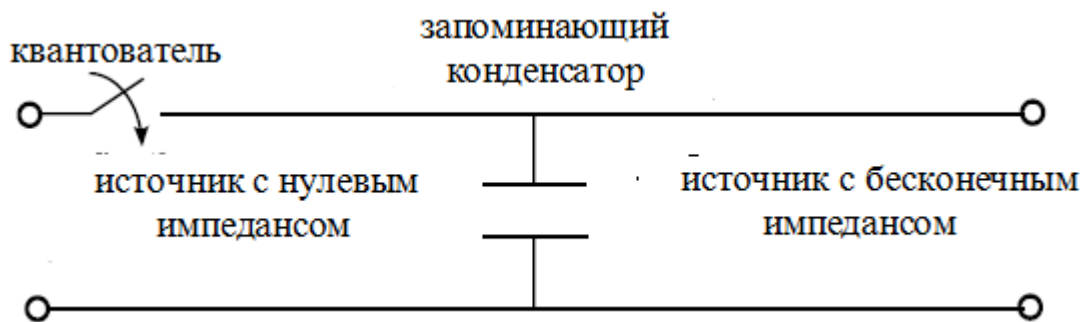
Структурная схема дискретной системы, соответствующая данной модели, представлена на рисунке 5. Она включает в себя непрерывное описание объекта управления $W_{\text{оу}}$, цифровой регулятор $K(z)$, элемент задержки $1/z$ и экстраполятор нулевого порядка. В общем случае структурная схема может также содержать программно-задающее устройство.



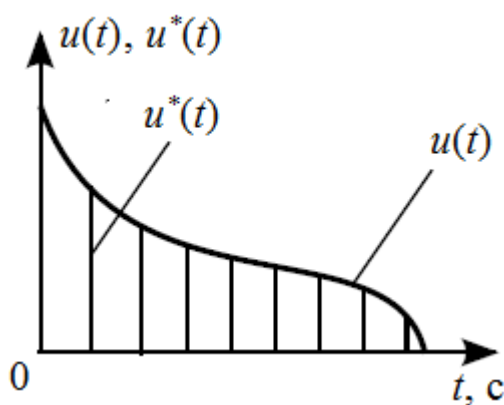
а)



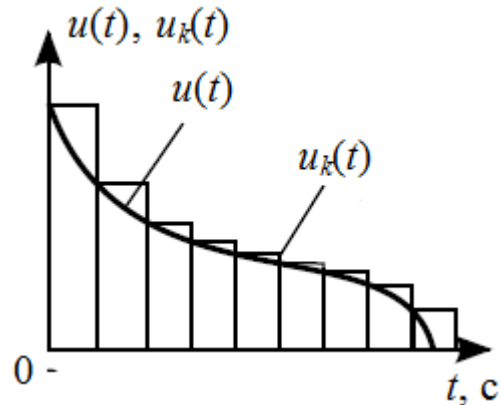
б)



в)



г)



д)

Рисунок 4 – Экстраполиатор нулевого порядка:

а) единичный импульс на входе экстраполиатора; б) реакция экстраполиатора на единичный импульс; в) упрощенная схема квантователя и экстраполиатора; г) входной $u(t)$ и квантованный $u^*(t)$ сигналы в экстраполиаторе; д) выходной сигнал экстраполиатора $u_k(t)$.

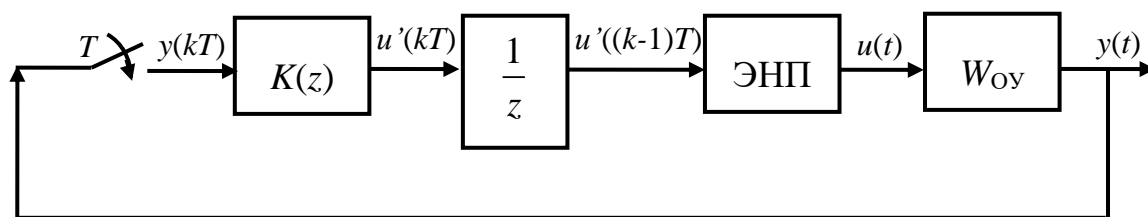


Рисунок 5 – Структурная схема цифровой системы управления

Порядок выполнения работы

1. В соответствии с вариантом задания составить схему моделирования, представленную на рисунке 6.
2. Экспериментальным путем найти значения коэффициента K_{OC} , которые соответствуют границам устойчивости замкнутой системы. Привести диапазон значений K_{OC} , при котором замкнутая система устойчива.

3. Сделать вывод о влиянии экстраполятора нулевого порядка на устойчивость системы.
4. Привести графики с выхода каждого устройства при любом значении коэффициента $K_{ос}$, соответствующем устойчивой системе.
5. Изменяя период квантования T , определить границу устойчивости дискретной системы по данному параметру. Сделать вывод о влиянии периода квантования на переходной процесс.
6. Получить реакцию системы на гармонический сигнал вида $u(t) = \sin(\omega t)$. Сделать вывод о влиянии периода квантования T на качество воспроизведения входного сигнала.

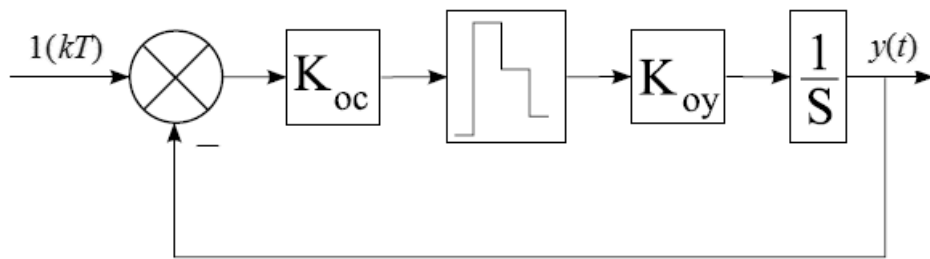


Рисунок 6 – Схема моделирования

Содержание отчета

1. Схема моделирования.
2. Результаты моделирования.
3. Выводы по результатам моделирования.