МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОСCИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА В Г. ТАГАНРОГЕ

Факультет автоматики и вычислительной техники

Кафедра систем автоматического управления

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**к курсовой работе**

## по дисциплине «Теория автоматического управления»

**на тему «Динамический расчет следящих систем»**

Вариант 5, колонка 1.

Выполнил:

студент гр. А-144

18.12.07 г

Безродный С.В.

Проверил:

преподаватель кафедры САУ

18.12.07 г

Гайдук А.Р.

Таганрог 2007 г.

**СОДЕРЖАНИЕ.**

1.ВВЕДЕНИЕ. 3

2.ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ. 5

3.ОПИСАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ. 7

4. УРАВНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ. 8

4.1 Измеритель рассогласования. 8

4.2 Датчик выхода. 9

4.3 Усилитель мощности. 10

4.4 Редуктор. 10

4.5 Двигатель постоянного тока. 11

5.ВЫВОД УРАВНЕНИЙ СИСТЕМЫ. 15

5.1 Уравнения в переменных состояния. 15

5.2 Матричная форма уравнений в переменных состояния. 15

5.3 Уравнения вход-выход заданной части системы. 16

6.АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗАДАННОЙ ЧАСТИ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ. 18

6.1 Проверка управляемости. 18

6.2 Проверка наблюдаемости заданной части системы. 19

6.3 Проверка устойчивости нескорректированной системы. 20

7. СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ. 22

8. СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ. 25

9. ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ. 27

10.ЗАКЛЮЧЕНИЕ. 35

11.СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ. 36

ПРИЛОЖЕНИЕ. Схема электрическая принципиальная.

**1.ВВЕДЕНИЕ.**

В зависимости от характера информации, получаемой об объекте в процессе его работы, наличия его математического описания, статических характеристик объекта и главное – задачи, поставленной перед системой автоматического управления, принципы автоматического управления существенно различаются.

Основной задачей курсовой работы является синтез и последующее исследование следящей системы с использованием современных методов и инструментов теории управления. Основным требованием, предъявляемым к следящим системам, является минимум погрешности , определяемой как разность между заранее неизвестным законом и управляемой величиной . Следящая система представляет собой замкнутую систему регулирования угла поворота вала, управляемого двигателем; задающее воздействие устанавливается путем поворота некоторого задающего вала.



Выполнение данной курсовой работы охватывает следующие разделы курса «Теория управления»: «Составление математических моделей элементов систем и регулярных воздействий»; «Преобразование моделей»; «Аналитический синтез уравнений управляющего устройства по требованиям к качеству системы»; реализация этих уравнений, т.е. разработка схемы устройства управления или алгоритма работы цифрового варианта устройства управления.

Следящие системы применяются для управления радиолокационными антеннами, радиотелескопами, артиллерийскими установками на подвижных платформах, а также для регулирования синхронности и синфазности вращения валов ведущего и ведомого двигателей в том случае, когда они расположены на достаточно большом расстоянии друг от друга.

Нетрудно заметить, что качественные следящие системы, отрабатывающие с заданной точностью поступающие на их вход задающие воздействия, применяются во многих сферах жизнедеятельности людей: в промышленности, в области военной техники, в гражданской авиации и т.д. Однако создание следящих систем, которые затем найдут свое применение в определенных областях человеческой деятельности, включает в себя несколько этапов: постановку задачи, разработку математической модели синтезируемой системы, непосредственно синтез самой системы и переход от математической модели проектируемой системы к реальным устройствам, которые бы описывались синтезированной моделью, т.е. этап реализации. В данной курсовой работе как раз и рассматриваются все перечисленные этапы создания следящих систем.

**2.ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ.**

1) Начертить функциональную схему заданной части системы, вывести дифференциальные уравнения в переменных состояния всех элементов, а также заданной части системы. Численные значения параметров элементов системы:

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Величина |
| , Вт | 77 |
| , А | 1,2 |
| , В | 110 |
| , об/мин | 3000 |
| , Ом | 5,1 |
| , кг·м2 | 25·10-4 |
| , кг·м·с2 | 0,28 |
|  | 75 |
| , с | 0,035 |
| , В/град | 1 |

Тип усилителя – транзисторный.

Тип измерителя рассогласования – сельсины.

2) Проверить наблюдаемость, управляемость и устойчивость заданной части при коэффициенте усиления усилителя .



3) Начертить структурную расчетную схему заданной части, вывести уравнения вход-выход заданной части системы.

4) Построить модальное управление по заданному времени регулирования и условию астатизма первого порядка.



5) Построить наблюдатель Калмана для заданной части системы, перейти к управлению по оценкам переменных состояния, время переходного процесса в наблюдателе положить равным .



6) Проверить устойчивость замкнутой системы, построить переходные характеристики , воспользовавшись для моделирования пакетом SIMULINK for Windows в системе MatLAB.



7) Осуществить выбор электрической схемы усилителя мощности (по литературным источникам), построить схему управляющего устройства вместе с наблюдателем на операционных усилителях и схему всей системы.

**3.ОПИСАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ.**



Рис.1. Функциональная схема проектируемой системы.

ИП-1 – измерительный преобразователь (сельсины)

ИП-2 – потенциометрический преобразователь угла поворота выходного вала

УУ – управляющее устройство

УМ – усилитель мощности

ИД – исполнительный двигатель

Ред – редуктор

Нагрузка – приводимый в движение рассматриваемой системой агрегат

В качестве измерительных преобразователей (чувствительных элементов) используются сельсины. Преобразователь угла поворота выходного вала ИП-2 берется потенциометрическим. Потенциометрические датчики обычно питаются от источника постоянного напряжения. Если измерительные преобразователи работают на переменном токе, то на их выходе включается фазочувствительный усилитель-выпрямитель, являющийся составной частью соответствующего ИП, т.е. его коэффициент передачи учтен в заданном коэффициенте передачи чувствительного элемента.

Управляющее устройство (УУ), принимает сигналы, поступающие с обоих ИП. В нем формируется напряжение, пропорциональное управляющему воздействию, которое затем подается на усилитель мощности (УМ). В курсовой работе синтезируется уравнение УУ и разрабатывается его схема на операционных усилителях.

**4.УРАВНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ**

**4.1 Измеритель рассогласования.**

В данной системе используется измеритель рассогласования на сельсинах, схема которого изображена на рисунке 2.

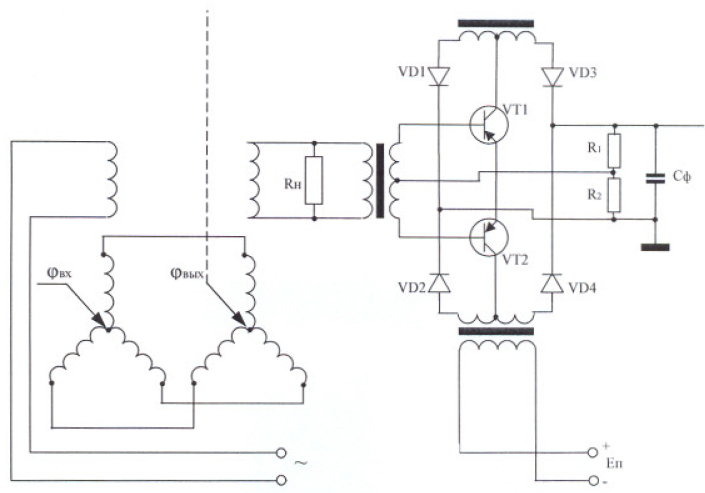


Рис.2. Схема измерителя рассогласования на сельсинах с фазочувствительным усилителем.

Измеритель рассогласования следует считать безынерционным, так как его постоянная времени на несколько порядков меньше постоянных времени остальных звеньев.

,



,



,



Уравнение измерителя рассогласования:

, (1)



где - коэффициент передачи измерителя рассогласования.



(2)



Уравнение в переменных состояния и уравнение вход-выход совпадают, так как данный элемент является безынерционным.

Сельсины являются индукционными машинами, которые позволяют при постоянном напряжении на выходе получать на выходных обмотках систему напряжений, амплитуда и фаза которых определяются угловым положением ротора. Сельсины также позволяют преобразовать такую систему напряжений в соответствующее ей угловое положение ротора или в напряжение, фаза и амплитуда которого являются функцией системы входных напряжений и угла поворота ротора. Поэтому сельсины часто применяются в качестве измерителей рассогласования следящих систем.

**4.2 Датчик выхода.**

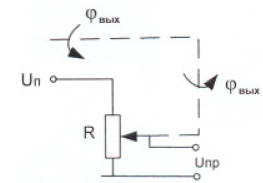


Рис.3. Схема датчика выхода.

Этот датчик угла поворота вала нагрузки описывается уравнением:

, (3)



где .



**4.3 Усилитель мощности.**

Так как по заданию усилитель мощности является звеном первого порядка, то его уравнение имеет вид:

(4)



это уравнение вход-выход.

Обозначим , получим следующую систему:



(5)



это уравнение усилителя.

Передаточная функция усилителя может быть записана в виде:

(6)



Подставляя исходные значения , , получим:



(7)



(8)



(9)



**4.4 Редуктор.**

По техническому заданию инерционность редуктора учитывается в уравнении двигателя, поэтому редуктор считается безынерционным звеном и его уравнение имеет вид:



Уравнение вход-выход и уравнение в переменных состояния:



Передаточная функция редуктора:



**4.5 Двигатель постоянного тока.**

Управление осуществляется по цепи якоря, магнитный поток в зазоре постоянный, а реакция якоря и гистерезис магнитной цепи отсутствует. В этом случае исходные уравнения двигателя оказываются линейными и образуют следующую систему уравнений:

(10)



Здесь – приведенный к валу двигателя момент сопротивления;



– приведенный к валу двигателя момент инерции вращающихся частей;



– напряжение, приложенное к якорю двигателя;



,,, – ток, сопротивление, индуктивность и угловая скорость цепи якоря;



, – конструктивные постоянные двигателя;



– угол поворота вала двигателя.



Установившийся режим работы двигателя:

Значения переменных в этом режиме будем обозначать с нулевыми индексами:

(11)



Эти уравнения можно использовать для определения коэффициентов и, так как один из установившихся режимов называется номинальным и соответствует значениям:



, , ,



(рад/с)



Модель двигателя необходимо получить в отклонениях от установившегося режима, но поскольку уравнение (10) линейное, то уравнения в отклонениях будут иметь вид (10).

Вывод динамической модели:

Так как индукция якоря учтена в постоянной времени усилителя мощности, то в (10) индукция равна нулю. Отсюда можно найти ток якоря:



(12)



Обозначим , и получим уравнения в переменных состояния:



(13)



Для того, чтобы получить уравнение вход-выход необходимо продифференцировать второе уравнение системы по времени.



, (14)



где – электромеханическая постоянная двигателя;



– электромагнитная постоянная двигателя;



, .



Уравнение двигателя принимает вид:

(15)



Расчет коэффициентов:

(кг·м2)



(16)



Передаточная функция двигателя:



Рис.4.Структурная схема двигателя.

; (17)



.



**5.ВЫВОД УРАВНЕНИЙ СИСТЕМЫ.**

**5.1 Уравнения в переменных состояния.**

Здесь объединяются уравнения всех элементов:

* Измерителя рассогласования;
* Датчика выхода;
* Усилителя мощности;
* Двигателя;
* Редуктора

в одну систему путем исключения промежуточных переменных так, чтобы остались входные величины (, , ), переменные состояния (,,) и величина .



Уравнения в переменных состояния:

(18)



Здесь , , , , , , .



5.2 Матричная форма уравнений в переменных состояния.

Учитывая



уравнения в переменных состояния в матричной форме будут иметь вид:

(18)



**5.3 Уравнения вход-выход заданной части системы.**

Для вывода уравнений вход-выход целесообразно построить структурную схему заданной части:

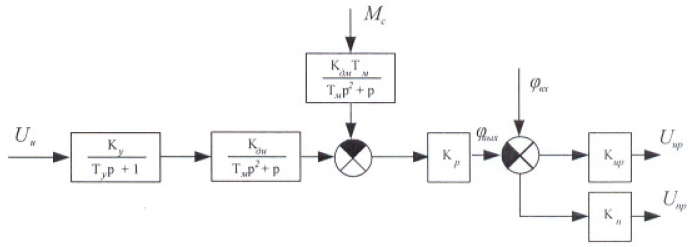


Рис.5. Структурная схема заданной части.



(19)



(20)



Для вывода уравнений вход-выход оба уравнения (20) умножим на общий знаменатель и перейдем к оригиналам:

(21)



**6.АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗАДАННОЙ ЧАСТИ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ.**

**6.1 Проверка управляемости.**

Проверку проводим по уравнению (18) при с помощью критерия управляемости.



Обычно предполагают, что объект управления (система) обеспечивает возможность изменения его переменных состояния и регулируемых величин в соответствие с целью управления с помощью управлений, приложенных к нему. Однако ясно, что в общем случае не всякий объект управления допускает такую возможность, т.е. не каждый объект является управляемым. Следует отметить, что это свойство – управляемости – зависит исключительно от внутренних свойств объекта.

Для оценки управляемости систем используется критерий Калмана, в основе которого лежит матрица управляемости:

,



где - размерность вектора переменных состояния.



В нашем случае , значит:



, ,



,



Матрица U будет иметь вид:



Так как и определитель матрицы U не равен нулю, то объект является полностью управляемым.



**6.2 Проверка наблюдаемости заданной части системы.**

Для формирования модального управления необходимо измерить переменные состояния системы. Но часто бывает так, что переменные состояния недоступны для прямого измерения с помощью каких-либо датчиков. Обычно измеряются выходные величины объекта (системы), такие, как регулируемые переменные, ошибка системы, положение регулирующего органа, скорость изменения регулируемой величины. Отсюда возникает задача наблюдения, которая состоит в необходимости восстановления значений переменных состояния системы по результатам измерения (наблюдения) некоторых выходных величин системы, а это оказывается возможным только в том случае, если объект (система) является наблюдаемым.

Для определения наблюдаемости системы воспользуемся критерием наблюдаемости, предложенный Калманом. Этот критерий использует матрицу наблюдаемости, которая для систем имеет вид:

,



где - размерность вектора переменных состояния.



В нашем случае , значит:



, ,



,



Матрица N будет иметь вид:



Так как и определитель матрицы N не равен нулю, то объект является вполне наблюдаемым.



**6.3 Проверка устойчивости нескорректированной системы.**

Проверка устойчивости нескорректированной замкнутой системы обычно проводится для того, чтобы убедится, нельзя ли построить требуемую следящую систему лишь на основе заданных элементов. Если выходной сигнал измерителя рассогласования подать на вход усилителя, то получится замкнутая система, структурная схема которой приведена на рисунке 6.

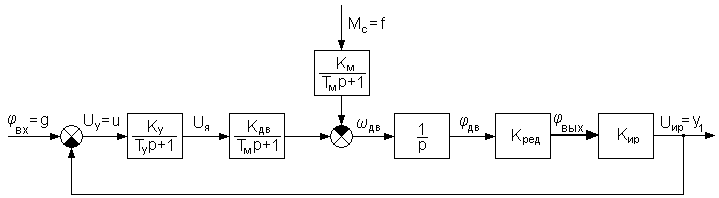


Рис.6.Структурная расчетная схема нескорректированной замкнутой системы.

Для использования алгебраического критерия Гурвица необходимо знать характеристический полином исследуемой замкнутой системы. Таким образом, получим:



Необходимым, но недостаточным условием устойчивости является положительность всех коэффициентов полинома, но поскольку старшая степень полинома равна трем, то для проверки устойчивости также необходимо воспользоваться частным случаем алгебраического критерия Гурвица – критерием Вышнеградского. Согласно последнему, система будет устойчивой, если будет выполнено условие:

,



где - коэффициенты характеристического полинома при переменной р в соответствующих степенях.



Подставим коэффициенты нашего характеристического полинома в последнее выражение и проверим выполнение этого условия:



как видно, условие не выполняется.

Следовательно, для заданной замкнутой системы условие не выполняется, то можно сделать вывод о том, что заданная часть системы является неустойчивой.

**7. СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ.**



Рис.7. Структурная схема следящей системы.

Допустим, заданная часть системы описывается уравнением:

, (24)



где .



Уравнение устройства управления выберем:

(25)



Здесь , и - полиномы, которые нужно определить так, чтобы замкнутая система (24), (25) имела требуемые показатели качества:



Для вывода расчетных соотношений запишем уравнение замкнутой системы:

(26)



Чтобы упростить схему управляющего устройства, примем:

,



.



При этом передаточная функция замкнутой системы определяется выражением:



Число уравнений:



Число коэффициентов:



,



.



,



,



Приравнивая числитель и знаменатель, получим:



Коэффициенты выбираются из таблиц нормирующих передаточных функций по и . Кроме из этой таблицы выбирается :



.



Подставим численные значения всех коэффициентов и произведем расчет:



;



;



;



Искомое уравнение устройства управления имеет вид:

**8. СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ.**



Построение модального управления пригодно лишь в том случае, когда переменные состояния могут быть измерены непосредственно. Если же эти переменные не доступны измерению, то для получения их асимптотических оценок необходимо построить наблюдатель.

Наблюдатель переменных состояния заданной части будем строить на основе наблюдателя Калмана.



Рис.8. Структурная схема системы с наблюдателем.

В соответствие с заданием:



Далее производим расчеты в соответствии со стандартным алгоритмом построения наблюдателя:

, ,



Корни желаемого характеристического полинома выберем следующие:



, , ,



Характеристический полином наблюдателя:



Уравнение наблюдателя имеет вид:



**9. ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ.**

Моделирование как исходной, так и синтезированной систем выполним в среде “SIMULINK” программного пакета “MATLAB”.

Убедимся в том, что оценки переменных состояния «догоняют» переменные состояния объекта на заданном интервале tнаб. Для этого составим структурную схему модели (объект + наблюдатель с управлением по переменным состояния).

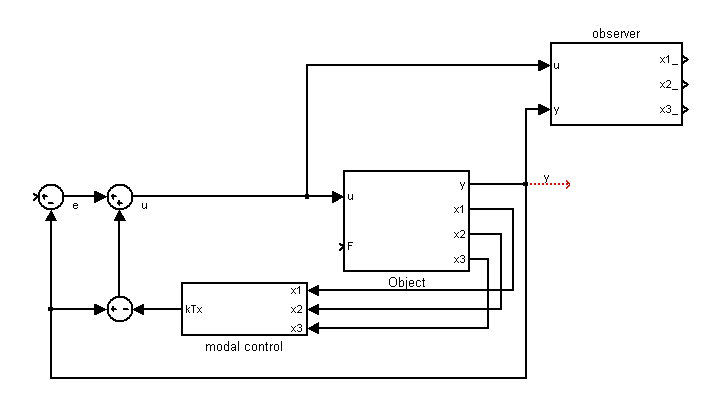


Рис.9. Структурная схема системы с управлением по переменным состояния.

При ненулевых начальных условиях на одном из интеграторов объекта:

Реализуем структурную схему системы с управлением по оценкам переменных состояния.

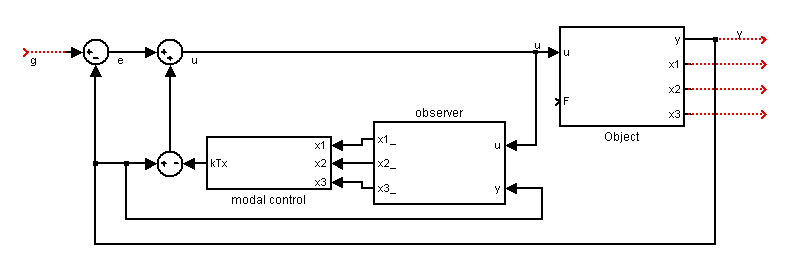


Рис. 13. Структурная схема системы с управлением по оценкам переменных состояния.

Подсистемы (subsystem) объекта управления, наблюдателя и модального управления набраны по соответствующим уравнениям и имеют следующий вид.

Объект управления:

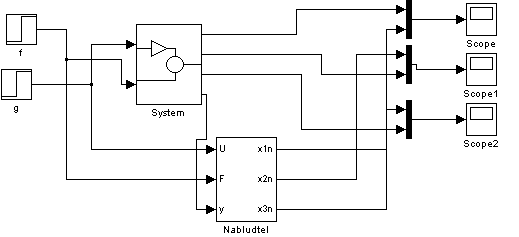


Рис. 14. Модель объекта с наблюдателем переменных состояния.

Наблюдатель:

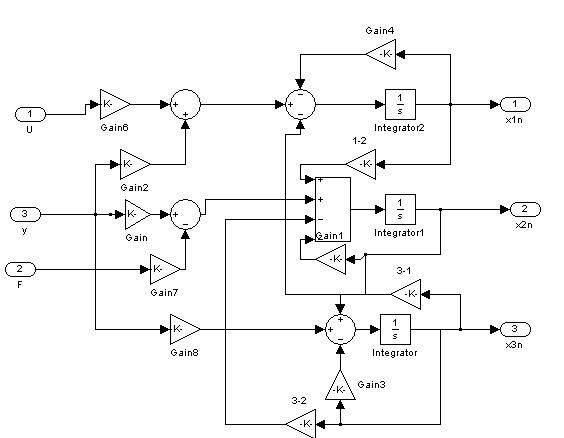


Рис. 15. Структурная схема наблюдателя переменных состояния

Модальное управление:

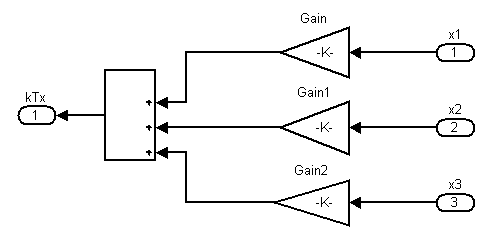


Рис.16. Модель управляющего устройства.

Смоделируем переходной процесс системы при ненулевом начальном условии на одном из интеграторов объекта.

Построим переходные процессы при ступенчатом и линейном изменении задающего воздействия, т.е. входного угла поворота.

На входе ступенчатое воздействие, возмущающего воздействия нет.

На входе ступенчатое воздействие, возмущающее воздействие есть.

На входе линейно нарастающее воздействие, возмущающего воздействия нет, Начальные условия – нулевые.

На входе линейно нарастающее воздействие, возмущающего воздействия нет. Начальные условия – ненулевые.

На входе линейно нарастающее воздействие, возмущающее воздействие есть. Начальные условия – ненулевые.

**Анализ построенного наблюдателя Калмана.**

Из приведенных графиков видно, что оценки переменных состояния «догоняют» переменные состояния объекта на заданном интервале (ошибка оценивания по прошествии этого времени практически равна нулю).



**Анализ построенного модального управления.**

Из графиков ясно видно, что при отсутствии возмущающего момента система отрабатывает входное воздействие g(t) практически с нулевой ошибкой, к установившемуся значению приближаясь за время регулирования , т. е. переходная характеристика входит в пятипроцентный коридор точности полностью после времени регулирования. Это свидетельствует о правильности рассчитанного вектора коэффициентов модального управления.



**10.ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

В данной курсовой работе была синтезирована и исследована с использованием современных методов и инструментов теории управления приборная следящая система.

Данная курсовая работа выполнена с помощью программного пакета SIMULINK в системе MATLAB (для проведения численного моделирования) и программы MathCAD (для выполнения расчётов).

В данной курсовой работе было синтезировано устройство управления, для этого выведены дифференциальные уравнения в переменных состояния всех элементов, а также заданной части системы; проверены наблюдаемость, управляемость и устойчивость заданной части; построена структурная расчётная схема, выведены уравнения вход-выход; построено модальное управление и наблюдатель Калмана; проделано моделирование с помощью SIMULINK в системе MATLAB, а также была построена схема управляющего устройства вместе с наблюдателем на операционных усилителях.

**11.СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.**

1. Теория автоматического управления. Под ред. А. В. Нетушила. Учебник для вузов. Изд. 2-е. М., "Высшая школа",1976.

2. Гайдук А. Р., Пьявченко Т. А. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы «Динамический расчет следящих систем» по дисциплине «Теория управления». Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001. 19с.

3. А. Р. Гайдук. Алгебраические методы анализа и синтеза систем автоматического управления. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1988. 208с.

4. Принципы регулирования. Руководство к лабораторной работе по курсу "Теория автоматического управления"/Таганрог. Радиотехнический институт; Сост. Н. В. Балалаев, Ю. Г. Сотников; Таганрог. 1993. 20 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ. Схема электрическая принципиальная.**

