

Министерство образования Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра радиотехнических систем

**ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ПО
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ**

по дисциплине
“Радиоавтоматика”

для студентов – заочников специальности
“Радиотехника”

Минск 2001

Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ

- 1.1. Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе
- 1.2. Примерная программа лекций
- 1.3. Примерный перечень лабораторных работ

ЛИТЕРАТУРА

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

- 2.1. Введение. Принципы построения и классификация систем радиоавтоматики
- 2.2. Функциональные и структурные схемы систем радиоавтоматики. Элементы систем радиоавтоматики
- 2.3. Анализ устойчивости линейных непрерывных систем радиоавтоматики
- 2.4. Анализ качества работы системы радиоавтоматики
- 2.5. Анализ качества работы систем радиоавтоматики при случайных воздействиях
- 2.6. Анализ систем радиоавтоматики в пространстве состояний
- 2.7. Анализ нелинейных систем радиоавтоматики
- 2.8. Синтез фильтров системы радиоавтоматики методами теории оптимальной линейной фильтрации
- 2.9. Синтез системы радиоавтоматики на основе теории оптимальной фильтрации
- 2.10. Дискретные системы радиоавтоматики
- 2.11. Цифровые системы радиоавтоматики

3. ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

- 3.1. Цель и задачи контрольной работы
- 3.2. Варианты заданий на контрольную работу
- 3.3. Методические указания по выполнению курсовой работы
- 3.4. Методические указания и требования к оформлению контрольной работы

Дополнительная литература к контрольной работе

УДК 621.37/39(075)

Составители: С.А. Ганкевич, Г.Н. Демидович, С.Б. Саломатин.

Программа, Методические указания и задания по контрольной работе по дисциплине "Радиоавтоматика" для студентов - заочников специальности "Радиотехника" /Сост. С.А. Ганкевич, Г.Н. Демидович, С.Б. Саломатин – Мн.: БГУИР, 2001. – 42с.;

Приведено содержание тем программы по дисциплине "Радиоавтоматика" для студентов - заочников специальности "Радиотехника". Помещен примерный перечень лекций и лабораторных работ. Методические указания содержат рекомендации по изучению тем дисциплины и контрольные вопросы. Даны варианты заданий на курсовую работу и методические рекомендации по ее выполнению.

Ил. 5, список лит: - 8 назв.

© Составление С.А. Ганкевич, Г.Н. Демидович, С.Б. Саломати

Библиотека БГУИР

1.1. Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

К радиоавтоматике относится широкий класс систем автоматического управления, используемых в системах передачи информации, радиолокации, радионавигации, радиоуправления. Основное назначение систем радиоавтоматики - слежение за фазой, частотой, временным положением и направлением прихода радиосигнала. С помощью систем радиоавтоматики производится также автоматическая регулировка усиления в радиоприемных устройствах, управление режимами работы радиосистем и контроль их параметров.

Дисциплина "Радиоавтоматика" одна из базовых инженерных дисциплин специальности "Радиотехника". Предметом ее изучения являются автоматические системы, широко используемые в радиоаппаратуре для решения задач селекции, фильтрации, демодуляции, синхронизации сигналов, стабилизации частоты, амплитуды, измерения параметров сигналов и др.

Цель преподавания дисциплины - подготовка студентов к работе по проектированию и применению систем радиоавтоматики.

В процессе изучения дисциплины студенты должны изучить принципы построения, математическое описание, методы анализа и синтеза систем радиоавтоматики, приобрести навыки расчета этих систем.

Содержание дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении математики, физики, а также специальных дисциплин: "Основы теории электрических цепей", "Радиотехнические цепи и сигналы", "Усилительные устройства". Материалы дисциплины используют в дальнейшем в курсах "Радиоприемные устройства", "Радиопередающие устройства", "Телевидение", "Радиотехнические системы".

Основная форма изучения дисциплины для студентов-заочников - самостоятельная проработка материала с использованием рекомендованной ниже литературы.

Программой предусмотрено выполнение курсовой работы, выполнение лабораторного практикума в объеме 16 часов, чтение обзорных лекций в объеме 8 часов и 2 часа практических занятий. Изучение дисциплины завершается защитой курсовой работы и экзаменом.

Настоящие методические указания составлены на основе типовой программы дисциплины "Радиоавтоматика" УМУ-Т-7/181, утвержденной 11 июля 1984г.

1.2. Примерная программа лекций

1. Введение. Принципы построения и классификация систем радиоавтоматики. Функциональные и структурные схемы систем радиоавтоматики и их элементов - 2 часа.

2. Анализ линейных непрерывных систем радиоавтоматики. Анализ детерминированных процессов в линейных стационарных системах радиоавтоматики. Анализ случайных процессов в линейных системах радиоавтоматики - 2 часа.

3. Анализ нелинейных систем радиоавтоматики - 2 часа.

4. Методы синтеза систем радиоавтоматики - 2 часа.

1.3. Примерный перечень лабораторных работ

1. Исследование цифрового временного дискриминатора.
2. Исследование линейной модели следящей системы.
3. Исследование системы фазовой автоподстройки частоты.
4. Исследование цифровой следящей системы.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика. - М.: Высшая школа, 1990.
2. Первачев С.В. Радиоавтоматика. - М.: Радио и связь, 1982.
3. Радиоавтоматика. /Под ред. В.А. Бессекерского. - М.: Вышш. шк. 1985.

Дополнительная

1. Цифровые системы фазовой синхронизации./ Под ред. М.И. Жодзишского. - М.: Сов. радио, 1980.
2. Первачев С.В., Валуев А.А., Чиликин В.М. Статистическая динамика радиотехнических следящих систем. - М.: Сов. радио, 1973.
3. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1972.
4. Яшугин Е.А. Теория линейных непрерывных систем автоматического управления в вопросах и ответах: Справ. пособие. - М.: Вышш. шк., 1986.
5. Гитис Э.И. Техническая кибернетика. - М.: Сов. радио, 1968.
6. Ганкевич С.А., Саломатин С.Б. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Радиоавтоматика" для студентов радиотехнических специальностей. Ч 1. – Мн.: МРТИ, 1991; Ч 2. - Мн.: БГУИР, 1994.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Введение. Принципы построения и классификация систем радиоавтоматики

Содержание

Понятие систем радиоавтоматики. Связь теории радиоавтоматических систем с общей теорией автоматического управления. Развитие автоматических и автоматизированных систем как одно из важнейших составляющих прогресса в области радиоэлектроники. Краткие сведения об истории развития систем радиоавтоматики и роли отечественных ученых в этом развитии.

Основные принципы управления (регулирования) используемые в системах радиоавтоматики. Замкнутый контур управления как основная форма построения систем радиоавтоматики. Воздействия, оказывающие влияние на контур управления: задающие и мешающие. Разомкнутый контур управления. Сравнение разомкнутого и замкнутого контуров.

Классификация систем радиоавтоматики: по виду параметра радиосигнала (фаза, частота, временной сдвиг и т.п.), рассматриваемого в качестве задающего воздействия; по характеру уравнения, описывающего поведение системы (непрерывное или дискретное, линейное или нелинейное, с постоянными или переменными параметрами); по поведению в условиях априорной неопределенности статических характеристик задающего воздействия и помех и другим признакам.

Литература [1], с. 3-9 [2], с. 4-18, [3], с. 7-10, 26.

Методические указания

При изучении данной темы следует четко уяснить понятие и назначение систем радиоавтоматики, их место в классе систем автоматического управления, а также существенные особенности, связанные с обработкой радиосигнала в этих системах.

Одним из основных признаков классификации систем радиоавтоматики является принцип управления. По этому признаку системы радиоавтоматики классифицируются на системы с управлением по рассогласованию, с управлением по воздействию и с комбинированным управлением. Системы с управлением по рассогласованию получили наиболее широкое распространение. Принцип управления по рассогласованию реализуется на основе замкнутого контура управления.

Изучая структуру системы автоматического управления по рассогласованию, следует обратить внимание на особенности систем радиоавтоматики, обусловленные тем, что задающим воздействием и управляемой величиной являются параметры радиосигналов (частота, фаза, временное положение, направление прихода), поступающих на входы измерителя рассогласования (дискриминатора).

Кроме принципа управления, существуют и другие признаки классификации: характер задающего воздействия, вид параметра радиосигнала, характер уравнения, которым описывается процесс управления, поведение в условиях априорной

неопределенности статистических характеристик задающего воздействия и помех и т.д.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют системы радиоавтоматики?
2. Приведите примеры систем радиоавтоматики.
3. Какими отличительными особенностями характеризуются системы радиоавтоматики?
4. Какие принципы регулирования используются в системах радиоавтоматики?
5. Что представляют собой замкнутый и разомкнутый контуры управления? Дайте краткую характеристику объекта управления и регулятора.
6. Приведите примеры систем радиоавтоматики с разомкнутым и замкнутым контурами управления.
7. Поясните особенности систем стабилизации, программного управления и следящих систем.
8. Какие системы относят к линейным и нелинейным, стационарным и нестационарным, непрерывным и дискретным?

2.2. Функциональные и структурные схемы систем радиоавтоматики. Элементы систем радиоавтоматики

Содержание

Функциональные схемы радиотехнических следящих систем: систем частотной и фазовой автоподстройки, системы углового сопровождения, системы слежения за временным положением сигнала. Принцип работы указанных систем. Основные области их применения.

Основные элементы радиотехнических следящих систем, их математическое описание и структурные схемы.

Измерители рассогласования (дискриминаторы) и их статистические эквиваленты. Дискриминационная характеристика и энергетический спектр флюктуационной составляющей напряжения на выходе дискриминатора. Аппроксимация флюктуирующего напряжения на выходе дискриминатора белым шумом. Флюктуационная характеристика дискриминатора. Зависимость статистических характеристик дискриминатора от соотношения сигнал/шум на входе приемного устройства, параметров приемного устройства и дискриминатора. Упрощение статистического эквивалента дискриминатора.

Объекты управления систем радиоавтоматики (перестраиваемые элементы этих систем): управляемые по частоте и фазе генераторы, устройства управляемой временной задержки, устройства управления положением диаграмм направленности антенных систем.

Фильтры и их роль в формировании управляющего воздействия.

Переход от функциональной схемы радиотехнической следящей системы к структурной схеме, представляющей математическую модель системы.

Обобщенные функциональная и структурная схемы радиотехнической следящей системы. Уравнение, описывающее поведение обобщенной радиотехнической следящей системы.

Функциональная и структурная схемы системы автоматической регулировки усиления. Особенности этой системы по сравнению с радиотехническими следящими системами.

Математическое описание линейных непрерывных систем радиоавтоматики с помощью дифференциальных уравнений. Определение операторного коэффициента передачи, связывающего воздействие и изучаемый в системе процесс. Правила простейших преобразований структурных схем следящих систем. Определение других характеристик линейных непрерывных систем радиоавтоматики: комплексных коэффициентов передачи, передаточных функций переходных и импульсных переходных функций. Связь указанных функций между собой.

Использование логарифмических частотных характеристик для анализа систем радиоавтоматики. Асимптотическая ЛАХ и методика ее построения.

Соединение звеньев систем радиоавтоматики. Составление и преобразование структурных схем линейных систем. Правила структурных преобразований.

Передаточные функции систем, находящихся в разомкнутом и замкнутом состоянии. Передаточные функции от воздействия к ошибке, от возмущающего воздействия к ошибке. Методика определения передаточной функции из любого сечения системы в заданное.

Типовые динамические звенья систем радиоавтоматики и типовые передаточные функции. Классификация, модели типовых звеньев, их временные и частотные характеристики.

Литература: [1, с. 9-79], [2, с. 13-48, 58-71] [3, с. 10-63].

Методические указания

Тема важна для уяснения принципов построения систем радиоавтоматики, понимания физики процессов, протекающих в системах и особенностей систем радиоавтоматики различного назначения, освоения методов описания и исследования систем радиоавтоматики.

При проработке материала этой темы основное внимание должно быть уделено изучению принципов построения систем и особенностей систем слежения за параметрами радио- и видеосигналов, выявлению общих черт, присущих системам различного назначения. С этой целью необходимо детально изучить функциональные и структурные схемы систем частотной и фазовой автоподстройки, систем углового сопровождения и слежения за временным положением импульсного сигнала, системы автоматической регулировки усиления. Особое внимание должно быть уделено анализу дискриминатора и других элементов систем радиоавтоматики, их роли в системе. Следует усвоить, что дискриминационная и Флюктуационная характеристики дискриминатора являются важнейшими его характеристиками, используемыми при исследовании систем радиоавтоматики в условиях действия помех.

Сопоставление функциональных и структурных схем радиотехнических следящих систем различного типа позволяет выявить общие черты и составить обобщен-

ную функциональную и структурную схемы этих систем.

Следует учесть, что в описании структурной схемы (математической модели системы) задающим воздействием и управляемой величиной являются не реальные радио- и видеосигналы, поступающие на входы дискриминатора, а их параметры (частота, фаза, временное положение и т.д.).

Основные методы математического исследования автоматических систем могут быть разделены на две группы - временные и частотные. Временные методы базируются на использовании дифференциального уравнения системы, позволяющего определить операторный коэффициент передачи, связывающий воздействие и изучаемый процесс, и найти другие важнейшие характеристики системы. Частотные методы основаны на использовании комплексного коэффициента передачи системы, а также ее частотных логарифмических характеристик. Следует четко усвоить математические взаимосвязи между характеристиками линейной системы, наличие которых позволяет найти по одной известной характеристике другие.

Необходимо усвоить правила простейших преобразований структурных схем радиоавтоматики, научиться определять операторные коэффициенты передач от воздействий к изучаемым процессам в различных точках структурных схем.

Контрольные вопросы

1. Приведите функциональную схему системы частотной автоподстройки (ЧАП) и поясните ее работу.
2. На основе математического описания системы ЧАП составьте ее структурную схему.
3. Чем отличаются функциональная и структурная схемы системы радиоавтоматики?
4. Приведите функциональные схемы систем фазовой автоподстройки, слежения за временным положением импульсного сигнала, угломерной следящей системы.
5. Составьте структурные схемы систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), слежения за временным положением импульсного сигнала, угломерной следящей системы.
6. Перечислите и охарактеризуйте основные элементы систем слежения за параметрами радио- и видеосигнала.
7. Как математически описываются основные элементы радиотехнических следящих систем?
8. Что называется дискриминатором? Каково его назначение? Основные виды дискриминаторов.
9. Приведите обобщенные функциональную и структурную схемы радиотехнической следящей системы и поясните назначение отдельных узлов и звеньев.
10. Что такое дискриминационная и флюктуационная характеристики?
11. От каких параметров зависят статистические характеристики дискриминаторов?
12. Как достигается упрощение статистического эквивалента дискриминатора?

13. Приведите функциональную схему системы автоматической регулировки усиления, поясните ее работу и особенности построения ее отдельных узлов.
14. Составьте структурную схему системы автоматической регулировки усиления.
15. Охарактеризуйте основные методы математического исследования систем радиоавтоматики.
16. Что такое операторный коэффициент передачи?
17. Что такое передаточная функция, комплексный коэффициент передачи, переходная функция и импульсная переходная функция?
18. Как по одной известной характеристике линейной системы определить неизвестные?
19. Как найти операторный коэффициент передачи от воздействия к изучаемому процессу?
20. Что такое коэффициент передачи прямой цепи? Как определяется коэффициент передачи разомкнутой системы?
21. Перечислите и поясните основные правила структурных преобразований схем радиоавтоматики.

2.3. Анализ устойчивости линейных непрерывных систем радиоавтоматики

Содержание

Понятие устойчивости систем радиоавтоматики и критериев устойчивости. Применение для анализа устойчивости систем радиоавтоматики алгебраического критерия Гурвица и частотных критериев устойчивости (Михайлова и Найквиста). Типовые линейные звенья, их амплитудные, фазочастотные характеристики и годографы. Особенности годографов систем, содержащих интеграторы. Учет временного запаздывания в системе. Использование логарифмических амплитудно- и фазочастотных характеристик системы и ее отдельных звеньев при анализе устойчивости.

Литература: [1, с. 64-79] [2 с. 81-91] [3, с. 49-58, 74-85].

Методические указания

При изучении данной темы следует прежде всего четко усвоить, что устойчивость системы является необходимым условием ее нормального функционирования. Под устойчивостью понимается способность системы к возвращению в состояние равновесия после прекращения воздействия, которым система была выведена из этого состояния. Устойчивость системы автоматического управления может быть определена на основе анализа однородного дифференциального уравнения системы. Система устойчива, если все вещественные корни характеристического уравнения, соответствующего дифференциальному уравнению, отрицательны, а все комплексно-сопряженные корни этого уравнения имеют отрицательные вещественные части. При этом для исследования системы на устойчивость нет необходимости определять точные значения корней характе-

ристического уравнения.

Изучая алгебраические критерии устойчивости, необходимо обратить внимание на то, что при составлении характеристического уравнения системы следует учитывать инерционные свойства всех звеньев, входящих в систему.

Изучение и практическое использование частотных критериев устойчивости базируется на четком усвоении понятия динамического звена, знании методики составления дифференциальных уравнений различных звеньев, построения частотных и временных характеристик типовых звеньев.

Необходимо усвоить методику построения годографа и логарифмических амплитудно- и фазочастотных характеристик. Пользуясь соответствующими критериями устойчивости, по годографу и логарифмическим характеристикам следует научиться анализировать систему на устойчивость, а для устойчивых систем определять запасы устойчивости.

Контрольные вопросы

1. Что такое устойчивость и каковы физические причины неустойчивости системы?
2. Как связана устойчивость с характером колебаний переходного процесса в системе?
3. Определите, в чем сущность алгебраического критерия устойчивости.
4. Опишите временные и частотные характеристики типовых динамических звеньев.
5. Что такое годограф разомкнутой системы?
6. В чем сущность частотного критерия устойчивости по Найквисту?
7. Каковы достоинства частотного критерия устойчивости?
8. Что такое запас устойчивости по фазе и по амплитуде?
9. Поясните методику построения логарифмических частотных характеристик.
10. Как с помощью логарифмических частотных характеристик определить устойчивость системы?

2.4. Анализ качества работы системы радиоавтоматики

Содержание

Понятие переходного процесса и показателей качества систем радиоавтоматики. Частотные показатели качества.

Анализ точности при детерминированных воздействиях. Динамическая ошибка слежения. Коэффициенты ошибки. Методы вычисления коэффициентов ошибки по производным входного воздействия. Понятие астатизма следящих систем. Динамические ошибки в следящих системах с астатизмом различного порядка. Анализ динамики радиотехнических следящих систем.

Литература: [1, с. 79-88], [2, с. 94-104], [3, с. 85-94].

Методические указания

Системы радиоавтоматики являются принципиально нелинейными системами. Однако при малом уровне воздействий и помех рабочие точки не выходят за пределы линейных участков рабочих характеристик нелинейных элементов систем. Согласно принципу суперпозиции в линейных следящих системах детерминированные и случайные составляющие процессов могут быть проанализированы отдельно.

Для анализа детерминированных процессов наиболее широко используются: операторный метод, метод преобразования Фурье, метод импульсных переходных функций. Эти методы необходимо хорошо изучить и уметь применять на практике. Для изучения методов рекомендуется разобрать примеры, приведенные в литературе.

При изучении вопросов исследования переходного режима необходимо четко уяснить связь между характеристиками переходного процесса (временем установления и величиной перерегулирования) и запасом устойчивости системы. Изучая установившийся режим, следует обратить особое внимание на зависимость величины динамической ошибки от порядка астатизма системы и степени полинома, описывающего входное воздействие. Нулевое установившееся значение ошибки имеет место в системе, порядок астатизма которой превышает степень полинома, описывающего входное воздействие.

Контрольные вопросы

1. Перечислите и охарактеризуйте основные методы исследования линейных систем радиоавтоматики.
2. Как определяются прямое и обратное преобразования Лапласа?
3. Перечислите основные свойства преобразования Лапласа.
4. Какова основная цель использования преобразования Лапласа для анализа линейных непрерывных систем радиоавтоматики?
5. Как определяются прямое и обратное преобразования Фурье?
6. Перечислите основные свойства преобразования Фурье.
7. Какова цель использования преобразования Фурье для анализа систем?
8. Определите основные характеристики переходного процесса.
9. Чем определяется характер переходного процесса?
10. Как связана устойчивость системы с характером переходного процесса?
11. Как определяются коэффициенты ошибок?
12. Поясните смысл коэффициентов ошибки нулевого, первого и более высоких порядков.
13. Какие системы называются статическими?
14. Чем определяется порядок астатизма системы?
15. Можно ли обеспечить в статической системе нулевое значение ошибки в установившемся режиме?
16. От каких параметров линейного воздействия и системы с астатизмом первого порядка зависит значение установившейся ошибки.
17. От каких параметров воздействия и системы зависит значение установившейся ошибки для системы с астатизмом второго порядка при квадратичном и линей-

ном воздействии?

2.5. Анализ качества работы систем радиоавтоматики при случайных воздействиях

Содержание

Понятие точности систем радиоавтоматики при случайных воздействиях, показатели точности. Определение статистических характеристик случайных процессов в линейных системах радиоавтоматики в установившемся режиме. Определение дисперсии случайных процессов с помощью стандартных интегралов. Понятие эквивалентной шумовой полосы пропускания следящей системы. Методика расчета дисперсии ошибки слежения, вызванной действием шума на выходе дискриминатора и неточным воспроизведением задающего воздействия, являющегося случайным процессом.

Определение статистических характеристик случайных процессов в переходном режиме. Понятие памяти следящей системы при замирании сигнала и действии шума.

Оптимизация параметров линейных систем с учетом требований, предъявляемых к их точности, быстродействию, помехоустойчивости.

Особенности анализа процессов в линейных нестационарных системах.

Литература: [1, с. 88-97], [2, с. 105-128], [3, с. 104-130].

Методические указания

Задающее воздействие, флюктуационная составляющая напряжения на выходе дискриминатора, внутренние возмущения в системе и выходная величина в реальных системах радиоавтоматики, как правило, являются случайными процессами. Анализируя эти процессы, следует обратить внимание на причины, приводящие к нормализации выходного процесса в следящих системах.

Необходимо хорошо овладеть методикой определения дисперсии выходного процесса, в частности, с помощью табулированных интегралов.

Важное значение для анализа случайной составляющей ошибки слежения имеет понятие шумовой полосы системы.

Необходимо помнить, что флюктуационная составляющая напряжения на выходе дискриминатора образуется в результате совместного нелинейного преобразования входного процесса и опорного сигнала и ее не следует путать с входным шумом. При расчете дисперсии выходного процесса в качестве одного из сомножителей используется значение приведенной ко входу дискриминатора спектральной плотности соответствующего шума (фазового, частотного и т.д.), но не входного шума, поступающего в смеси с сигналом.

Следует четко уяснить, что величина динамической ошибки радиотехнической следящей системы обратно пропорциональна коэффициенту передачи в контуре управления, а флюктуационной - прямо пропорциональна. Параметры системы, при которых достигается минимум среднего значения квадрата ошибки, определяются путем оптимизации. Необходимо помнить, что выбор конкретного критерия оптимизации

определяется требованиями, предъявляемыми к следящей системе.

При изучении данной темы следует также познакомиться с методами анализа переходных режимов и нестационарных систем.

Контрольные вопросы

1. Почему закон распределения выходного процесса следящей системы оказывается близким к нормальному?
2. Как связаны между собой в линейных системах радиоавтоматики статистические характеристики выходных случайных процессов с соответствующими характеристиками входных случайных процессов?
3. С помощью каких табулированных интегралов определяется дисперсия выходного процесса в линейных стационарных системах радиоавтоматики?
4. Что такое эквивалентная шумовая полоса следящей системы?
5. Какие критерии оптимальности используются при оптимизации параметров линейных систем радиоавтоматики?
6. Какова методика определения характеристик случайных процессов в переходном режиме?
7. Что такое память следящей системы?
8. Обеспечивает ли система с астатизмом первого порядка память по скорости?
9. Какие методы используются при анализе детерминированных и случайных процессов в нестационарных следящих системах?

2.6. Анализ систем радиоавтоматики в пространстве состояний

Содержание

Векторные дифференциальные уравнения систем радиоавтоматики. Структурные схемы, соответствующие векторным дифференциальным уравнениям. Определение матрицы перехода. Интегральные оценки качества работ систем радиоавтоматики в пространстве состояний.

Литература: [1, с. 124-138]

Методические указания

Метод анализа систем радиоавтоматики в пространстве состояний базируется на методах матричного исчисления и векторного анализа. Согласно этому методу дифференциальное уравнение системы путем составления системы дифференциальных уравнений, связывающих переменную состояния системы с производными этой переменной, а также входное воздействие с коэффициентами дифференциального уравнения, преобразуется в векторное дифференциальное уравнение. При этом производные переменной состояния не зависят от производных входного воздействия.

Необходимо уяснить сущность уравнения состояния системы уравнение выхода, назначение матрицы системы, матрицы управления, матрицы наблюде-

ния, их место и роль при построении структурных схем систем радиоавтоматики в векторной форме. Следует обратить внимание на неоднозначность выбора переменных состояния.

Понятия фундаментальной матрицы и матрицы перехода связаны с решением векторного дифференциального уравнения. Следует обратить внимание на ее нахождение в случае стационарных систем при выборе различных переменных состояния.

При рассмотрении интегральных оценок качества работы систем необходимо обратить внимание на методику нахождения оптимальных значений параметров системы из условия минимума интегральной оценки.

Контрольные вопросы

1. Физический смысл переменных состояния.
2. В чем состоит физический смысл матриц состояния, наблюдения, управления, перехода?
3. С какой целью применяются интегральные оценки и к каким системам радиоавтоматики можно применить первую интегральную оценку?

2.7. Анализ нелинейных систем радиоавтоматики

Содержание

Основные виды нелинейности, присущие типовым элементам радиоавтоматики, нелинейные режимы работы радиотехнических следящих систем. Захват и срыв сопровождения.

Краткая характеристика методов анализа нелинейных систем радиоавтоматики: метода кусочно-линейной аппроксимации, метода гармонической линеаризации, метода статистической линеаризации, метода фазовой плоскости и др.

Сущность применения метода фазовой плоскости для изучения процессов в нелинейной системе. Метод гармонической линеаризации нелинейных звеньев. Уравнение нелинейной системы. Частотный метод определения параметров автоколебаний. Статическая линеаризация характеристик нелинейных элементов. Применение метода статистической линеаризации анализа стационарных режимов и срыва слежения. Применение теории Марковских процессов для анализа нелинейных систем.

Литература: [1, с. 238-262], [2, с. 129-156], [3, с. 147-177].

Методические указания

Система является нелинейной при наличии в ее составе звеньев, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями, или имеющих нелинейную статическую характеристику. Причем одна и та же система в различных режимах работы может рассматриваться как линейная, так и нелинейная.

Необходимо изучить основные виды нелинейностей, присущие типовым элементам радиоавтоматики, и особенности процессов в нелинейных системах.

Особое внимание следует обратить на такие важнейшие режимы, как срыв слежения и режим захвата, четко уяснить такие понятия, как полоса удержания и полоса захвата.

Необходимо изучить общую характеристику методов анализа нелинейных систем радиоавтоматики и более детально - метод фазовой плоскости и метод статистической линеаризации. Для овладения методами анализа рекомендуется внимательно разобрать примеры, приведенные в литературе.

Изучая применение теории Марковских процессов для анализа нелинейных систем, следует четко уяснить сущность метода и его ограничения.

Контрольные вопросы

1. 1. Какие системы называются нелинейными?
2. 2. Перечислите и охарактеризуйте основные виды нелинейностей, присущие типовым элементам радиоавтоматики.
3. 3. Каковы основные особенности процессов в нелинейных системах?
4. 4. Объясните явление срыва слежения в системах радиоавтоматики.
5. 5. В чем сущность режима захвата?
6. 6. Дайте определение полосы удержания и полосы захвата.
7. 7. Назовите и охарактеризуйте методы анализа нелинейных систем радиоавтоматики.
8. 8. Определите фазовое пространство, фазовую плоскость, фазовую траекторию, фазовый портрет.
9. 9. Какие точки и линии на фазовой плоскости называются особыми?
10. 10. Перечислите и охарактеризуйте известные вам виды особых точек.
11. 11. Какая фазовая траектория соответствует режиму автоколебаний?
12. 12. Дайте общую характеристику метода статистической линеаризации.
13. 13. Как с помощью метода статистической линеаризации определить установившееся значение математического ожидания и дисперсии ошибки в нелинейной следящей системе?
14. 14. Как оценить условия срыва слежения с помощью метода статистической линеаризации?
15. 15. В чем отличие метода гармонической линеаризации от метода статистической линеаризации?
16. 16. В чем состоит физический смысл решения уравнения Фоккера-Планка?

2.8. Синтез фильтров системы радиоавтоматики методами теории оптимальной линейной фильтрации

Содержание

Постановка задачи проектирования. Определения желаемой передаточной функции разомкнутой системы. Нахождение передаточных функций корректирующих устройств.

Последовательные корректирующие устройства. Выбор параметров звена с опережением по фазе. Параллельные корректирующие устройства. Жесткая и гибкая обратные связи. Сравнение последовательных и параллельных корректирующих устройств.

Литература: [1, с. 98-112].

Методические указания

При изучении темы необходимо уделить особое внимание сущности проектирования, постановке задачи проектирования, заданных показателей качества работы системы и характеристик условий функционирования. Следует уяснить, что является определяющим при выборе метода проектирования, каким образом определяется желаемый результат работы системы, в частности, желаемая передаточная функция системы и как определяются передаточные функции последовательных и параллельных корректирующих устройств.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается постановка задачи проектирования системы радиоавтоматики?
2. Как определяется желаемая передаточная функция?
3. Как определяется передаточная функции последовательных и параллельных корректирующих устройств?
4. Перечислите и охарактеризуйте основные схемы дифференцирующих устройств, применяемых в качестве корректирующих.

2.9. Синтез системы радиоавтоматики на основе теории оптимальной фильтрации

Содержание

Критерии оптимизации. Сведение задачи синтеза фильтра в контуре следящей системы к общей задаче оптимальной линейной фильтрации. Уравнение Винера-Хопфа. Решения уравнения Винера-Хопфа без учета условий физической реализуемости синтезируемой системы. Определение передаточной функции оптимального линейного фильтра. Методика расчета. Определение потенциальной точности слежения при использовании в системе оптимального фильтра.

Фильтры Калмана. Постановка задачи. Уравнения состояния. Синтез фильтров Калмана.

Литература: [1, с. 138-152], [2, с. 157-188], [3, с. 177-194].

Методические указания

Тема достаточно сложна для усвоения. Необходимо прежде всего изучить критерии оптимизации и возможность представления системы радиоавтоматики эквивалентным фильтром и на этой основе сведения задачи синтеза фильтров следящих систем к общей задаче синтеза оптимальных линейных фильтров радиотехнических систем передачи и извлечения информации.

Синтез линейных систем радиоавтоматики производится в частотной и временной областях. При синтезе в частотной области импульсная переходная функция оптимального фильтра (фильтра Винера) находится в результате решения интегрального уравнения Винера. При синтезе во временной области оптимального линейного фильтра (фильтра Калмана) используется метод пространства состояний. Фильтр Винера минимизирует средний квадрат ошибки только в стационарном режиме, фильтр Калмана минимизирует математическое ожидание квадрата ошибки в произвольный момент времени.

Изучая синтез фильтра Винера, необходимо иметь в виду, что решение интегрального уравнения позволяет определить характеристики как физически нереализуемого оптимального линейного фильтра, так и физически реализуемого. Следует обратить внимание на важность исследования характеристик физически нереализуемого линейного оптимального фильтра, которые определяют потенциальные точностные возможности линейных фильтров, в частности минимальный предел дисперсии ошибки. Необходимо также проанализировать выражение, определяющее комплексный коэффициент передачи оптимального физически нереализуемого фильтра, которое хорошо иллюстрирует механизм процесса фильтрации. Методику вычисления комплексного коэффициента передачи оптимального физически реализуемого фильтра следует рассмотреть на конкретном примере.

Контрольные вопросы

1. Какие критерии оптимальности применяются при решении задач синтеза систем радиоавтоматики?
2. Как может быть представлена следящая система при решении задачи синтеза?
3. Сформулируйте задачу синтеза оптимального линейного фильтра.
4. Изложите методику получения интегрального уравнения Винера.
5. Как на основе интегрального уравнения Винера определить комплексный коэффициент передачи оптимального физически нереализуемого фильтра?
6. Проанализируйте выражение, определяющее комплексный коэффициент передачи оптимального физически нереализуемого фильтра с точки зрения физической сущности процесса фильтрации.
7. Изложите методику вычисления комплексного коэффициента передачи оптимального физически реализуемого линейного фильтра.

2.10. Дискретные системы радиоавтоматики

Содержание

Системы прерывистого регулирования. Системы с конечным временем съема данных и дискретные системы. Сведение систем радиоавтоматики с конечным временем замыкания ключа к дискретным. Понятие импульсного элемента.

Использование при анализе дискретных систем радиоавтоматики дискретных функций времени, дискретного преобразования Лапласа и Z - преобразования. Определение характеристик дискретных систем радиоавтоматики: дискретных передаточных функций, разностных уравнений, операторных коэффициентов передачи, комплексных коэффициентов передачи.

Анализ устойчивости дискретных систем радиоавтоматики. Методы анализа детерминированных и случайных процессов в линейных дискретных системах радиоавтоматики. Вычисление математического ожидания и дисперсии ошибок слежения. Условие эквивалентности дискретных и непрерывных систем.

Литература: [1, с. 152-181], [2, с. 202-231], [3, с. 196-219].

Методические указания

Важность детального изучения данной и последующей тем обусловлена широким использованием и перспективностью дискретных и цифровых систем радиоавтоматики.

Изучая системы прерывистого регулирования, следует обратить особое внимание на условия, при которых системы прерывистого регулирования могут анализироваться как непрерывные системы, системы с конечным временем съема данных и дискретные. При изучении методики составления структурных схем обратите внимание на понятие и характеристику импульсного элемента, который широко используется в структурных схемах как дискретных, так и цифровых систем.

Большое внимание при изучении данной темы следует уделить методам математического описания дискретных систем: дискретного преобразования Лапласа и Z - преобразования. Изучая характеристики дискретных систем радиоавтоматики, необходимо обратить особое внимание на методику составления разностного уравнения, с помощью которого определяется связь между дискретными процессами на выходе и входе системы и которое является аналогом дифференциального уравнения непрерывной следящей системы.

При изучении вопросов устойчивости, анализа детерминированных и случайных процессов в дискретных системах необходимо разобрать конкретные примеры.

Контрольные вопросы

1. Изобразите функциональную схему следящей системы с прерывистыми входным сигналом и поясните ее работу.
2. При каких условиях система с прерывистым регулированием может быть сведена к непрерывной системе, системе с конечным временем съема и дискретной системе?
3. Дайте определение импульсного элемента. Изобразите характеристику идеального импульсного элемента. Чем отличается реальный импульсный элемент от идеального?

4. Составьте структурную схему системы прерывистого регулирования.
5. Дайте определение и перечислите основные свойства Z - преобразования.
6. Как определить передаточную функцию разомкнутой и замкнутой дискретной системы радиоавтоматики?
7. Составьте разностное уравнение дискретной системы.
8. Определите операторный коэффициент передачи.
9. Поясните физический смысл комплексного коэффициента передачи дискретной системы.
10. Изложите условия устойчивости дискретных следящих систем.
11. Как определить устойчивость дискретных систем?
12. Дайте общую характеристику методов анализа детерминированных и случайных процессов в линейных дискретных следящих системах.
13. Определите условия эквивалентности дискретных и непрерывных систем.

2.11. Цифровые системы радиоавтоматики

Содержание

Общие сведения о цифровых системах радиоавтоматики. Структурная схема цифровой системы. Принципы построения и функциональные схемы элементов цифровых систем радиоавтоматики: дискриминаторов временных и частотных, цифровых фильтров, цифровых генераторов опорного сигнала.

Принципы функционирования и примеры построения цифровых систем фазовой и частотной автоподстройки, временного сопровождения и др. Математические модели цифровых систем.

Методы анализа цифровых систем. Метод сведения к линейным дискретным системам. Квазинепрерывный метод анализа.

Литература: [1, с. 195-208], [2, с. 231-268], [3, с. 219-247], [4, с. 9-14].

Методические указания

Цифровые системы радиоавтоматики по сравнению с аналоговыми имеют ряд преимуществ, обеспечивающих их широкое применение и перспективность. Одним из существенных достоинств цифровых систем, на которое следует обратить внимание, является возможность реализации сложных оптимальных алгоритмов.

Изучая особенности построения цифровых систем, необходимо уяснить, что существуют аналого-цифровые системы, в которых цифровыми являются лишь отдельные звенья, сопрягаемые с аналоговыми звеньями с помощью аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, и цифровые системы, обладающие специфическими особенностями и большим разнообразием.

Структура цифровых следящих систем в значительной мере определяется местом выполнения аналого-цифрового преобразования, которое может осуществляться

внутри контура регулирования и вне его.

Глубокое усвоение темы предполагает детальное изучение особенностей построения узлов цифровых следящих систем: временных, частотных и фазовых дискриминаторов, цифровых фильтров и цифровых генераторов опорного сигнала, а также замкнутых цифровых следящих систем, в частности системы ФАП.

Изучая методы анализа цифровых систем радиоавтоматики, следует иметь в виду, что цифровые системы являются нелинейными и сложны для анализа. Для упрощения анализа в ряде случаев, при выполнении соответствующих условий, возможно их приближенное сведение к линейным системам. Необходимо четко уяснить, при каких условиях система может анализироваться как непрерывная и линейная, и изучить процедуры линеаризации. Важное значение в исследовании цифровых систем радиоавтоматики имеет моделирование на ЭВМ.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные преимущества и недостатки цифровых систем радиоавтоматики.
2. Изобразите функциональную схему аналого-цифровой следящей системы и поясните ее работу.
3. Составьте структурную схему аналого-цифровой следящей системы.
4. Изобразите структурную схему цифрового временного дискриминатора и с помощью временных диаграмм напряжений поясните ее работу.
5. Приведите пример построения цифрового фазового дискриминатора и с помощью временных диаграмм напряжений поясните его работу.
6. Приведите примеры построения цифрового частотного дискриминатора.
7. Как определить статистические эквиваленты цифровых дискриминаторов?
8. Как определить передаточную функцию цифрового фильтра?
9. Какие формы построения цифровых фильтров вам известны?
10. Какие виды цифровых фильтров используются при аппаратурной реализации цифровых следящих систем?
11. Какие типы генераторов опорного сигнала используются в цифровых следящих системах?
12. Изобразите функциональную схему цифрового синтезатора частоты и поясните ее работу.
13. Изобразите схему цифрового фазовращателя и с помощью временных диаграмм напряжений поясните ее работу.
14. Изобразите схему преобразователя код-временная задержка и поясните ее работу.
15. Приведите пример построения цифровой системы ФАП и поясните ее работу.
16. При каких условиях возможно приближенное сведение цифровых систем к аналоговым эквивалентам?
17. Поясните процедуры линеаризации характеристик квантования при боль-

шум и малом числе уровней квантования.

18. На конкретном примере поясните особенности анализа линеаризованных цифровых следящих систем.

19. Что такое шум квантования? Могут ли быть погрешности цифровых систем, вызванные квантованием, сведены к нулю?

20. Поясните процедуру сокращения числа элементов временной дискретизации.

Библиотека БГУИР

ЗАДАНИЯ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Цель и задачи контрольной работы

Целью контрольной работы является закрепление и углубление знаний теоретического материала, а также приобретение практических навыков анализа и расчета основных характеристик и параметров систем радиоавтоматики, синтеза их отдельных элементов.

Для достижения поставленной цели в процессе выполнения контрольной работы студентам предлагается решить следующие основные задачи:

исследовать назначение, области применения и особенности построения систем автоподстройки частоты (АПЧ) и систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ); составить дифференциальные уравнения и структурные схемы этих систем; дать оценки точности, быстродействия и устойчивости статических и астатических систем;

оценить качество работы систем как при детерминированном, так и при случайном задающем, а также случайном мешающем воздействиях;

определить оптимальные значения параметров динамических звеньев систем по критериям устойчивости, точности, быстродействия.

3.2. Варианты заданий на контрольную работу

В вариантах контрольной работы исследуются как статические, так и астатические системы автоматической подстройки частоты (АПЧ) (рис. 1, 3) и фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) (рис. 4, 5). Во всех вариантах смеситель и усилитель промежуточной частоты безынерционны и имеют коэффициенты передачи по параметру слежения равные единице.

В вариантах контрольных работ параметра дискриминатор (Д) и управляемый генератор (УГ) могут быть заданы как инерционными, так и безынерционными. Они характеризуются коэффициентами передачи K_δ и $K_{УГ}$, а также постоянными времени T_δ и $T_{УГ}$. Усилительный элемент (УЭ) собран по схеме операционного усилителя (рис. 2) и в зависимости от варианта может быть однокаскадным или двухкаскадным, а параллельно резистору обратной связи R_N может включаться ёмкость C .

Коэффициент усиления A операционного усилителя имеет конечную величину, которая лежит в пределах от 10^4 до 10^5 .

3.2.1. В вариантах 00...04 для системы (см. рис. 1) требуется:

- *получить дифференциальное и характеристическое уравнения системы;*
- *найти, при каких значениях коэффициента передачи управляемого генератора $K_{УГ}$ данная система будет устойчива;*
- *изобразить вид статических характеристик УГ при $f_{ОУГ} = 100 \cdot 10^6$ Гц и Д при $f_{ПР} = 465$ кГц.*

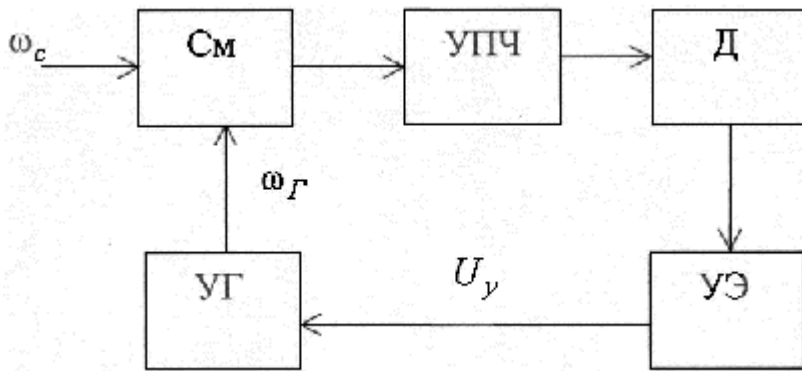


Рис. 1. Функциональная схема статической системы автоподстройки частоты: См – смеситель; УПЧ – усилитель промежуточной частоты; Д – дискриминатор; УЭ – усилительный элемент; УГ – управляемый генератор

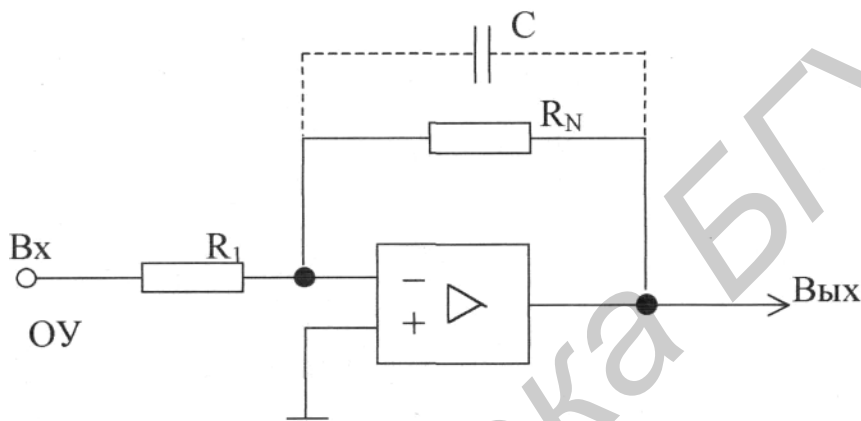
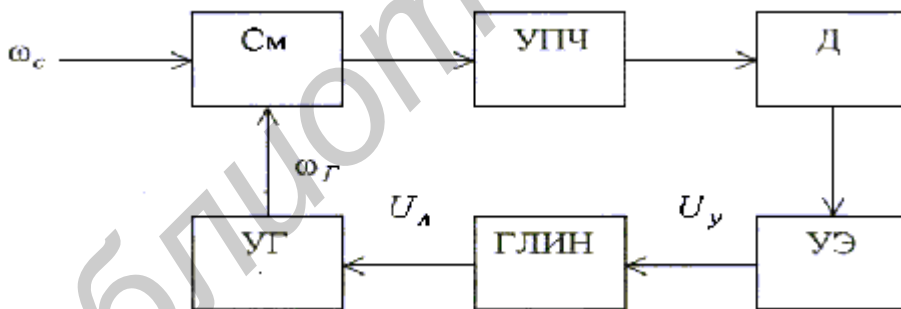


Рис. 2. Функциональная схема усилительного элемента



$$U_{Л} = K_{ГЛ} \cdot \int_0^t U_{y}(\tau) d\tau + U_{Л}(0) = \frac{1}{T_{ГЛ}} \cdot \int_0^t U_{y}(\tau) d\tau + U_{Л}(0)$$

Рис. 3. Функциональная схема астатической системы автоподстройки частоты: Д – дискриминатор; УЭ – усилительный элемент; ГЛИН – генератор линейно изменяющегося напряжения; УГ – управляемый генератор

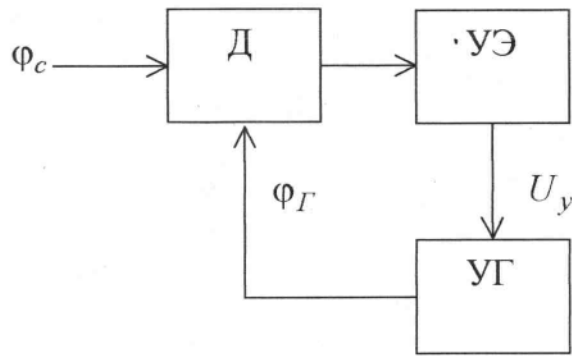


Рис. 4. Функциональная схема системы фазовой автоподстройки частоты астатизма первого порядка:

Д – дискриминатор; УЭ – усилительный элемент; УГ – управляемый генератор

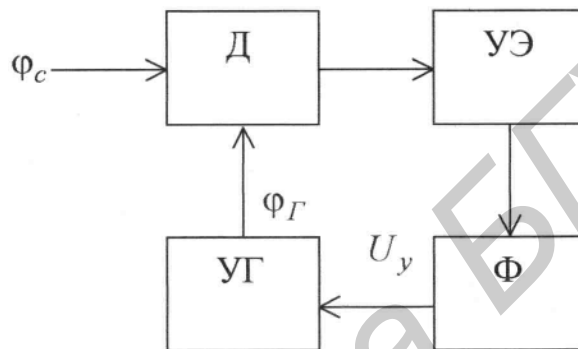


Рис. 5. Функциональная схема системы фазовой автоподстройки частоты астатизма второго порядка:

Д – дискриминатор; УЭ – усилительный элемент; Ф – фильтр; УГ – управляемый генератор

Вариант 00

Для системы известно: $K_\delta = 1B/\Gamma\omega$; дискриминатор безынерционен; $T_{\text{УГ}} = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; усилительный элемент двухкаскадный. Для первого каскада: $R_{11} = 2 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N1} = 6 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, параллельно R_{N1} включена ёмкость $C_1 = 500 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$. Второй каскад содержит: $R_{12} = 2 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N2} = 5 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, параллельно R_{N2} включена ёмкость $C_2 = 500 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$.

Вариант 01

Для системы известно: $K_\delta = -1B/\Gamma\omega$; $T_\delta = 10^{-4} \text{ с}$; $T_{\text{УГ}} = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; усилительный элемент однокаскадный; $R_1 = 10^4 \text{ Ом}$; $R_N = 5 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, параллельно R_N включена ёмкость $C = 300 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$.

Вариант 02

Для системы известно: $K_\delta = 0,01B/\Gamma\omega$; $T_\delta = 10^{-4} \text{ с}$; управляемый генератор безынерционен; усилительный элемент двухкаскадный и характеризуется: первый каскад $R_{11} = 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N1} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $C_1 = 3 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$; второй каскад $R_{12} = 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N2} = 3 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $C_2 = 4 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$.

Вариант 03

Для системы известно: $K_o = 0,01 \text{ В/Гц}$, $T_o = 10^{-5} \text{ с}$; управляемый генератор безынерционен; усилительный элемент двухкаскадный и характеризуется $R_{11} = 3 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N1} = 10^6 \text{ Ом}$, $C_1 = 500 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, $R_{12} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N2} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Ом}$, $C_2 = 500 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$.

Вариант 04

Для системы известно: $K_o = 0,01 \text{ В/Гц}$, $T_o = 10^{-3} \text{ с}$; $T_{УГ} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, усилительный элемент однокаскадный; $R_1 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 2 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $C = 600 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$.

3.2.2. В вариантах 05...09 для системы (см. рис. 1) требуется:

- получить дифференциальное и характеристическое уравнения системы;
- найти, при каких значениях коэффициента передачи управляемого генератора $K_{УГ}$ данная система будет устойчива;
- определить минимально возможное значение статической ошибки системы. Численное значение расстройки частот $\Delta\omega_c$ задаётся для каждого варианта отдельно;
- изобразить вид статических характеристик УГ при $f_{0УГ} = 100 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ и Д при $f_{ПР} = 465 \text{ кГц}$.

Вариант 05

Для системы известно: $K_o = 0,001 \text{ В/Гц}$, $T_o = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$; управляемый генератор безынерционен; усилительный элемент двухкаскадный и характеризуется: первый каскад $R_{11} = 2 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N1} = 2 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $C_1 = 10^{-10} \text{ Ф}$; второй каскад $R_{12} = 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N2} = 10^5 \text{ Ом}$, $C_2 = 10^{-10} \text{ Ф}$, $\Delta\omega_c = 10^6 \text{ Гц}$.

Вариант 06

Для системы известно: $K_o = -0,001 \text{ В/Гц}$, $T_o = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$, $T_{УГ} = 10^{-3} \text{ с}$; усилительный элемент собран на однокаскадном операционном усилителе; $R_1 = 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 5 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $C = 300 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, $\Delta\omega_c = 10^3 \text{ Гц}$

Вариант 07

Для системы известно: $K_o = 0,1 \text{ В/Гц}$, $T_o = 3 \cdot 10^{-5} \text{ с}$; управляемый генератор безынерционен; усилитель собран по двухкаскадной схеме и характеризуется $R_{11} = R_{12} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N1} = R_{N2} = 4 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $C_1 = C_2 = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$, $\Delta\omega_c = 3 \cdot 10^5 \text{ Гц}$.

Вариант 08

Для системы известно: $K_o = 0,1 \text{ В/Гц}$, дискриминатор безынерционен; $T_{УГ} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; усилитель собран по двухкаскадной схеме и характеризуется $R_{11} = R_{12} = 2 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_{N1} = R_{N2} = 3 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $C_1 = C_2 = 600 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, $\Delta\omega_c = 10^4 \text{ Гц}$.

Вариант 09

Для системы известно: $K_o = -0,1 \text{ В/Гц}$, $T_o = 8 \cdot 10^{-2} \text{ с}$, $T_{УГ} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}$; усилительный элемент однокаскадный и характеризуется $R_1 = 3 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 10^6 \text{ Ом}$, $C = 500 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, $\Delta\omega_c = 10^5 \text{ Гц}$.

3.2.3. В вариантах 10...19 для системы (см. рис. 1) требуется:

- определить коэффициент передачи управляемого генератора такой, при котором система устойчива и запас устойчивости по амплитуде равен ΔA . Численное значение ΔA задаётся для каждого варианта отдельно;
- построить ЛЧХ системы и определить запас устойчивости по фазе;

-определить интегральную квадратичную оценку качества переходного процесса.

Вариант 10

Исходные данные те же, что и в варианте 01; $\Delta A = 6 \text{ дБ}$.

Вариант 11

Исходные данные те же, что и в варианте 02; $\Delta A = 10 \text{ дБ}$.

Вариант 12

Исходные данные те же, что и в варианте 03; $\Delta A = 15 \text{ дБ}$.

Вариант 13

Исходные данные те же, что и в варианте 00; $\Delta A = 3 \text{ дБ}$.

Вариант 14

Исходные данные те же, что и в варианте 04; $\Delta A = 7 \text{ дБ}$.

Вариант 15

Исходные данные те же, что и в варианте 05; $\Delta A = 20 \text{ дБ}$.

Вариант 16

Исходные данные те же, что и в варианте 06; $\Delta A = 3 \text{ дБ}$.

Вариант 17

Исходные данные те же, что и в варианте 07; $\Delta A = 6 \text{ дБ}$.

Вариант 18

Исходные данные те же, что и в варианте 07; $\Delta A = 13 \text{ дБ}$.

Вариант 19

Исходные данные те же, что и в варианте 06; $\Delta A = 8 \text{ дБ}$.

3.2.4. В вариантах 20...29 для системы (рис. 3) требуется:

- получить дифференциальное и характеристическое уравнения системы;

- определить минимально достижимое (по всем возможным $K_{УГ}$) значение динамической ошибки в установившемся режиме, если частота входного сигнала

меняется с постоянной скоростью $\frac{d\omega_c}{dt} = V$, где V – константа, задаваемая, для каж-

дого варианта отдельно.

Вариант 20

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 00. При этом $K_{ГЛ} = 3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, $V = 10^3 \text{ Гц/с}$, управляемый генератор безынерционен.

Вариант 21

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 01. При этом $K_{ГЛ} = 500 \text{ с}^{-1}$, $V = 500 \text{ Гц/с}$, управляющий генератор безынерционен.

Вариант 22

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 02. При этом $K_{ГЛ} = 10^3 \text{ с}^{-1}$, $V = 300 \text{ Гц/с}$, дискриминатор безынерционен.

Вариант 23

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической систе-

мы варианта 03. При этом $K_{гг} = 10^3 c^{-1}$, $V = 2 \cdot 10^3 Гц/с$, дискриминатор безынерционен.

Вариант 24

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 04. При этом $K_{гг} = 8 \cdot 10^3 c^{-1}$, $V = 10^3 Гц/с$, управляющий генератор безынерционен.

Вариант 25

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 05. При этом $K_{гг} = 300 c^{-1}$, $V = 10^3 Гц/с$, усилитель однокаскадный с параметрами первого каскада варианта 05.

Вариант 26

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 06. При этом $K_{гг} = 6 \cdot 10^5 c^{-1}$, $V = 500 Гц/с$, дискриминатор безынерционен.

Вариант 27

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 07. При этом $K_{гг} = 10^5 c^{-1}$, $V = 300 Гц/с$, дискриминатор безынерционен.

Вариант 28

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 08. При этом $K_{гг} = 10^3 c^{-1}$, $V = 2 \cdot 10^3 Гц/с$. Принять усилитель однокаскадным с параметрами первого каскада варианта 08.

Вариант 29

Для астатической системы исходные данные те же, что и для статической системы варианта 09. При этом $K_{гг} = 800 c^{-1}$, $V = 5000 Гц/с$, управляемый генератор безынерционен.

3.2.5. В вариантах 30...39 для системы (рис. 3) требуется:

- определить коэффициент передачи управляемого генератора $K_{УГ}$ такой, при котором система (рис. 3) устойчива и запас устойчивости по амплитуде равен $ДА$ (численное значение $ДА$ для каждого варианта задается отдельно);
- построить ЛЧХ системы и определить запас устойчивости по фазе;
- определить интегральный квадратичный критерий качества переходного процесса.

Вариант 30

Исходные данные те же, что и в варианте 20, $ДА = 6$ дБ.

Вариант 31

Исходные данные те же, что и в варианте 21, $ДА = 10$ дБ.

Вариант 32

Исходные данные те же, что и в варианте 22, $ДА = 15$ дБ.

Вариант 33

Исходные данные те же, что и в варианте 23, $ДА = 3$ дБ.

Вариант 34

Исходные данные те же, что и в варианте 24, $ДА = 6$ дБ.

Вариант 35.

Исходные данные те же, что и в варианте 25, $ДА = 20$ дБ.

Вариант 36

Исходные данные те же, что и в варианте 26, $\Delta A = 8 \text{ дБ}$.

Вариант 37

Исходные данные те же, что и в варианте 27, $\Delta A = 5 \text{ дБ}$.

Вариант 38

Исходные данные те же, что и в варианте 28, $\Delta A = 5 \text{ дБ}$.

Вариант 39

Исходные данные те же, что и в варианте 29, $\Delta A = 7 \text{ дБ}$.

3.2.6. В вариантах 40...49 исследуется астатическая система автоматической подстройки частоты (рис. 3), на входе которой действует полезный регулярный сигнал $\omega_c = \omega + Vt$ и помеха, представляющая собой белый шум со спектральной плотностью N_0 (значение N_0 задаётся для каждого варианта отдельно).

Требуется:

- получить дифференциальное и характеристическое уравнения системы;
- определить дисперсию ошибки.

Вариант 40

Исходные данные те же, что и в варианте 20, $N_0 = 0,2 \text{ Гц}$.

Вариант 41

Исходные данные те же, что и в варианте 21, $N_0 = 0,5 \text{ Гц}$.

Вариант 42

Исходные данные те же, что и в варианте 22, $N_0 = 0,01 \text{ Гц}$.

Вариант 43

Исходные данные те же, что и в варианте 23, $N_0 = 0,2 \text{ Гц}$.

Вариант 44

Исходные данные те же, что и в варианте 24, $N_0 = 0,8 \text{ Гц}$.

Вариант 45

Исходные данные те же, что и в варианте 25, $N_0 = 0,5 \text{ Гц}$.

Вариант 46

Исходные данные те же, что и в варианте 26, $N_0 = 10^{-2} \text{ Гц}$.

Вариант 47

Исходные данные те же, что и в варианте 27, $N_0 = 0,3 \text{ Гц}$.

Вариант 48

Исходные данные те же, что и в варианте 28, $N_0 = 0,4 \text{ Гц}$.

Вариант 49

Исходные данные те же, что и в варианте 29, $N_0 = 0,7 \text{ Гц}$.

3.2.7. В вариантах 50...99 исследуются системы фазовой автоподстройки частоты первого (рис. 4) и второго (рис. 5) порядка астатизма. Во всех вариантах считается, что дискриминатор (фазовый детектор) и усилительный элемент безынерционны. Они характеризуются соответственно коэффициентами передачи K_δ и K_y . Усилительный элемент собран на базе операционного усилителя с коэффициентом усиления $A = (10^4 \dots 10^5)$. Характеристика фазового детектора линейна.

В вариантах 50...59 исследуется система ФАПЧ первого порядка астатизма.

Требуется:

- получить дифференциальное уравнение и передаточную функцию системы;
- найти, при каких значениях коэффициента передачи безынерционного УГ система будет устойчива;
- определить минимально возможное значение ошибки в установившемся режиме, если фаза принимаемого закона изменяется по закону $\varphi = bt$ (величина b для каждого варианта задаётся отдельно).

Вариант 50

Для системы известно: $K_o = 0,3 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный (рис. 2), $R_1 = 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 2 \cdot 10^6 \text{ Ом}$, $b = 50 \text{ рад/с}$

Вариант 51

Для системы известно: $K_o = 0,5 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 30 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $b = 40 \text{ рад/с}$

Вариант 52

Для системы известно: $K_o = 1,59 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 20 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $b = 20 \text{ рад/с}$

Вариант 53

Для системы известно: $K_o = 0,318 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 10^6 \text{ Ом}$, $b = 80 \text{ рад/с}$

Вариант 54

Для системы известно: $K_o = 0,64 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 7,5 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $b = 10 \text{ рад/с}$

Вариант 55

Для системы известно: $K_o = 0,98 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 30 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $R_N = 10^6 \text{ Ом}$, $b = 30 \text{ рад/с}$.

Вариант 56

Для системы известно: $K_o = 1,2 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 20 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $R_N = 40 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $b = 10 \text{ рад/с}$.

Вариант 57

Для системы известно: $K_o = 0,2 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 15 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $R_N = 10^6 \text{ Ом}$, $b = 70 \text{ рад/с}$.

Вариант 58

Для системы известно: $K_o = 0,45 \text{ В/рад}$; усилитель однокаскадный; $R_1 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}$, $R_N = 7,5 \cdot 10^5 \text{ Ом}$, $b = 10 \text{ рад/с}$.

Вариант 59

Для системы известно: $K_o = 0,8 \text{ В/рад}$; усилитель двухкаскадный, первый каскад $R_{11} = 20 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $R_{N1} = 200 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $C = 40 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$, второй каскад $R_{12} = 20 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $R_{N2} = 100 \cdot 10^3 \text{ Ом}$, $b = 90 \text{ рад/с}$

3.2.8. В вариантах 60...69 исследуется система ФАПЧ (рис. 4) при стационар-

ных случайных входном (задающем) воздействии $\varphi_x(t)$ и внутреннем (возмущающем) воздействии приведенном ко входу $\varphi_v(t)$. Указанные воздействия представляют собой белые нормальные шумы со спектральными плотностями N_x и N_v (значения N_x и N_v задаются для каждого варианта отдельно).

Требуется:

- получить дифференциальное уравнение системы и передаточные функции от воздействий к ошибке;

- найти дисперсию суммарной ошибки;

- определить шумовую полосу системы.

Вариант 60

Исходные данные те же, что и в варианте 50; $N_x = 5,82 \cdot 10^{-4} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $N_v = 0$, $K_{yT} = 400 \text{ рад}^2/(c \cdot B)$.

Вариант 61

Исходные данные те же, что и в варианте 51; $N_x = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $N_v = 0$, $K_{yT} = 300 \text{ рад}^2/(c \cdot B)$

Вариант 62

Исходные данные те же, что и в варианте 52; $N_x = 0$, $N_v = 3,19 \cdot 10^{-4} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{yT} = 500 \text{ рад}^2/(c \cdot B)$.

Вариант 63

Исходные данные те же, что и в варианте 53; $N_x = 0$, $N_v = 5 \cdot 10^{-5} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{yT} = 600 \text{ рад}^2/(c \cdot B)$.

Вариант 64

Исходные данные те же, что и в варианте 54; $N_x = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $N_v = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{yT} = 100 \text{ рад}^2/c \cdot B$.

Вариант 65

Исходные данные те же, что и в варианте 55; $N_x = 0,4 \cdot 10^{-5} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $N_v = 4 \cdot 10^{-3} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{yT} = 800 \text{ рад}^2/c \cdot B$.

Вариант 66

Исходные данные те же, что и в варианте 56; $N_x = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $N_v = 4 \cdot 10^{-6} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{yT} = 90 \text{ рад}^2/c \cdot B$.

Вариант 67

Исходные данные те же, что и в варианте 57; $N_x = 0$, $N_v = 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{yT} = 200 \text{ рад}^2/c \cdot B$.

Вариант 68

Исходные данные те же, что и в варианте 58; $N_x = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $N_v = 5 \cdot 10^{-5} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{yT} = 300 \text{ рад}^2/c \cdot B$.

Вариант 69

Исходные данные те же, что и в варианте 59; $N_X = 0$, $N_V = 4 \cdot 10^{-3} \text{ рад}^2/\text{Гц}$, $K_{УГ} = 100 \text{ рад}^2/\text{с} \cdot \text{В}$.

3.2.9. В вариантах 70...79 исследуется система фазовой автоподстройки частоты астатизма второго порядка (рис. 5). Фильтр системы имеет передаточную функцию $W_\Phi(p) = \frac{K_\Phi(1 + pT_1)}{(1 + pT_2)p}$, $T_2 = 0,75\text{с}$, $K_\Phi = 1$, $T_1 = 90\text{с}$.

Требуется:

- получить дифференциальное уравнение системы и передаточную функцию системы;
- найти, при каких значениях коэффициента передачи управляемого генератора $K_{УГ}$ система будет устойчива;
- определить минимально возможное значение ошибки в установившемся режиме, если фаза принимаемого закона изменяется по закону $\varphi = bt^2$ (величина b для каждого варианта задаётся отдельно).

Вариант 70

Исходные данные те же, что и в варианте 50.

Вариант 71

Исходные данные те же, что и в варианте 51.

Вариант 72

Исходные данные те же, что и в варианте 52.

Вариант 73

Исходные данные те же, что и в варианте 53.

Вариант 74

Исходные данные те же, что и в варианте 54.

Вариант 75

Исходные данные те же, что и в варианте 55.

Вариант 76

Исходные данные те же, что и в варианте 56.

Вариант 77

Исходные данные те же, что и в варианте 57.

Вариант 78

Исходные данные те же, что и в варианте 58.

Вариант 79

Исходные данные те же, что и в варианте 59.

3.2.10. В вариантах 80...89 исследуется система фазовой автоподстройки частоты (рис. 5). Фильтр системы имеет передаточную функцию $W_\Phi(p) = \frac{K_\Phi(1 + pT_1)}{p}$,

$K_\Phi=1$, коэффициент усиления УГ $K_{УГ} = 200 \text{ рад}^2/\text{с} \cdot \text{В}$.

На входе системы действует полезное регулярное воздействие $\varphi(t) = at + \frac{ct^2}{2}$, $a=100$ град/с, $c=10$ град/с² и помеха, представляющая собой белый шум со спектральной плотностью N_0 (значение N_0 задаётся для каждого варианта отдельно). Требуется:

- получить дифференциальное уравнение и передаточную функцию системы;
- определить значение постоянной времени фильтра T , соответствующее минимуму среднеквадратичной ошибки в установившемся режиме, а также минимальную среднеквадратичную ошибку;
- определить шумовую полосу системы.

Вариант 80

Исходные данные те же, что и в варианте 50; $N_0=0,7$ град²/Гц.

Вариант 81

Исходные данные те же, что и в варианте 51; $N_0=0,3$ град²/Гц.

Вариант 82

Исходные данные те же, что и в варианте 52; $N_0=0,5$ град²/Гц.

Вариант 83

Исходные данные те же, что и в варианте 53; $N_0=0,2$ град²/Гц.

Вариант 84

Исходные данные те же, что и в варианте 54; $N_0=0,1$ град²/Гц.

Вариант 85

Исходные данные те же, что и в варианте 55; $N_0=0,4$ град²/Гц.

Вариант 86

Исходные данные те же, что и в варианте 56; $N_0=0,3$ град²/Гц.

Вариант 87

Исходные данные те же, что и в варианте 57; $N_0=0,8$ град²/Гц.

Вариант 88

Исходные данные те же, что и в варианте 58; $N_0=0,09$ град²/Гц.

Вариант 89

Исходные данные те же, что и в варианте 59; $N_0=0,7$ град²/Гц.

3.2.11. В вариантах 90...99 исследуется система фазовой автоподстройки частоты

(рис. 5). Передаточная функция фильтра $W_\Phi(p) = \frac{K_\Phi(1+pT_1)}{(1+pT_2)p}$, $T_2 = 0,60$ с, $T_1 = 0,01$ с.

На входе системы действуют помеха в виде белого шума со спектральной плотностью N_Π (значение N_Π задаётся для каждого варианта отдельно) и полезный сигнал со спектральной плотностью

$$N_C = \frac{2T_C D}{1 + \omega^2 T_C^2},$$

где $T_C = 10$ с, $D = 100$ град².

Управляемый генератор безынерционный.

Требуется:

- получить дифференциальное уравнение и передаточную функцию системы;

- определить оптимальное значение коэффициента усиления УГ $K_{УГ\text{opt}}$, соответствующее минимуму среднеквадратичной ошибки, и среднеквадратичную ошибку при $K_{УГ} = K_{УГ\text{opt}}$.

Вариант 90

Исходные данные те же, что и в варианте 50; $N_{\Pi} = 0,01\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 91

Исходные данные те же, что и в варианте 51; $N_{\Pi} = 0,05\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 92

Исходные данные те же, что и в варианте 52; $N_{\Pi} = 0,01\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 93

Исходные данные те же, что и в варианте 53; $N_{\Pi} = 0,03\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 94

Исходные данные те же, что и в варианте 54; $N_{\Pi} = 0,02\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 95

Исходные данные те же, что и в варианте 55; $N_{\Pi} = 0,07\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 96

Исходные данные те же, что и в варианте 56; $N_{\Pi} = 0,09\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 97

Исходные данные те же, что и в варианте 57; $N_{\Pi} = 0,05\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 98

Исходные данные те же, что и в варианте 58; $N_{\Pi} = 0,01\text{град}^2 / \text{Гц}$.

Вариант 99

Исходные данные те же, что и в варианте 59; $N_{\Pi} = 0,03\text{град}^2 / \text{Гц}$.

3.3. Методические указания по выполнению курсовой работы

3.3.1. Определение максимально возможного коэффициента усиления звена, при котором система устойчива

1. Найти передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W_p(p) = \prod_i W_i(p) = K(p) / Q(p),$$

где $W_i(p)$ - передаточные функции отдельных звеньев; $K_p(p) = \prod_i K_i(p)$; $K_i(p)$ - коэффициенты передачи отдельных звеньев.

Для звена, использующего безынерционный операционный усилитель,

$$K = \frac{R_N}{R_1},$$

при условии, что собственный коэффициент усиления A операционного усилителя на этих частотах $A \gg 1$.

2. Найти передаточную функцию замкнутой системы:

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{K(p)}{Q(p) + K(p)} = \frac{K(p)}{D(p)}$$

3. Записать характеристическое уравнение системы $D(\lambda_i) = 0$, где λ_i - корни этого уравнения.

4. По одному из критериев устойчивости (Михайлова или Гурвица) определить, устойчива ли система, и найти критическое значение коэффициента усиления системы $K_{\text{крит}}$, при котором она ещё устойчива.

5. Выбрать звено m и определить искомый максимально возможный коэффициент усиления этого звена:

$$K_m = \frac{K_{\text{крит}}}{\prod_i K_i},$$

при $i \neq m$.

3.3.2. Определение коэффициента усиления звена, при котором система имеет запас устойчивости по амплитуде ΔA и фазе $\Delta \varphi$

1. Найти передаточную функцию разомкнутой системы, как в п.3.2.1.

2. Найти частотную передаточную функцию разомкнутой системы:

$$W_p(j\omega) = \frac{K(j\omega)}{Q(j\omega)} = U(\omega) + j \cdot V(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j \cdot \varphi(\omega)},$$

где

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)},$$
$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{V(\omega)}{U(\omega)}.$$

3. Определить критическую частоту системы $\omega_{\text{кр}}$ (частота, при которой мнимая часть частотной передаточной функции равна 0).

4. Определить частоту среза $\omega_{\text{ср}}$ (частота, при которой модуль частотной передаточной функции $A(\omega)$ равен 1). Заметим, что если система находится на границе устойчивости, то $\omega_{\text{ср}} = \omega_{\text{кр}}$.

5. Запас устойчивости по амплитуде ΔA равен

$$\Delta A = \frac{1}{A(\omega_{\text{кр}})}$$

Если запас устойчивости по амплитуде ΔA , то коэффициент передачи гетеродина $K_{\text{УГ}}$, при котором обеспечивается этот запас, есть

$$K_{\text{УГ}} = \frac{K_{\text{УГкрит}}}{1 + \Delta A}.$$

6. Запас устойчивости по фазе $\Delta \varphi$ равен

$$\Delta \varphi = \pi - \varphi(\omega_{\text{ср}}).$$

3.3.3. Построение логарифмических частотных характеристик и определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе

1. Найти передаточную функцию разомкнутой системы, как в п. 3.2.1.
2. Найти частотную передаточную функцию разомкнутой системы, как в п.3.2.2.
3. Найти выражение для логарифмической амплитудно-частотной характеристики разомкнутой системы $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$.
4. Найти значения фазового сдвига в разомкнутой системе на сопряжённых частотах и при стремлении частоты к нулю, а также фазочастотную характеристику разомкнутой системы

$$\varphi(\omega) = \sum_i \varphi_i(\omega),$$

где $\varphi_i(\omega)$ – фазочастотные характеристики отдельных звеньев.

5. Построить асимптотическую ЛАЧХ и ЛФЧХ системы.
6. Из графиков ЛАЧХ и ЛФЧХ определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе.

3.3.4. Оценка качества переходного режима с использованием интегрального квадратичного критерия качества.

1. Качество переходного процесса оценивается по величине интеграла квадрата ошибки переходного режима работы системы

$$Q = \int_0^{\infty} e_n^2(t) dt = I[e_n(p)],$$

где $I[a]$ - интеграл Парсеваля (см. таблицу, доп. Литературу [1, 3]).

Ошибка $e_n(p)$ переходного режима определяется как

$$e_n(p) = e_x(p) - e_{x_{уст}}(p) / p = x(p)W_{ex}(p) - \frac{e_{x_{уст}}}{p},$$

где $e_x(p) = x(p)W_{ex}(p)$ – изображение динамической ошибки, а $e_{x_{уст}} = \lim_{p \rightarrow 0} px(p)W_{ex}(p)$ – ошибка в установившемся режиме.

Здесь W_{ex} - передаточная функция ошибки по задающему воздействию.

2. Значение интеграла Парсеваля

$I[f(p)] = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} f(p)f(-p)dp; \quad f(p) = \frac{\alpha_0 + \alpha_1 p + \dots + \alpha_m p^m}{\beta_0 + \beta_1 p + \dots + \beta_n p^n}$	
n=1	$I_1 = \frac{\alpha_0^2}{(2\beta_0\beta_1)}$
n=2	$I_2 = \frac{(\alpha_1^2\beta_0 + \alpha_0^2\beta_2)}{(2\beta_0\beta_1\beta_2)}$

$n=3$

$$I_3 = \frac{\alpha_0^2 \beta_2 \beta_3 + (\alpha_1^2 - 2\alpha_0 \alpha_2) \beta_0 \beta_3 + \alpha_2^2 \beta_0 \beta_1}{2\beta_0 \beta_3 (\beta_1 \beta_2 - \beta_0 \beta_3)}$$

3.3.5. Определение ошибок в установившемся режиме (для детерминированных медленноменяющихся воздействий)

Передаточная функция ошибки по задающему воздействию:

$$W_{ex}(p) = 1 - W_3(p) = D_0 + D_1 p + \frac{1}{2} D_2 p^2 + \dots = \frac{1}{k!} \sum_{k=0}^{\infty} D_k p^k ;$$

$$W_{ex}(p) = \frac{a_0 + a_1 p + \dots + a_m p^m}{c_0 + c_1 p + \dots + c_n p^n}.$$

Коэффициенты ошибок D_k могут быть найдены из следующих соотношений:

$$D_0 = \frac{a_0}{c_0}; D_1 = \frac{(a_1 - c_1 D_0)}{c_0}; D_2 = \frac{2(a_2 - c_1 D_1 - c_2 D_0)}{c_0} \text{ и т.д.}$$

2. Изображение ошибки определяется в результате умножения $W_{ex}(p)$ на изображение задающего воздействия отслеживаемого параметра

$$e_x(p) = x(p)W_{ex}(p) = x(p)D_0 + px(p)D_1 + \frac{1}{2} p^2 x(p)D_2 + \dots + \frac{1}{k!} p^k x(p)D_k$$

или в области действительного переменного

$$e(t) = x(t)D_0 + \dot{x}(t)D_1 + \frac{1}{2} \ddot{x}(t)D_2 + \dots + \frac{1}{k!} x^{(k)}(t)D_k.$$

3.3.6. Статистический анализ точности линейных систем в установившемся режиме

Задачей анализа в данном случае является вычисление дисперсии ошибки при условии, что случайное задающее и возмущающее воздействия статистически независимы друг от друга и представляют собой центрированные процессы.

1. Спектральная плотность воздействия (задающего или возмущающего) раскладывается на два комплексно-сопряженных сомножителя. Например, спектральная плотность задающего воздействия $W_x(\omega)$ представляется в виде

$$W_x(\omega) = W_{\phi x}(j\omega)W_{\phi x}(-j\omega),$$

где $W_{\phi x}(j\omega)$ является частотной характеристикой формирующего фильтра.

Изображение формирующего фильтра $W_{\phi x}(p)$ для задающего или $W_{\phi v}(p)$ возмущающего воздействий получается в результате замены переменной $j\omega$ на P .

2. Дисперсия ошибки представляется в виде интеграла Парсеваля $I[a]$ от произведения изображения задающего воздействия, т.е. передаточной функции формирующего фильтра для задающего воздействия $W_{\phi x}(p)$, на передаточную функцию $W_{ex}(p)$;

$$\sigma_{ex}^2 = I[W_{\phi x}(p)W_{ex}(p)],$$

$$\sigma_{ev}^2 = I[W_{\phi v}(p)W_{ev}(p)].$$

В случае возмущающего воздействия интеграл Парсевала берётся от произведения изображения возмущающего воздействия $W_{\phi v}(p)$, т.е. передаточной функции формирующего фильтра, на передаточную функцию для возмущающего воздействия W_{ev} .

Значение интеграла можно определить по приведённой выше таблице, записав предварительно произведение $[W_{\phi}(p)W_e(p)]$ в виде отношения полиномов.

3. Дисперсия ошибки управления σ^2 находится как сумма

$$\sigma^2 = \sigma_{ex}^2 + \sigma_{ev}^2, \sigma_0^2 = \sigma^2 + \sigma_c^2$$

где σ_c^2 - средний квадрат ошибки отслеживания сигнала $X_c(p)$, а в случае действия аддитивной суммы полезного сигнала $X_c(p)$ и случайного воздействия $W_{\phi x}(p)$ на входе системы, а также возмущающего воздействия $W_{\phi v}(p)$ дисперсия ошибки находится как сумма.

4. Для отыскания минимума σ_0^2 приравнивают к нулю первую производную выражений $\sigma_0^2 = F(T_C)$ либо $\sigma_0^2 = F(K_T)$ по оптимизируемому параметру (T_C или K_T) при решении задачи параметрической оптимизации системы по критерию минимума среднеквадратичной ошибки слежения.

3.4. Методические указания и требования к оформлению контрольной работы

Контрольная работа объемом не более 20 – 25 страниц оформляется в соответствии с требованиями к оформлению контрольных работ.

Иллюстрированный материал (рисунки, графики, таблицы, схемы) выполняется либо на тех же листах, либо на листах других стандартных форматов.

Текстовая часть должна содержать:

- задание на выполнение контрольной работы;
- введение;
- краткое описание назначения, областей применения, принципов функционирования заданных вариантов следящих систем и их функциональных схем;
- получение дифференциальных уравнений и составление структурных схем следящих систем;
- результаты анализа структурных схем следящих систем в соответствии с вариантами задания;
- составление схемы электрической принципиальной одного из вариантов анализируемых следящих систем;
- заключение;
- список использованной литературы.

В контрольной работе исследуется два варианта следящих систем: система частотной автоподстройки и фазовой автоподстройки частоты. Номера вариантов задаются преподавателем.

Дополнительная литература к контрольной работе

1. Артемьев В.М. Справочное пособие по методам исследования радиоэлектронных следящих систем. – Мн.: Выш. шк., 1984.
2. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления/ Под ред. В.А. Бессекерского. - М.: Наука, 1978.
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство .Пер. с нем. - М.: Мир, 1982.
4. Смирнова В.И. и др. Основы проектирования и расчёта следящих систем. -М.: Машиностроение, 1983.
5. Ганэ В.А., Степанов В.Л. Расчёт следящих систем. – Мн.: Выш. шк., 1990.
6. Ганкевич С.А., Саломатин С.Б. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Радиоавтоматика" для студентов радиотехнических специальностей. – Мн.: МРТИ, 1991.

Библиотека БГУИР

ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ ПО КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

по дисциплине “Радиоавтоматика”
для студентов заочников
“Радиоавтоматика”

Составили: Ганкевич Сергей Антонович,
Демидович Геннадий Николаевич,
Саланович Сергей Борисович

Редактор Т.А. Лейко
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать

Формат 60×84 1/16

Бумага

Печать офсетная. Усл. печ. л.

Уч. изд. 2,0

Тираж 100 экз.

Заказ

“Учреждение образования белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники”

Отпечатано в БГУИР. Лицензия ЛП №156. 220013, Минск, П. Бровки, 6