ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСТИТЕТ»

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

Отчёт по лабораторной работе №2

По дисциплине: «Теория автоматического управления»

«Исследование цифровой следящей системы»

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил:  Студент группы | АПН-21 |  |  |  | Шолохова А. О. |
|  | (шифр группы) |  | (подпись) |  | (ФИО) |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Проверил: | Доцент |  |  |  | Мансурова О. К. | |  | (должность) |  | (подпись) |  | (ФИО) | |  |

Санкт-Петербург

2024

**Цель работы**

Приобретение практических навыков исследования цифровых следящих систем методом моделирования.

**Краткие теоретические сведения**

Основной критерий качества следящей системы – это точность воспроиз­ведения входного воздействия. Динамические показатели, как пра­вило, рас­сматриваются как ограничения при решении задачи синтеза и на­ладке системы. Если о динамике процесса судят по переходной функции (ре­акции системы на единичную функцию), то оценивают время переходного процесса, перерегули­рование и колебательность процесса. Максимальную ошибку оценивают по её амплитуде при эквивалентном синусоидальном входном воздействии. Пара­метры такого воздействия определяют исходя из предельных значений вход­ного сигнала: максимальной скорости () и максимальном ускорении (). То есть закон изменения входного сигнала удобно представить в виде некоторого эквивалентного синусоидального воз­действия с заданными пре­дельными характеристиками. Если это воздействие имеет вид: , то его скорость и ускорение будут:

, где  (2.1)

, где  (2.2)

Из (2.1) и (2.2) можно получить :



Именно такое воздействие будем задавать на вход следящей системы при оценке её точности.

Известно, что точность системы определяется видом низкочастотной части АФХ. Известно также, что вид низко и среднечастотной части ЛАХ ана­логовой системы и ЛАХ цифровой системы, представленной в области абсо­лютной псевдочастоты, совпадают. В связи с этим методы построения желае­мой ЛАХ аналоговых систем в этой области частот можно распространить и на цифровые. То есть можно утверждать, что ошибка в следящей системе не будет превышена, при частотах квантования  ( - частота среза) и доста­точно большой разрядности ЦАП.

При частотах  квантование сигнала во времени оказывает малое влияние на точность следящей системы и в то же время оказывает значительное влияние на динамические свойства системы в целом. При проектировании сис­темы параметры, характеризующие динамические свойства следящей системы, выступают в качестве одних из основных ограничений. То есть требования к системе формулируются следующим образом. При проектировании необхо­димо обеспечить: 1) величину ошибки *Qmin* либо ; 2) при этом необхо­димо выполнить ограничения tпп tпп зад, σ σзад, и т. д..

Помимо квантования сигнала во времени в цифровых САУ осуществля­ется квантование сигнала по уровню вследствие ограниченной разрядности микропроцессора (rмп), входного (rацп) и выходного (rцап) преобразователей. При этом в подавляющем большинстве систем rмп> rацп> rцап, вследствие чего в даль­нейшем при моделировании будем учитывать только процесс квантования ЦАП. То есть под r, будем понимать rцап. Статическую характеристику ЦАП можно представить как многоступенчатую релейную характеристику с числом уровней . Отклонение статической характеристики от линейной будет тем меньше, чем больше r. В большинстве случаев величина на выходе ЦАП должна быть ограничена по условиям нормального функционирования сис­темы. Например, в системе стабилизации скорости с цифровым регулятором скорости и аналоговым регулятором тока напряжение на выходе ЦАП будет ог­раничено величиной  (-коэффициент передачи об­ратной связи по току якоря). В этом случае значение напряжения на выходе преобразователя, соответствующее единице младшего разряда – шаг квантования по уровню будет:  (2.3)

Δ носит название шага квантования во уровню.

Напряжение питания современных ЦАП составляет 5 В. Однако силовые преобразователи рассчитаны на напряжение 10 В, поэтому после ЦАП устанавливается операционный усилитель с коэффициентом передачи равном 2.

В результате на входе силового преобразователя и в аналоговой и цифровой системе имеем 10 В. Так что в Umax примем равным 10 В.

Квантование сигнала по уровню вызывает появление дополнительной ошибки. В статике при этом величина ошибки от квантования не будет превосходить ширины зоны нечувствительности 0.5.

В динамике действующие на выходе ЦАП скачкооб­разные возмущения, вызванные округлением сигнала до целого числа единиц младшего разряда, вызывают появление ошибок, превышающих .

Точный расчет влияния квантования сигнала по уровню представляет со­бой достаточно сложную задачу и может быть выполнен в частных случаях с помощью ме­тодов моделирования.

Дискретные сигналы создаются на основе непрерывных сигналов. Процесс преобразования непрерывного сигнала в дискретный называется *квантование сигнала.* Исходный непрерывный сигнал называется *квантуемый сигнал,* сигнал, получаемый в результате квантования, называется *квантованный сигнал.* Существуют разные способы квантования непрерывного сигнала.

*Квантование по времени.* Квантованный сигнал содержит отдельные значения *(дискреты)* квантуемого сигнала, которые выделяются в фиксированные моменты времени.

Значения сигнала выделяются через равные промежутки времени *Т,* где *Т -*период (интервал) квантования. Следовательно, квантованный сигнал будет состоять из последовательности дискрет квантуемого сигнала, выделенных в моменты времени, кратные периоду квантования. Квантованный сигнал при квантовании по времени описывается решетчатой функцией времени квантуемого сигнала

Квантование по уровню. В моменты достижения квантуемым сигналом некоторых фиксированных уровней, квантованному сигналу присваивается значение достигнутого уровня, и это значение квантованного сигнала сохраняется до момента достижения квантуемым сигналам следующего уровня.

Значения квантованного сигнала x\*(t) изменяются в момент достижения квантуемым сигналом очередного уровня. В результате квантованный сигнал представляет собой ступенчатую функцию времени.

*Квантование по времени и по уровню.* В этом случае оба предыдущих способа комбинируются, поэтому способ квантования называют также комбинированным. При комбинированном квантовании квантованному сигналу в наперед заданные моменты времени присваивается значение ближайшего фиксированного уровня, которого достиг квантуемый сигнал. Это значение сохраняется до следующего момента квантования.

Изменения квантованного сигнала происходят в моменты квантования, кратные периоду Т квантования по времени. Таким образом, квантованный сигнал будет характеризоваться периодом квантования и значением ближайшего фиксированного уровня.

Типичным примером устройства, в котором имеет место комбинированное квантование, является аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровой прибор, построенный с использованием аналого-цифрового преобразователя. Выходная информация таких устройств обновляется с периодом, определяемым длительностью преобразования входного сигнала в цифровой код (квантование по времени), а выходная информация представляется с конечной точностью, определяемой разрешающей способностью квантования или разрядностью кода для представления квантованного сигнала.

**Исходные данные**

В таблице 1 приведены исходные данные, согласно варианту №21.

Таблица 1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | ωmax | Qmax | Кред | τр | Тp | Kp | Ткc | ξ | Ккс | εmax |
| 21 | 1,1 | 0,04 | 0,15 | 0,28 | 2 | 80 | 0,02 | 0,7 | 10 | 0,5 |

**Ход работы**

Схема моделирования следящей системы в МВТУ приведена на рисунке 1.

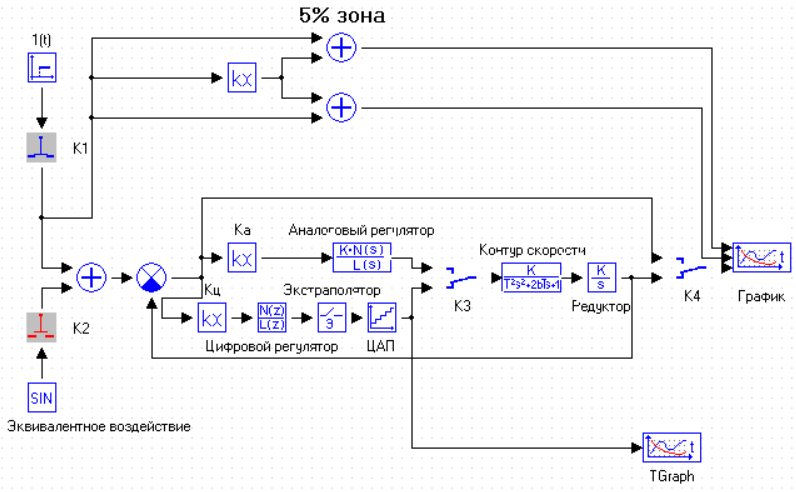


Рисунок 1 – Схема моделирования следящей системы

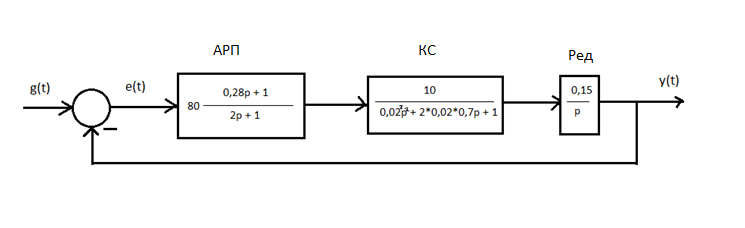


Рисунок – Структурная схема с аналоговым регулятором положения

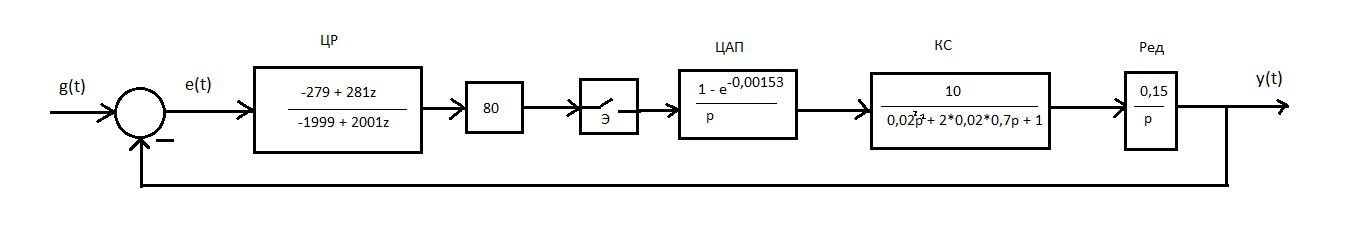


Рисунок – Структурная схема с цифровым регулятором

Параметры, характеризующие воздействие, подаваемое на вход следящей системы при оценке ее точности:

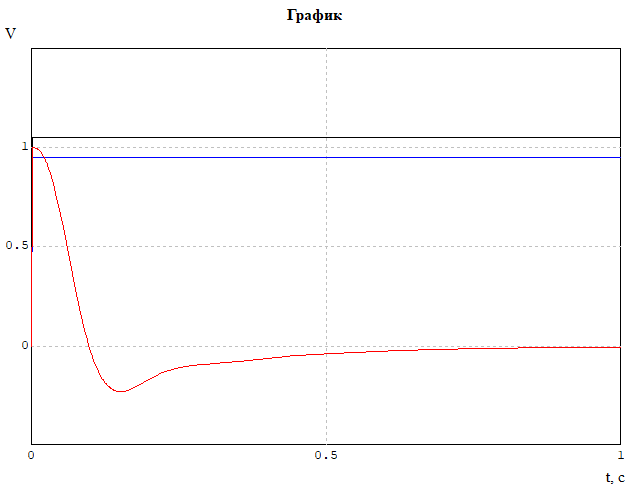


Рисунок 2 - График переходного процесса без регулятора при ступенчатом единичном воздействии.

e=0, tпп= 0,93 с, σ=100%

**Опыт 1. Исследование свойств аналоговой системы.**

Аналоговый регулятор положения имеет вид:

тогда

На рисунке 3 представлен график переходного процесса при подаче единичного ступенчатого воздействия.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 3 - График переходного процесса с аналоговым регулятором при подаче единичного ступенчатого воздействия.

tпп = 0,45 сек; σ = 22 %.

На рисунке 4 приведен график ошибки системы, полученный при подаче эквивалентного гармонического воздействия.

Изображение выглядит как текст, График, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 4 - График ошибки рассогласования системы при подаче эквивалентного гармонического воздействия

Qmax = 0,06, что превышает максимально допустимое значение (Qmax = 0,04), а значит спроектированная система не отвечает основному критерию качества – точности воспроизведения системы.

Найдем амплитуду ошибки:

Амплитуда ошибки по графику 0,012.

**Опыт 2. Исследование свойств цифровой системы при вариациях периода квантования сигнала по времени**

Для получения передаточной функции цифрового регулятора воспользуемся преобразованием Тустена при замене . Предварительно разделим цифровой ПИ – регулятор на два звена *Крег=β* и *W1(z)*, тогда

Шаг квантования по уровню:

На рисунках 5–9 приведены графики, снятые при вариациях периода квантования сигнала по времени.

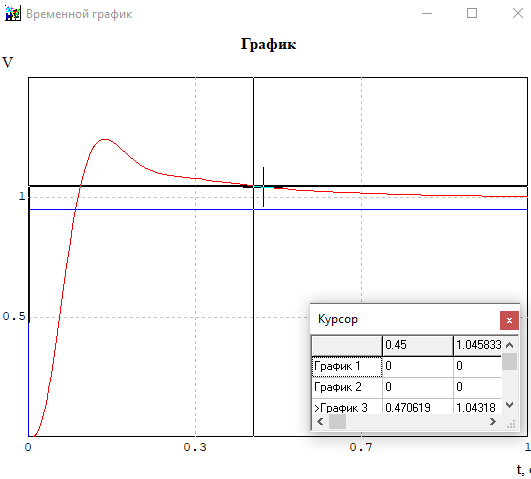
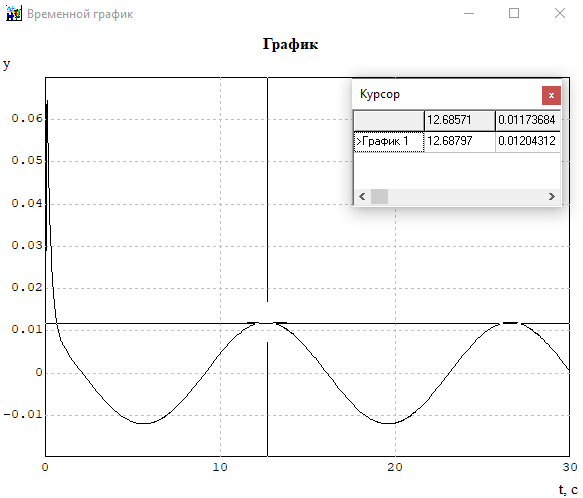
 

Рисунок 5 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (Т = 0,002)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 6 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (Т = 0,019)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 7 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (Т = 0,036)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 8 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (Т = 0,053)

Изображение выглядит как текст, диаграмма, линия, снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 9 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (Т = 0,07)

ПФ разомкнутого контура цифровой и аналоговой системы

В таблице 2 представлены результаты расчета параметров регулятора и результаты моделирования (по рисункам 5–9).

Таблица 2 – Результаты расчета параметров регулятора и результаты моделирования

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т | 0,002 | 0,019 | 0,036 | 0,053 | 0,07 |
| b0 | -279 | -28,474 | -14,556 | -9,566 | -7 |
| b1 | 281 | 30,4737 | 16,5556 | 11,566 | 9 |
| a0 | -1999 | -209,53 | -110,11 | -74,472 | -56,143 |
| a1 | 2001 | 211,526 | 112,111 | 76,4717 | 58,1429 |
| tпп | 0,45 | 0,49 | 0,53 | 0,59 | 0,81 |
| *σ* % | 23 | 37 | 52 | 65 | 78 |
| Qmax | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,015 |

**Опыт 3. Исследование свойств цифровой системы при вариациях разрядности преобразователя**

На рисунках 10–15 приведены графики, снятые при вариациях периода квантования сигнала по времени.

Изображение выглядит как текст, диаграмма, снимок экрана, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, График

Автоматически созданное описание

Рисунок 10 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (r=2)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, диаграмма

Автоматически созданное описание

Рисунок 11 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (r=4)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 12 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (r=6)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, График, линия

Автоматически созданное описание

Рисунок 14 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (r=8)

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, линия

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как текст, снимок экрана, диаграмма, число

Автоматически созданное описание

Рисунок 15 – Графики переходного процесса, управляющего воздействия и ошибки рассогласования (r=10)

В таблице 3 представлены результаты расчета параметров регулятора и результаты моделирования (по рисункам 10–15).

Таблица 3 – Результаты расчета параметров регулятора и результаты моделирования

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| r | 2 | 4 | 8 | 12 | 16 |
|  | 3,33 | 0,67 | 0,039 | 0,0024 | 0,00015 |
| tпп | 0,66 | 0,48 | 0,43 | 0,415 | 0,413 |
|  | 23 | 24 | 23 | 23 | 24 |
|  | 0,13 | 0,037 | 0,012 | 0,012 | 0,012 |

**Вывод**

На рисунках 16–18 представлены графики зависимостей – результаты опыта №2.

Рисунок 16 – График зависимости времени переходного процесса от периода квантования

Рисунок 17 – График зависимости величины перерегулирования от периода квантования

Рисунок 18 – График зависимости ошибки рассогласования от периода квантования

Таким образом, при увеличении периода квантования:

* уменьшается быстродействие системы (tпп возрастает);
* повышается колебательность ( возрастает);
* снижается точность ( возрастает).

На рисунках 19–21 приведены графики зависимостей – результаты опыта №3.

Рисунок 19 – График зависимости времени переходного процесса от разрядности преобразователя

Рисунок 20 – График зависимости величины перерегулирования от разрядности преобразователя

Рисунок 21 – График зависимости ошибки рассогласования от разрядности преобразователя

Таким образом, при увеличении разрядности преобразователя:

* увеличивается быстродействие системы (tпп убывает);
* не изменяется колебательность;
* повышается точность ( убывает).