**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5**

**по курсу «Компьютерное управление мехатронными системами»**

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ОБЪЕКТОМ В ВИДЕ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ АПЕРИОДИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ИЗ УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО ПО КАЧЕСТВУ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА**

Автор работы: Кирбаба Д.Д.

Группа: R3438

Преподаватель: Ловлин С.Ю.

Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

[1. Цель работы 4](#_Toc155995947)

[2. Ход работы 4](#_Toc155995948)

[1. Исходные данные 4](#_Toc155995949)

[2. Моделирование цифрового Д-регулятора 4](#_Toc155995950)

[3. Цифровой ПД-регулятор – апериодическое звено первого порядка 7](#_Toc155995951)

[4. Непрерывная модель цифрового ПД-регулятора, учитывающая неполную компенсацию цифровым регулятором постоянной объекта 9](#_Toc155995952)

[5. Синтез системы с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора для случая вычислительной задержки . Настройка на технический оптимум 12](#_Toc155995953)

[Синтез регулятора 12](#_Toc155995954)

[Моделирование работы системы настроенной на технический оптимум 13](#_Toc155995955)

[Моделирование полной эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора. Аппроксимация апериодическим звеном 15](#_Toc155995956)

[Синтез цифрового ПД-регулятора методом переоборудования 17](#_Toc155995957)

[6. Синтез системы с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора для случая вычислительной задержки . Настройка на технический оптимум 19](#_Toc155995958)

[Моделирование полной эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора. Аппроксимация апериодическим звеном 20](#_Toc155995959)

[Синтез цифрового ПД-регулятора методом переоборудования 21](#_Toc155995960)

[7. Синтез системы с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора для случая вычислительной задержки . Настройка на биномиальный оптимум 23](#_Toc155995961)

[Синтез регулятора 23](#_Toc155995962)

[Моделирование работы системы настроенной на биномиальный оптимум 24](#_Toc155995963)

[Моделирование полной эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора. Аппроксимация апериодическим звеном 25](#_Toc155995964)

[Синтез цифрового ПД-регулятора методом переоборудования 26](#_Toc155995965)

[8. Синтез системы с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора для случая вычислительной задержки . Настройка на биномиальный оптимум 28](#_Toc155995966)

[Моделирование полной эквивалентной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового ПД-регулятора. Аппроксимация апериодическим звеном 28](#_Toc155995967)

[Синтез цифрового ПД-регулятора методом переоборудования 29](#_Toc155995968)

[3. Выводы 31](#_Toc155995969)

# Цель работы

Параметрический синтез и исследование цифровой системы управления с объектом в виде двух последовательно апериодических звеньев из условия обеспечения заданного переходного процесса.

# Ход работы

|  |  |
| --- | --- |
| Сопротивление обмоток двигателя , Ом |  |
| Индуктивность обмоток двигателя , Гн |  |
| Момент инерции , кг |  |
| Константа противо-ЭДС |  |
| Константа момента |  |
| Коэффициент передачи датчика скорости, |  |

Таблица 1. Исходные данные.

# Синтез системы с использованием «метода переоборудования»

## Передаточная функция объекта управления

В данной задаче объект у нас будет без контура тока, то есть контур скорости будем настраивать без настроенного контура тока.

Математически наша система может быть описана следующим образом:

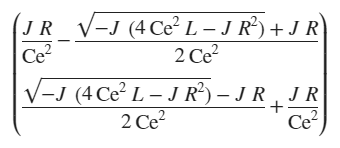
Перепишем систему в форме ВСВ с вектором состояния

Тогда ПФ от напряжения к скорости:

Получилось звено 2-го порядка, которое может состоять как из двух апериодических звеньев, так и из одного колебательного звена.

В данной работе требуется привести ОУ к виду:

То есть



Есть еще следующие условия:

Итого

будем сокращать при синтезе, а использовать в качестве постоянной

## Расчет регулятора скорости

ПФ объекта:

Настройку будем производить на оптимум по модулю:

Тогда ПФ регулятора:

Так как то

Получается ПИ-регулятор скорости.

## Моделирование работы системы, настроенной на технический оптимум

Теперь, путем моделирования определим величину периода дискретности управления , при которой обеспечивается качество переходного процесса в исследуемой цифровой системе, близкое к процессу в эквивалентной модели.

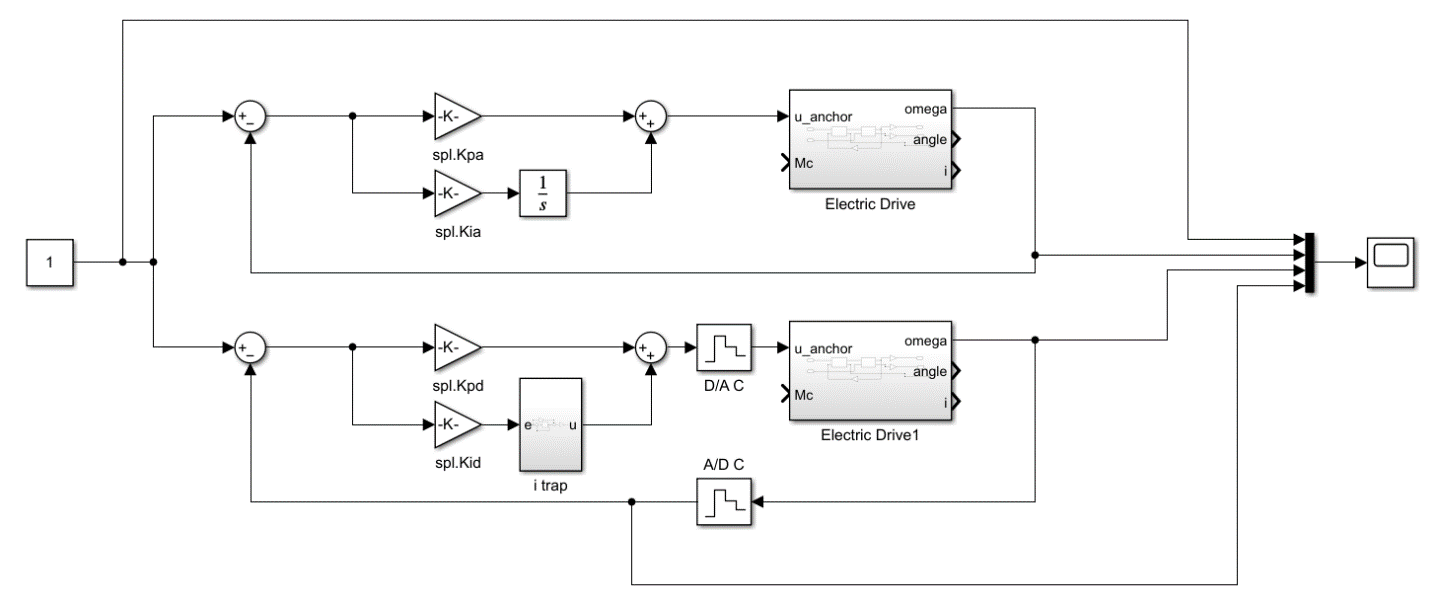


Рисунок 1. Схема моделирования ОУ с ПИ-регулятором тока.

A graph with lines and numbers

Description automatically generated

Рисунок 2. Графики переходных процессов систем с цифровым регулятором и эквивалентным аналоговым, настроенных на технический оптимум при

По графикам видим, что у нас действительно получился технический оптимум со входом к 5% зону.

Расхождение между дискретной и аналоговой системами практически минимальное.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

время первого входа в 5% зону

время переходного процесса (5% зона)

перерегулирование

A graph of a graph with different colored lines

Description automatically generated

Рисунок 3. Графики переходных процессов систем с цифровым регулятором и эквивалентным аналоговым, настроенных на технический оптимум при

Теперь у нас дискретная система существенно расходится в сравнении с аналоговой.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

время первого входа в 5% зону

время переходного процесса (5% зона)

перерегулирование

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Таблица 2. Параметры переходных процессов.

# Синтез системы из условия получения в ней стандартной настройки на «оптимум по модулю» с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

## Аппроксимация апериодическим звеном

Теперь добавим звено запаздывания в контур скорости аналогового регулятора.

A diagram of a computer program

Description automatically generated

Рисунок 4. Схема моделирования системы с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

Для поиска коэффициента у звена запаздывания будем минимизировать функционал близости между переходными процессами с аналоговым и дискретным регуляторами.

A graph with a line

Description automatically generated

Рисунок 5. График функционала близости.

Минимум, как и следовало ожидать, при .

## Синтез цифрового ПИ-регулятора

*A graph with different colored lines

Description automatically generated*

Рисунок 6. Графики переходных процессов модели с цифровым регулятором и полной эквивалентной модели, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора при

Получили технический оптимум, как и требовалось.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

время первого входа в 5% зону

время переходного процесса (5% зона)

перерегулирование

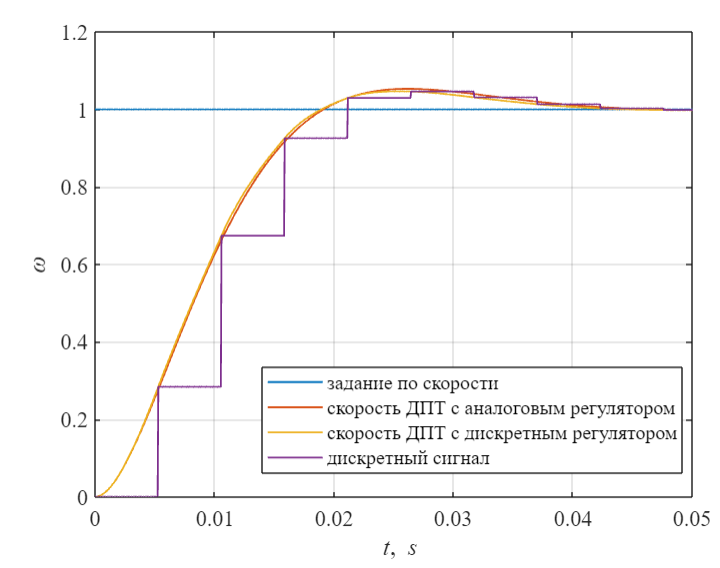
**

Рисунок 7. Графики переходных процессов модели с цифровым регулятором и полной эквивалентной модели, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора при

Получили технический оптимум, как и требовалось.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

время первого входа в 5% зону

время переходного процесса (5% зона)

перерегулирование

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Таблица 3. Параметры переходных процессов.

Быстродействие уменьшилось, а перерегулирование увеличилось при большем значении .

# Синтез системы из условия получения в ней стандартной настройки на «оптимум по модулю» с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

## Расчет регулятора скорости

В этом случае, так как обе постоянных времени много больше, чем то мы можем сократить не только множитель с , но и множитель с коэффициентом

То есть при синтезе регулятора мы не будем приравнивать , тогда у нас получится ПИД-регулятор с замедлением либо 2 последовательно соединенных ПИ и ПД регуляторов.

Реализуем 2 последовательно соединенных ПИ и ПД регулятора.

В этом случае останется ПИ-регулятор из прошлого пункта:

И добавится новый ПД-регулятор:

## Моделирование работы системы настроенной на технический оптимум

A diagram of a computer program

Description automatically generated

Рисунок 8. Схема моделирования системы с последовательно включенными ПД и ПИ регуляторами.

Параметры системы:

A graph with lines and numbers

Description automatically generated with medium confidence

Рисунок 9. Графики переходных процессов систем с цифровым регулятором и эквивалентным аналоговым, настроенных на технический оптимум при

Анализируя графики, можно сказать что у аналоговой системы получился технический оптимум, а у цифровой системы будет довольно большое несоответствие.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

время первого входа в 5% зону

время переходного процесса (5% зона)

перерегулирование

## Аппроксимация апериодическим звеном

A diagram of a computer program

Description automatically generated

Рисунок 10. Схема моделирования системы с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

A graph with a line

Description automatically generated

Рисунок 11. График функционала близости.

Минимум при

## Синтез цифрового регулятора скорости «методом переоборудования»

Параметры системы:

A graph with lines and numbers

Description automatically generated

Рисунок 12. Графики переходных процессов модели с цифровым регулятором и полной эквивалентной модели, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора при

Получился технический оптимум у дискретной системы, однако всё равно присутствует какое-то запаздывание от аналоговой при выбранных выше временных постоянных.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

время первого входа в 5% зону

время переходного процесса (5% зона)

перерегулирование

# Синтез системы из условия получения в ней стандартной настройки на «оптимум по модулю» с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

Добавим запаздывание на 1 такт дискретизации

## Аппроксимация апериодическим звеном

A diagram of a computer program

Description automatically generated

Рисунок 13. Схема моделирования дискретной и эквивалентной непрерывной модели, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

A graph with a blue line

Description automatically generated

Рисунок 14. График функционала близости.

Минимум достигается при

## Синтез цифрового регулятора «методом переоборудования»

A graph with lines and numbers

Description automatically generated

Рисунок 15. Графики переходных процессов дискретной и эквивалентной непрерывной модели, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

Явно видим запаздывание цифровой системы, графики уже достаточно сильно отличаются, однако форма обоих переходных процессов очень близка и соответствует техническому оптимуму.

Показатели качества переходного процесса ДПТ с дискретным регулятором контура тока:

время первого входа в 5% зону

время переходного процесса (5% зона)

перерегулирование

ПРИ НАСТРОЙКЕ НА СИММЕТРИЧНЫЙ ОПТИМУМ ДОБАВИТСЯ ЕЩЕ ОДИН ИНТЕГРАТОР И В ЧИСЛИТЕЛЕ ПОЯВИТСЯ

РЕАЛИЗОВЫАВТЬ ЭТО НА СВОЁ УСМОТРЕНИЕ. МОЖНО ВСЁ ЭТО РЕАЛИЗОВЫВАТЬ ЧЕРЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОР, А МОЖНО ДОБАВИТЬ ЕЩЁ ТРЕТИЙ (ВРОДЕ ПД)РЕГУЛЯТОР (ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО)

# Синтез системы из условия получения в ней стандартной настройки на «симметричный оптимум» с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

# Синтез системы из условия получения в ней стандартной настройки на «симметричный оптимум» с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

# Синтез системы из условия получения в ней стандартной настройки на «симметричный оптимум» с использованием эквивалентной непрерывной модели системы, учитывающей динамические свойства цифрового регулятора для случая

# Выводы

В данной лабораторной работе проводился синтез и исследование цифровой системы управления с ПД-регулятором и объектом в виде последовательно включенных апериодического и интегрирующего звеньев из условия обеспечения заданных переходных процессов (технический и биномиальный оптимумы).

В пункте 1 исследовалась цифровая система с Д-регулятором. Была выявлена разница между аналоговым и цифровым Д-регулятором, которая состоит в том, что цифровой регулятор имеет кусочно-постоянный сигнал управления, с шириной равной периоду дискретизации, а аналоговый в идеальном случае является функцией Хевисайда в момент . А одинаковое у обоих сигналов - энергия ими переносимая (площадь по графиками), она равна коэффициенту регулятором . Поэтому с точки зрения энергии воздействия оба регулятора аналогичны, с точки зрения формы сигнала - существенно различны.

Объектом управления является электрический привод с ДПТ независимого возбуждения. Управление состояло из 2-х контуром: контур управления током якоря и контур управления скорости вращения.

Цифровой ПД-регулятор может скомпенсировать апериодическое звено первого порядка с постоянной времени . Суть компенсации постоянной времени , заключается в том, чтобы составляющие ПД-регулятора в числителе давали , чтобы это сократилось со знаменателем апериодического звена и будет получаться безинерционное звено (в идеальном случае).

Аппроксимировать дискретность с помощью апериодического звена 1-го порядка с определенной из задачи минимизации функционала постоянной .

Итак, после введения данного звена, мы в итоге синтезировали управление, которое учитывает динамические свойства ПД-регулятора. Также в последнем пункте мы учитывали вычислительную задержку, которая появляется из-за того, что на микроконтроллере регулятор рассчитывается не мгновенно. Учет данной вычислительной задержки состоит в добавлении слагаемого 𝑇𝑧 в постоянную времени 𝑇𝜇 = 𝑇𝑡 + 𝑇𝑧 .

При наличии вычислительной задержки, переходный процесс системы с дискретным регулятором имеет задержку от эквивалентной аналоговой системы.

Также при увеличении у нас уменьшилось перерегулирование, а время переходных процессов осталось прежним. Это является свойством ПД-регулятора, так как в отличии от интегрального регулятора ПД-регулятор сдвигает фазу в сторону и система становится более устойчивой.

Вообще говоря, известно, что Д-составляющую вводят в систему для большей устойчивости переходных процессов, однако добавление Д-составляющих увеличивает шумы в системе, так как вычилять их можно только приближенно.

В результате выполнения работы мы имеем две системы, настроенные на биномиальный и технический оптимумы. По рассчитанным показателям качества, можем заключить, что биноминальный оптимум имеет перерегулирование меньше относительно технического, однако быстродействие у него меньше технического.