ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II»**

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

**Лабораторная работа №2**

Вариант 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ УГЛОВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

**ВЫПОЛНИЛ**  АПМ-22 Валдаев Д.В.

(шифр группы) (подпись) (ФИО)

**ОЦЕНКА**: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**ПРОВЕРИЛ** доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Мансурова О.К.

(подпись) (ФИО)

Санкт-Петербург

2025

**Цель работы** – приобретение практических навыков исследования цифровых следящих систем методом моделирования.

Следящие системы – динамические системы, предназначенные для точного воспроизведения изменяющегося входного сигнала (задающего воздействия) в условиях внешних возмущений и неопределенностей. Их ключевая задача – минимизировать ошибку слежения, то есть разницу между текущим состоянием системы и требуемым значением.

Следящие системы широко применяются в робототехнике, радиолокации, системах наведения, промышленных станках с ЧПУ, металлургической промышленности. Принцип работы следящих систем базируется на замкнутом контуре управления с отрицательной обратной связью. Качество системы оценивается по таким параметрам, как: точность, быстродействие и перерегулирование.

**Ход работы**

Были получены данные для варианта №3.

Таблица 1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | ωmax | Qmax | Кред | τр | Тp | Kp |
| 3 | 0,9 | 0,025 | 0,14 | 2,1 | 0,35 | 60 |

Индекс p указывает на принадлежность к регулятору. Следующие данные принять одинаковыми для всех вариантов: Tкс = 0,02, ξ=0,7; Ккс=10; εmax=0.5 1/с2.

Необходимо рассчитать остальные параметры системы. Шаг квантования во времени установлен 0,002 с по заданию и будет изменять до того значения, когда перерегулирование составит 70%. Разрядность преобразователя принята постоянной и равной r=16. Шаг квантования по уровню рассчитывается по следующей формуле:

Далее рассчитаны параметры эквивалентного гармоническое воздействия.

Рассчитаны параметры аналогового регулятора положения.

Для цифрового регулятора параметры будут меняться при изменении шага квантования, поэтому приведен пример расчёта для шага квантования 0,002 с.

Необходимо составить структурную схему системы и схему моделирования следящей системы.

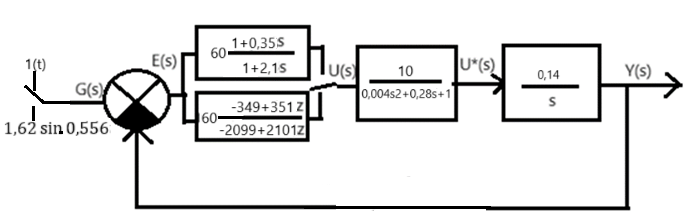


Рисунок 1 – Структурная схема следящей системы

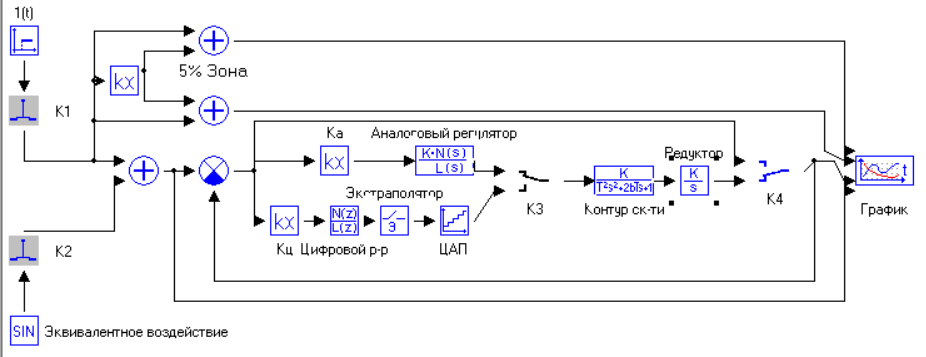


Рисунок 2 – Схема моделирования следящей системы



Необходимо методом моделирования исследовать свойства аналоговой системы: а) оценить параметры переходного процесса; б) оценить ошибку системы при эквивалентном гармоническом воздействии. Параметры воздействия формируются автоматический при вводе исходных данных, содержащих его предельные характеристики.

Определим, устойчива ли смоделированная система. Для этого построим ЛАХ и ФЧХ.

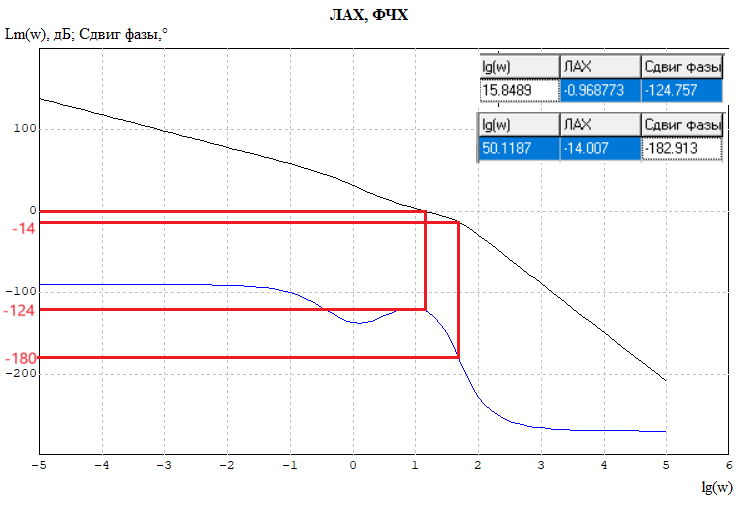


Рисунок 3 – ЛАХ и ФЧХ разомкнутой системы

Исходя из рисунка 3, частота среза левее частоты критической, а значит система устойчива и имеет запасы по фазе и амплитуде, рассчитанные выше.

Чтобы оценить параметры переходного процесса, был получен график на рисунке 4.

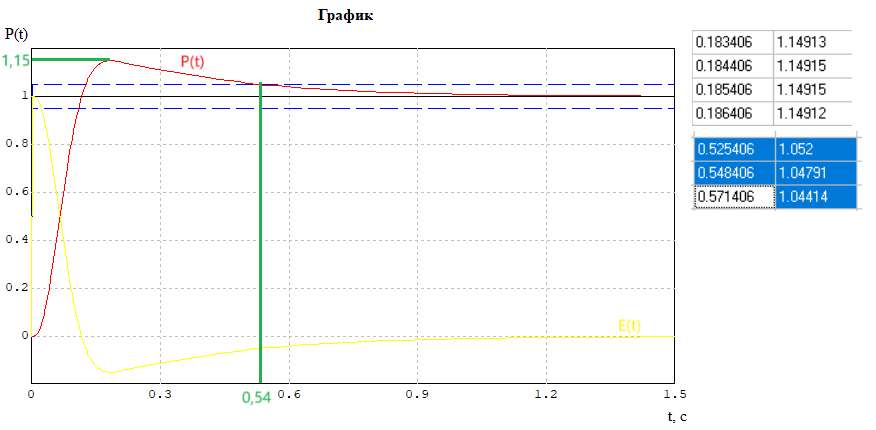


Рисунок 4 – График переходного процесса для аналоговой системы



Далее оценена ошибка системы при эквивалентном гармоническом воздействии, для этого К1 разомкнут, К2 замкнут.

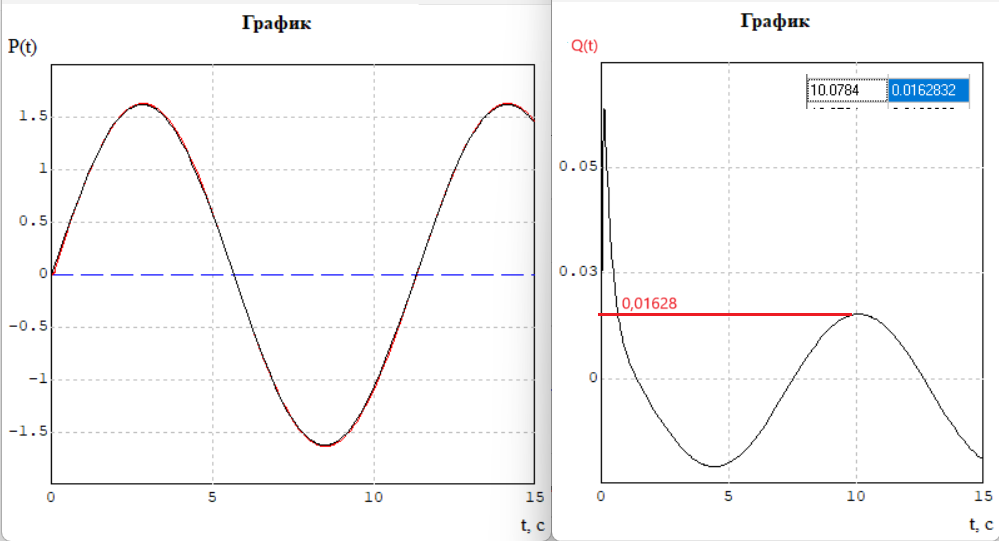


Рисунок 5 – График ошибки и целевого параметра при эквивалентном гармоническом воздействии



По заданию, максимальная ошибка при эквивалентном гармоническом воздействии должна быть меньше 0,025, что выполнено.

**Опыт 1.** Методом моделирования исследовать свойства цифровой системы при вариациях периода квантования сигнала по времени (шага обмена между аналоговой и цифровой частью системы).

Разрядность преобразователя принята постоянной и равной 16, шаг квантования варьирован от 0,002 до шага, при котором перерегулирование достигает величины более 70%.

Таблица 2 – Экспериментальные данные

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Т | 0.002 | 0,01 | 0,05 | 0,08 | 0.11 |
|  | 3140 | 628 | 125,6 | 78,5 | 57,09 |
|  | 13,43 | 13,42 | 13,41 | 13,40 | 12,58 |
|  | 233,8 | 46,8 | 9,37 | 5,85 | 4.54 |
| m1=*2τp/T* | 350 | 70 | 14 | 8,75 | 6,36 |
| m2=*2Tp/T* | 2100 | 420 | 84 | 52,5 | 38,2 |
| *b0=1-m1* | -2099 | -419 | -83 | -51,5 | -37,2 |
| *b1=1+m1* | 2101 | 421 | 85 | 53,5 | 39,2 |
| *a0=1-m2* | -349 | -69 | -13 | -7,75 | -5,36 |
| *a1=1+m2* | 351 | 71 | 15 | 9,75 | 7,36 |
| tпп, мс | 527 | 575 | 620 | 746 | 998 |
| σ% | 15,7 | 19,6 | 45,8 | 65 | 73,7 |
| Qmax | 0,0163 | 0,0163 | 0,0163 | 0,0163 | 0,0163 |
|  | 50,2 | 50 | 41,06 | 30,78 |  |
|  | 10,45 | 9,3 | 6,7 | 6,3 |  |

При увеличении шага квантования по времени, увеличивается перерегулирование и время переходного процесса, а запас устойчивости по фазе и амплитуде уменьшаются. При этом максимальная ошибка при эквивалентном гармоническом воздействии остаётся неизменной, а значит шаг квантования по времени значительного воздействия на неё не имеет.

Рисунок 6 – Зависимость tпп(Т), σ%(Т), Qmax(Т) при изменении шага квантования по времени

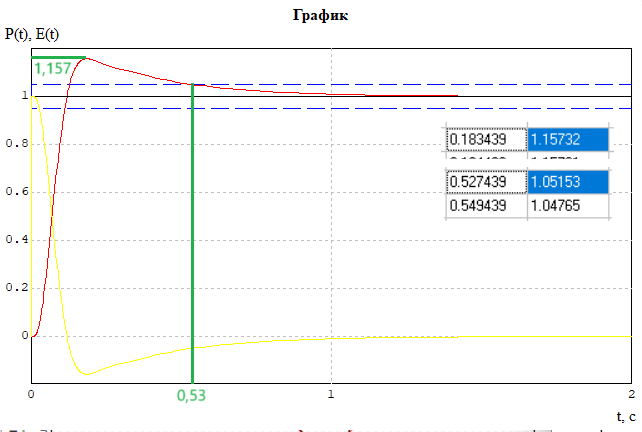


Рисунок 7 – График переходного процесса для цифровой системы, T=0,002



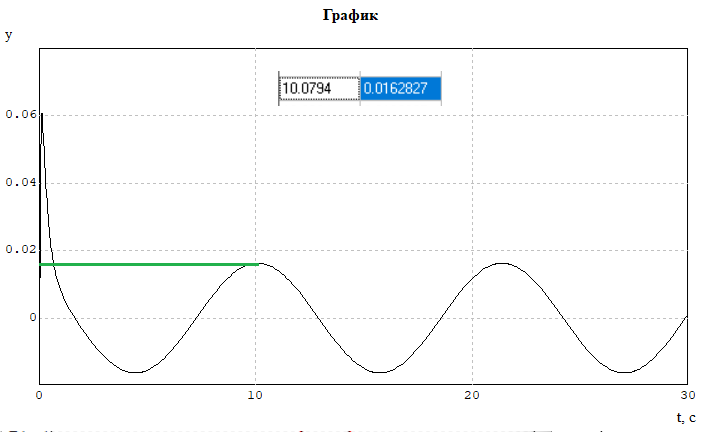


Рисунок 8 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии

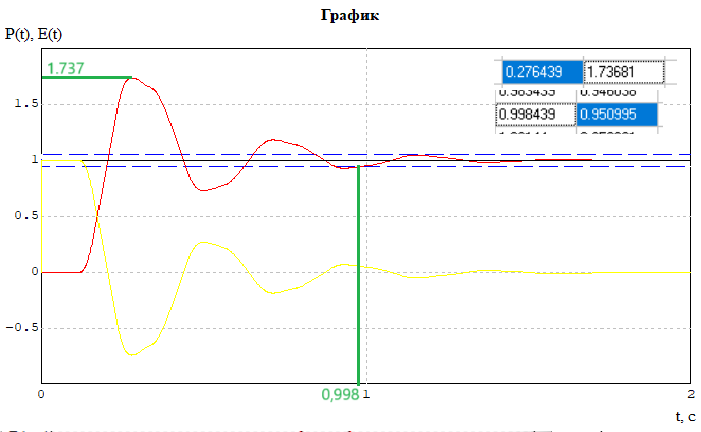


Рисунок 9 – График переходного процесса при T=0,11



Q(t)

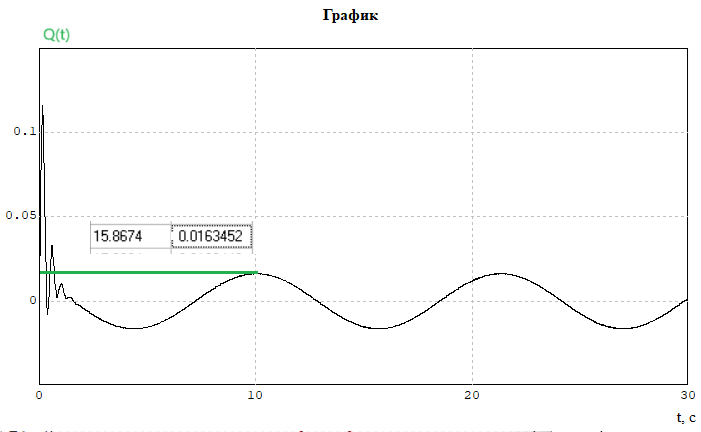


Рисунок 10 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии

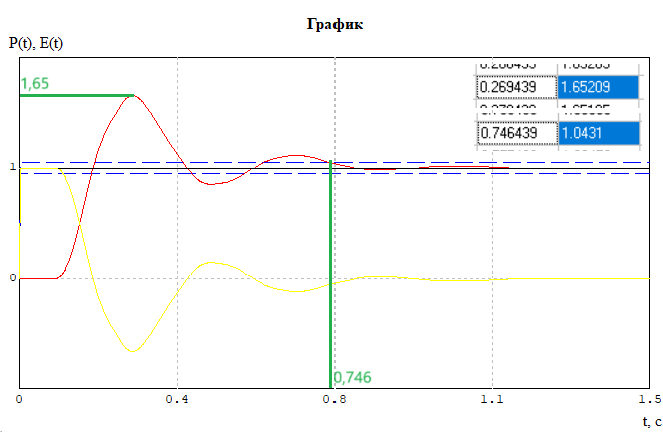
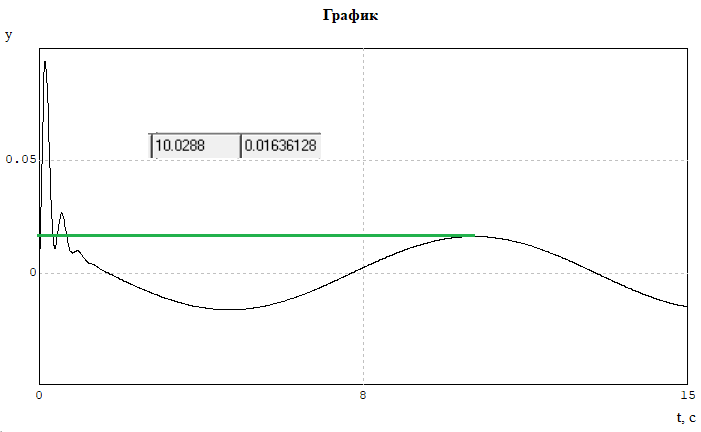


Рисунок 11 – График переходного процесса при T=0,08





Q(t)

Рисунок 12 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии

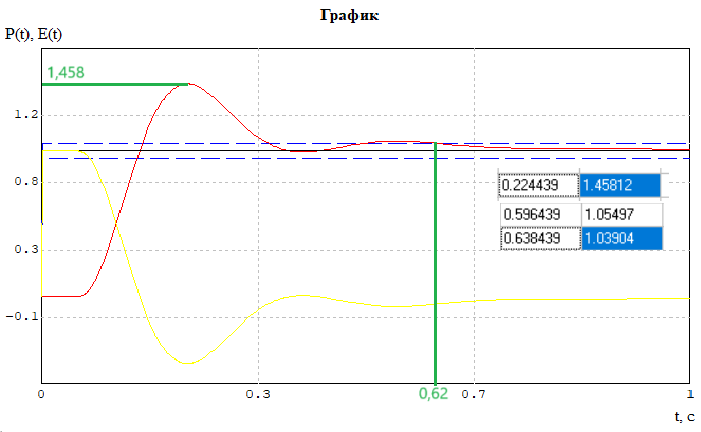
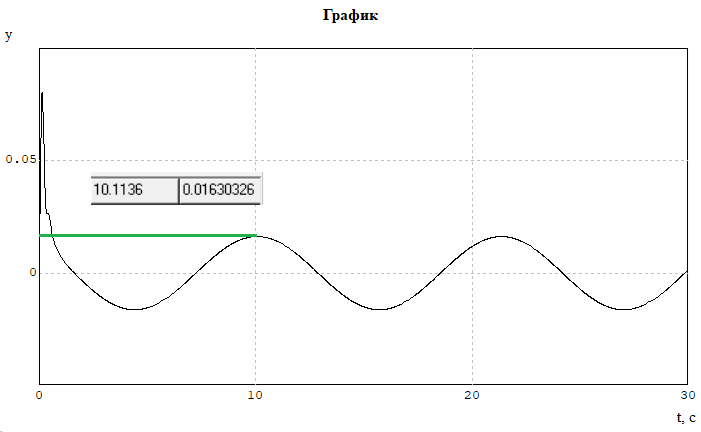


Рисунок 13 – График переходного процесса при T=0,05





Q(t)

Рисунок 14 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии

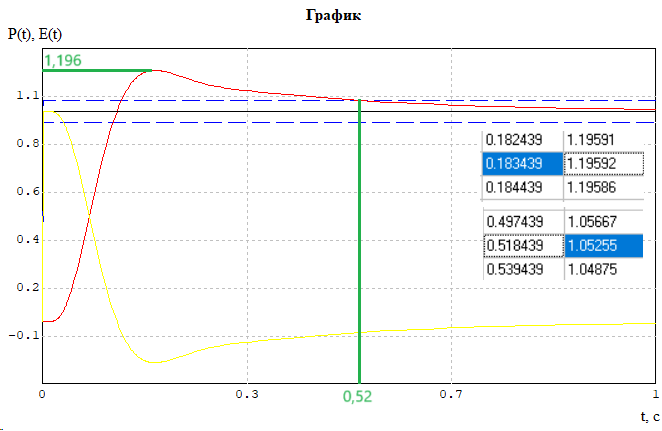
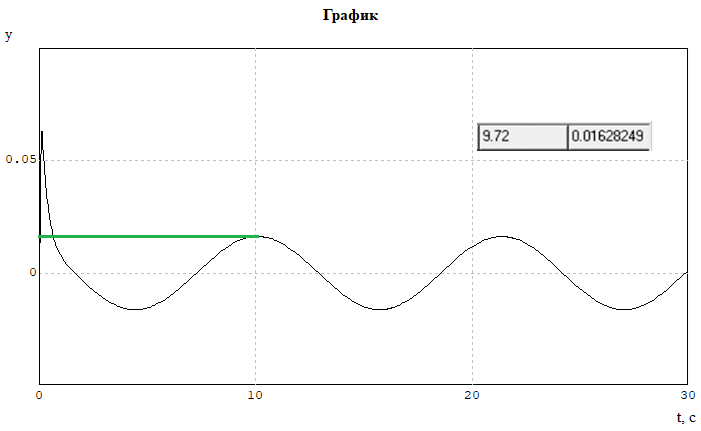


Рисунок 15 – График переходного процесса при T=0,01





Q(t)

Рисунок 16 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии

**Опыт 2.** Методом моделирования исследовать свойства цифровой системы при вариациях разрядности преобразователя при постоянном значении шага квантования по времени и равном Т=0,002. Шаг квантования по уровню рассчитывается для каждого опыта.

Таблица 3 – Экспериментальные данные

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| r | 2 | 4 | 8 | 12 | 16 |
| Δ | 3.333 | 0.6667 | 0.03921569 | 0.002442 | 0.00015259 |
| tпп, мс | 1454 | 576 | 527 | 527 | 527 |
| σ% | 14,4 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | 15,7 |
|  |  |  |  |  |  |
| Qmax | 0,1655 | 0,045 | 0,016702 | 0,0162857 | 0,0162827 |

При увеличении разрядности преобразователя (уменьшении шага квантования по уровню) уменьшается резко время переходного процесса — это связано с тем, что сигнал меньше раз изменяется по уровню и дольше достигает регламентной зоны. На время переходного процесса разрядность преобразователя практически не влияла, а вот на максимальную ошибку при эквивалентном гармоническом воздействии влияние заметно.

Исходя из полученного результата, квантование сигнала по уровню действительно вызывает появление дополнительной ошибки, причем в статике ошибка от квантования не превосходила ширину зоны нечувствительности. В динамике действующие на выходе ЦАП скачкообразные возмущения, вызванные округлением сигнала до целого числа единиц младшего разряда, вызывают появление ошибок, превышающих установленные ограничения.

В нашем случае по заданию установлена максимальная ошибка 0,025 радиан, а при разрядности преобразователя r=2 она равна 0,1655, при r=4 0,045.

Рисунок 17 – Зависимость tпп(r), σ%(r), Qmax(r) при изменении шага квантования по уровню (разрядности преобразователя)

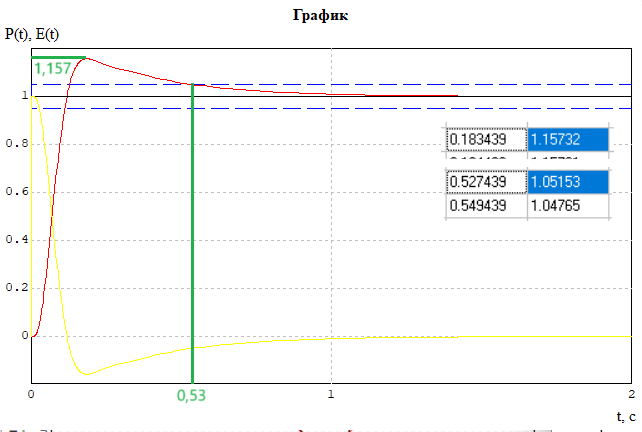
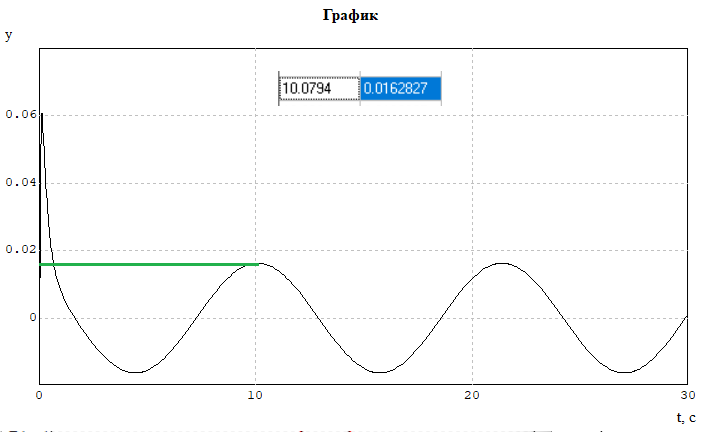


Рисунок 18 – График переходного процесса для цифровой системы при r=16





Q(t)

Рисунок 19 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии при r=16

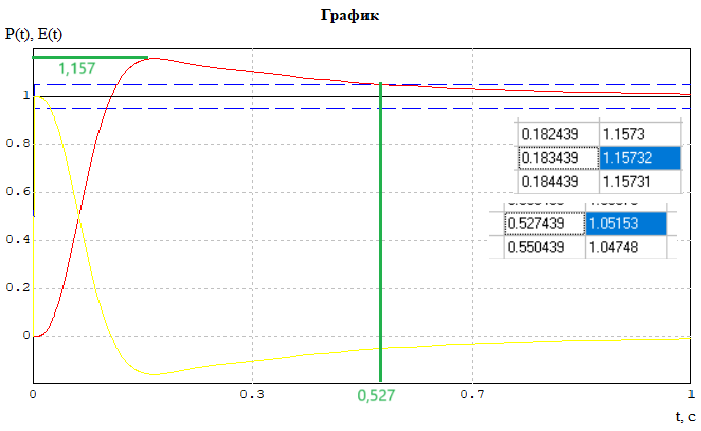
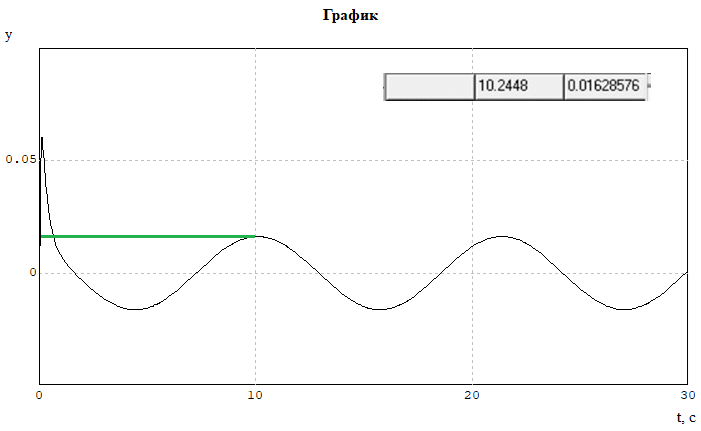


Рисунок 20 – График переходного процесса для цифровой системы при r=12





Q(t)

Рисунок 21 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии при r=12

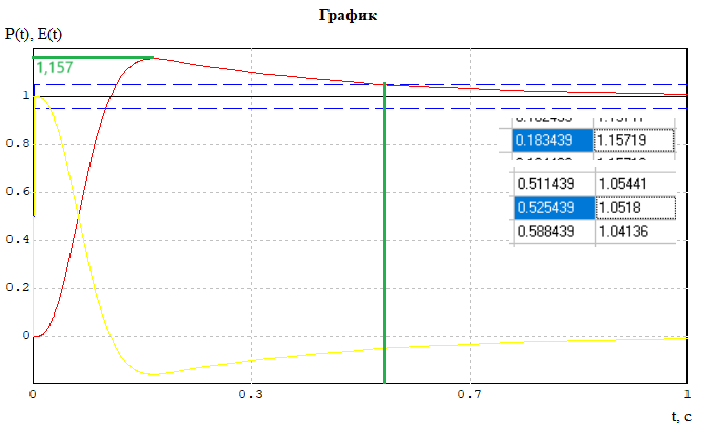
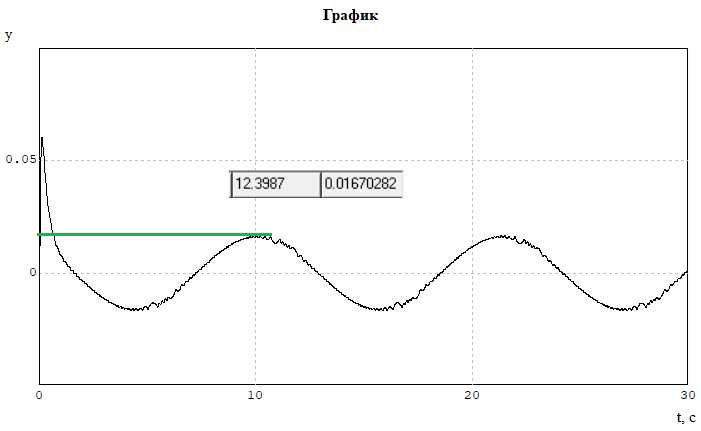


Рисунок 22 – График переходного процесса для цифровой системы при r=8





Q(t)

Рисунок 23 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии при r=8

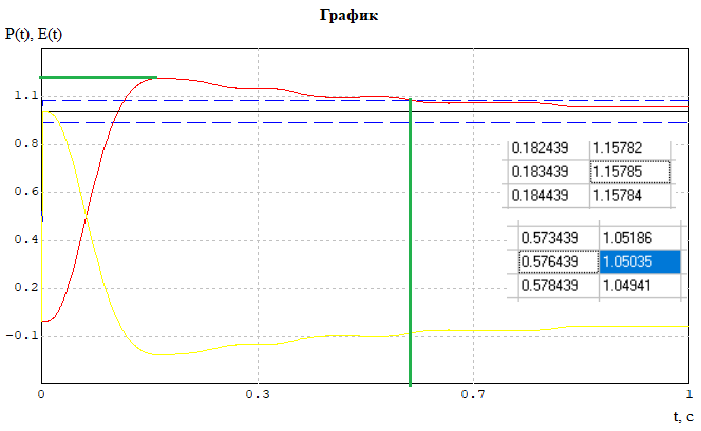
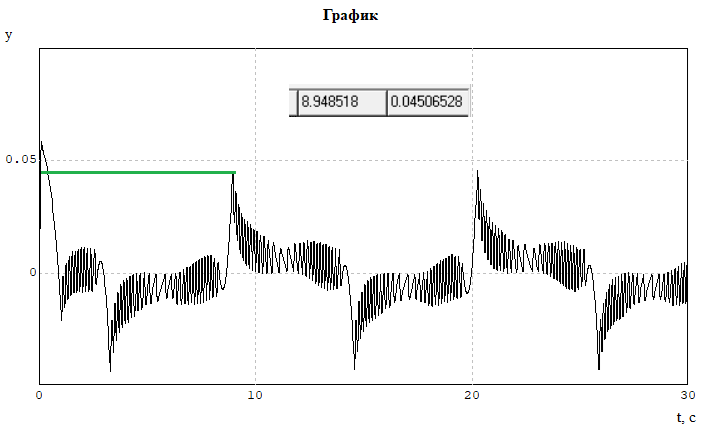


Рисунок 24 – График переходного процесса для цифровой системы при r=4





Q(t)

Рисунок 25 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии при r=4

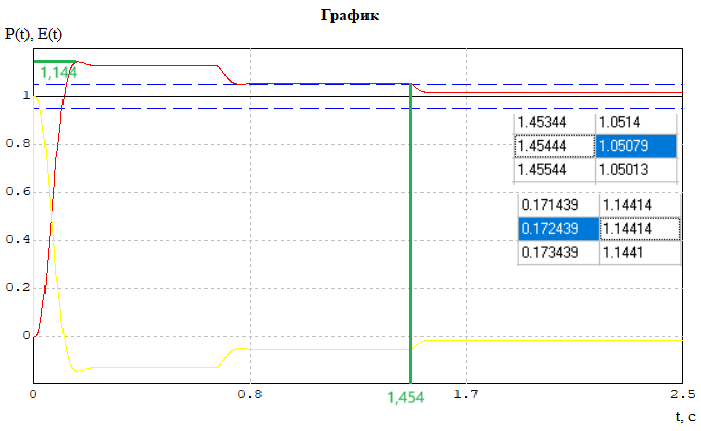
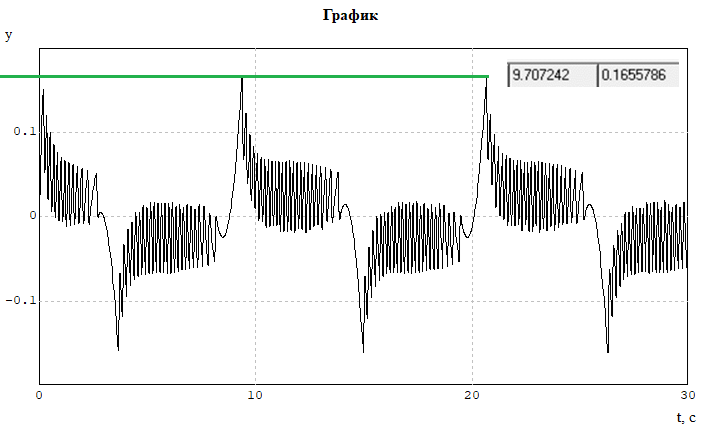


Рисунок 26 – График переходного процесса для цифровой системы при r=2





Q(t)

Рисунок 27 – График ошибки при эквивалентном гармоническом воздействии при r=2

**Вывод:** при увеличении шага квантования по времени, увеличивается перерегулирование и время переходного процесса, а запас устойчивости по фазе и амплитуде уменьшаются. При этом максимальная ошибка при эквивалентном гармоническом воздействии остаётся неизменной, а значит шаг квантования по времени значительного воздействия на неё не имеет.

При увеличении разрядности преобразователя (уменьшении шага квантования по уровню) уменьшается резко время переходного процесса — это связано с тем, что сигнал меньше раз изменяется по уровню и дольше достигает регламентной зоны. На время переходного процесса разрядность преобразователя практически не влияла, а вот на максимальную ошибку при эквивалентном гармоническом воздействии влияние заметно.

Исходя из полученного результата, квантование сигнала по уровню действительно вызывает появление дополнительной ошибки, причем в статике ошибка от квантования не превосходила ширину зоны нечувствительности. В динамике действующие на выходе ЦАП скачкообразные возмущения, вызванные округлением сигнала до целого числа единиц младшего разряда, вызывают появление ошибок, превышающих установленные ограничения.

В нашем случае по заданию установлена максимальная ошибка 0,025 радиан, а при разрядности преобразователя r=2 она равна 0,1655, при r=4 равна 0,045.

Таким образом, был проведен точный расчет влияния квантования сигнала по уровню и времени с помощью методов моделирования. Увеличение шага квантования сигнала по уровню вызывают появление ошибок, превышающих допустимые и увеличение времени переходного процесса. Увеличение шага квантования по времени вызывает увеличение времени переходного процесса, перерегулирования и уменьшает устойчивость системы.

Для заданной системы оптимальной разрядностью преобразователя можно считать r=8, так как при ней максимальная ошибка не превышает заданную. Шаг квантования по времени выбирается исходя из требуемых времени переходного процесса и величины перерегулирования.