

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы**

**Наименование образовательной программы: Радионавигационные системы и комплексы**

**Уровень образования: высшее образование - специалитет**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Радиоавтоматика**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Силаева Е.В.
	Идентификатор	R6dcd8849-SilayevaYV-70915102

(подпись)

Е.В. Силаева

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сизякова А.Ю.
	Идентификатор	R4eb30863-SiziakovaAY-83831ea7

(подпись)

А.Ю.  
Сизякова

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Куликов Р.С.
	Идентификатор	R7ef0b374-KulikovRS-e851162c

(подпись)

Р.С. Куликов

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ОПК-1 способен представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики

ИД-3 Применяет общеинженерные знания в инженерной деятельности для анализа и проектирования радиоэлектронных устройств и систем

2. ОПК-2 способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и применять соответствующий физико-математический аппарат для их формализации, анализа и принятия решения

ИД-1 Знает современное состояние области профессиональной деятельности

3. ОПК-4 способен проводить экспериментальные исследования и владеть основными приемами обработки и представления экспериментальных данных

ИД-2 Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования

ИД-3 Обработывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчетного задания (Расчетно-графическая работа)
2. Лабораторная работа №1 «Система слежения за задержкой сигнала» (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа №2 «Угловой дискриминатор» (Лабораторная работа)
4. Лабораторная работа №3 «Нелинейные режимы работы системы слежения за частотой» (Лабораторная работа)
5. Лабораторная работа №4 «Нелинейная дискретная система слежения за фазой» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Домашняя работа №1 (Решение задач)
2. Домашняя работа №2 (Решение задач)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	4	3	8	14	10	12	15

Принципы построения систем радиоавтоматики. Дискриминаторы следящих систем. Операторные коэффициенты передачи систем							
Принципы построения систем радиоавтоматики. Дискриминаторы следящих систем. Операторные коэффициенты передачи систем	+						
Анализ линейных систем радиоавтоматики. Нелинейные системы радиоавтоматики и их линеаризация							
Анализ линейных систем радиоавтоматики. Нелинейные системы радиоавтоматики и их линеаризация		+	+	+			
Цифровые системы радиоавтоматики и их анализ							
Цифровые системы радиоавтоматики и их анализ					+	+	
Оптимальная фильтрация, фильтры Калмана							
Оптимальная фильтрация, фильтры Калмана						+	+
Вес КМ:	5	15	15	5	15	15	30

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ОПК-1	ИД-3 <sub>ОПК-1</sub> Применяет общеинженерные знания в инженерной деятельности для анализа и проектирования радиоэлектронных устройств и систем	Знать: основы проектирования оптимальных непрерывных и дискретных фильтров принципы функционирования конкретных аналоговых и цифровых систем радиоавтоматики Уметь: проводить анализ устойчивости, детерминированных и случайных процессов в непрерывных и дискретных системах автоматического управления	Лабораторная работа №1 «Система слежения за задержкой сигнала» (Лабораторная работа) Домашняя работа №1 (Решение задач) Лабораторная работа №2 «Угловой дискриминатор» (Лабораторная работа) Домашняя работа №2 (Решение задач)
ОПК-2	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub> Знает современное состояние области профессиональной деятельности	Уметь: обрабатывать и представлять данные по результатам экспериментального исследования систем	Лабораторная работа №3 «Нелинейные режимы работы системы слежения за частотой» (Лабораторная работа)

		автоматического управления	
ОПК-4	ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования	Уметь: проводить исследования характеристик систем автоматического управления	Лабораторная работа №3 «Нелинейные режимы работы системы слежения за частотой» (Лабораторная работа) Лабораторная работа №4 «Нелинейная дискретная система слежения за фазой» (Лабораторная работа)
ОПК-4	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub> Обработывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов	Уметь: применять методы анализа и синтеза линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных систем радиоавтоматики	Лабораторная работа №4 «Нелинейная дискретная система слежения за фазой» (Лабораторная работа) Защита расчетного задания (Расчетно-графическая работа)

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Домашняя работа №1

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает письменное типовое задание

#### Краткое содержание задания:

Задача 1.

Для системы ФАП (рис. 1, 2) найдите операторный коэффициент передачи, связывающий нестабильность  $\delta\omega_{\Gamma C}^{\Gamma C}$  собственной частоты подстраиваемого генератора и ошибку фазы  $\phi$ , полагая  $F(\phi) = S_D^A \phi$

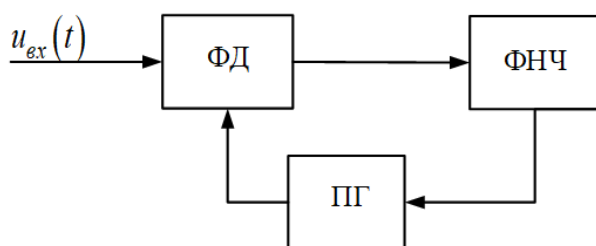


Рисунок 1

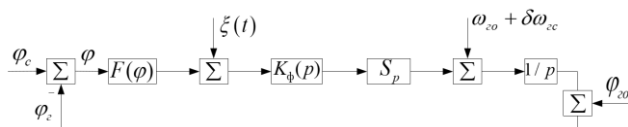


Рисунок 2

Задача 2.

Для системы ФАП с дополнительным фазовым модулятором (рис. 3, 4) найдите, полагая  $F(\phi) = S_D^A \phi$ , операторные коэффициенты передачи, устанавливающие связь а) между воздействием  $\phi_{c c}^c(t)$  и процессами  $\phi(t)$  и  $\phi_{\Gamma \Gamma}^{\Gamma \Gamma}(t)$ , б) между возмущением  $\xi(t)$  и процессом  $\phi(t)$

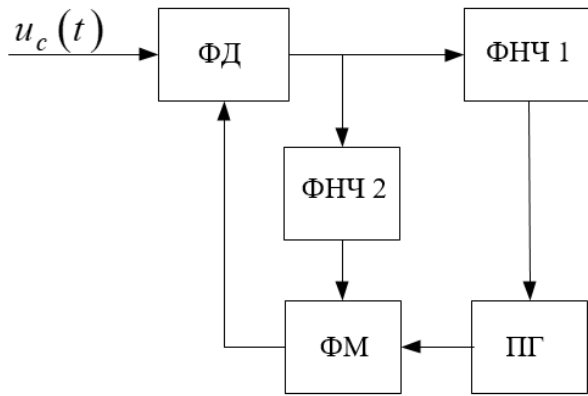


Рисунок 3

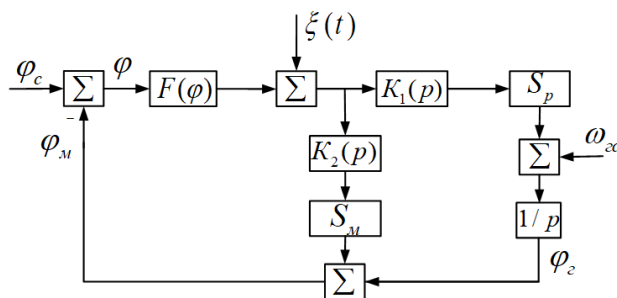


Рисунок 4

Задача 3.

Найдите операторный коэффициент передачи, связывающий

процессы  $\theta_{и_i}^u(t)$  и  $u_{\phi}^{\phi}(t)$  в системе углового сопровождения (рис. 5),  $F(\theta) = S_{д}^A \theta$

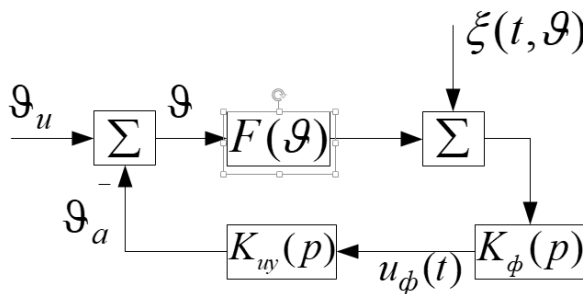


Рисунок 5

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основы проектирования оптимальных непрерывных и дискретных фильтров

1. Что такое операторный коэффициент передачи системы ФАП?
2. Каковы условия линеаризации схемы системы ФАП с дополнительным фазовым модулятором?

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90



*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если все задания выполнены в отведенное время без ошибок допускается неточность при обосновании в одном из трех вопросов (по тексту задания)

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 80

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если все задания выполнены с превышением отведенного времени без ошибок При выполнении задания в отведенное время допускается неточность при ответе не более, чем на два вопроса (по тексту задания)

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание выполнено в отведенное время, ошибки при ответе не более, чем на два вопроса (по тексту задания)

## **КМ-2. Лабораторная работа №1 «Система слежения за задержкой сигнала»**

**Формы реализации:** Защита задания

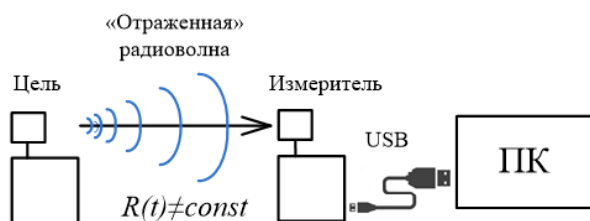
**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 1. Проверить наличие выполненной домашней подготовки, в которой требуется выполнить и занести в отчет следующее: ознакомиться с описанием данной работы и с рекомендуемой литературой; для трех типов воздействий (ступенчатое, линейное и квадратичное) рассчитать ошибку слежения в установившемся режиме для 3-х типов фильтров; оценить их порядок астатизма; результаты свести в таблицу; продумать методики экспериментального определения параметров альфа, бета, гамма; подготовиться к ответу на контрольные вопросы 2. Проверить отчет о проделанной работе 3. Провести опрос по отчету о проделанной работе 4. Провести опрос по контрольным вопросам преподавателя

### **Краткое содержание задания:**

1. Для проведения эксперимента требуется следующее оборудование: антенна на подвижном объекте, два сверхширокополосных радиомодуля, подвижная платформа, ПК со специальным интерфейсом. Один из модулей имеет фиксированное положение и имитирует приёмопередатчик, а другой, свободно перемещающийся в пространстве, – цель, от которой «отражается» сигнал (рис.1):



- 1.
2. Рисунок 1. К описанию лабораторной установки

Программная модель системы слежения (рис. 2) позволяет в реальном времени наблюдать процессы в выбранной точке системы одновременно для трех типов фильтров

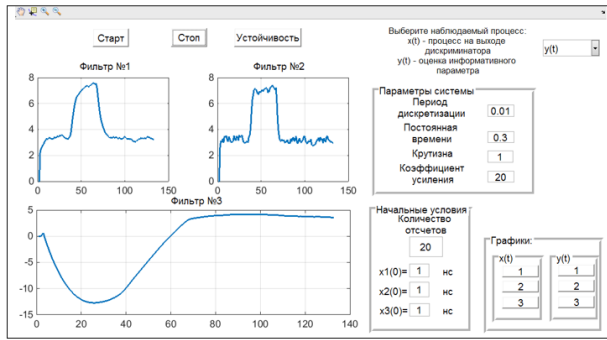


Рисунок 2. Интерфейс программной модели системы слежения

На панели «Параметры системы» производится ввод основных параметров системы, влияющих на её режим работы. При этом изменение параметров может происходить во время съема показаний с измерителя (в реальном времени). Таким образом, возможно наблюдение изменения реакции системы на входное воздействие (ВВ) при вариации её параметров

1. Сымитируйте имитацию воздействие-скачок  $\lambda(t) = \alpha \cdot 1(t)$  (для всех вариантов подобранных параметров). Имитация скачка производится резким перемещением (руками) подвижной цели из одной точки в другую
2. На лицевой панели “Параметры системы” на экране ПК со специальным ПО выберите тип фильтр? Фильтр №1 (таблица 1)
3. Проведите компьютерное моделирование в среде MATLAB, сохраните файлы с характерными графиками (оценки информативного процесса и процесса на выходе дискриминатора)
4. Проверьте, является ли система устойчивой при выбранных параметрах системы
5. Если система не является устойчивой, то перейдите к выбору параметров системы и повторите компьютерное моделирование до тех пор, пока не добьетесь устойчивого режима работы системы
6. По графикам оцените  $\hat{\alpha}$  (время, за которое была резко передвинута цель)
7. Сопоставьте измерения с результатами расчёта в домашней подготовке. Сделайте выводы

Таблица 1

Воздействие	Фильтр, №	$x_{уст}, c$	$u_{уст}, c$	$\Delta t_{уст}, такты$	$\hat{\alpha}, c$	$\hat{\beta}$	$\hat{\gamma}, c^{-1}$
$\alpha \cdot 1(t)$	1: $\frac{K_n}{1+pT_\phi}$						
	2: $\frac{K_n}{p}$						
	3: $\frac{K_n(1+pT_\phi)}{p^2}$						
$\beta \cdot t$	1						
	2						
	3						
$\gamma \cdot t^2$	1						
	2						
	3						

8. Повторите все измерения и построения для линейного входного воздействия  $\lambda(t) = \beta \cdot t$  по пунктам 2-7. Имитация линейного воздействия производится равномерным

перемещением (руками) подвижной цели в сторону от неподвижного приёмопередатчика (или по направлению к нему)

9. Повторите все измерения и построения для квадратичного входного воздействия  $\lambda(t) = \gamma \cdot t^2$  по пунктам 2-7. Для имитации квадратичного воздействия в составе лабораторного стенда предусмотрена наклонная плоскость с направляющими, по которой свободно скатывается «тележка» с закрепленной на ней целью. При этом неподвижный приёмопередатчик устанавливается на верхнем конце наклонной плоскости

10. Подготовьте отчет о выполнении работы.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: принципы функционирования конкретных аналоговых и цифровых систем радиоавтоматики</p>	<p>1. Возможна ли работа системы слежения без включения в её состав сглаживающего фильтра? 2. Чем определяется тип (колебательный, апериодический) переходного процесса?</p>
<p>Уметь: проводить анализ устойчивости, детерминированных и случайных процессов в непрерывных и дискретных системах автоматического управления</p>	<p>1. Для системы слежения за задержкой выведите и изобразите законы изменения процесса на выходе дискриминатора для случая линейного воздействия. Используйте операторный коэффициент передач фильтра №2: <math>\frac{K_H}{p}</math>. Рекомендуется использовать расширенные таблицы преобразований Лапласа. 2. Для системы слежения за задержкой выведите и изобразите законы изменения процесса на выходе ФНЧ для случая линейного воздействия. Используйте операторный коэффициент передачи фильтра №2: <math>\frac{K_H}{p}</math>. Рекомендуется использовать расширенные таблицы преобразований Лапласа.</p>

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

### КМ-3. Лабораторная работа №2 «Угловой дискриминатор»

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 1. Проверить наличие выполненной домашней подготовки, в которой требуется выполнить и занести в отчет следующее: ознакомиться с описанием данной работы и с рекомендуемой литературой; полагая истинное

направление на цель, его оценку в угловом измерителе и опорную оценку углового направления, постройте четыре дискриминационные характеристики углового дискриминатора для сочетания случаев близкого и далёкого расположения цели относительно антенной решётки, а также для случаев малой базы и большой базы (всего четыре сочетания). При построении всех четырёх дискриминационных характеристик должно выполняться условие: «цель» должна как бы «облетать» антенную решётку на фиксированном расстоянии; подготовиться к ответу на контрольные вопросы 2. Проверить отчет о проделанной работе 3. Провести опрос по отчету о проделанной работе 4. Провести опрос по контрольным вопросам преподавателя

### Краткое содержание задания:

Лабораторное задание заключается в экспериментальном измерении дискриминационной характеристики углового дискриминатора в четырёх случаях. Измерительная установка (рис. 1) состоит из трех сверхширокополосных радиомодулей и компьютера. Модули №1 и №2 настроены на режим измерения и образуют антенную решётку. Элементы антенной решётки помещаются на поворотный стол. Расстояние между модулями №1 и №2, база решётки, можно устанавливать на время проведения эксперимента произвольно (не менее 25 см). Модуль №3, цель, настроен на режим излучения. Он помещается на некотором удалении от центра антенной решётки, образованной модулями №1 и №2. Модуль №1 подключен к компьютеру для передачи измерений в программный модуль.

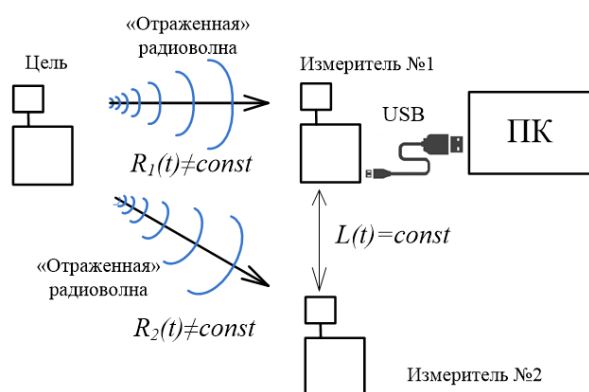


Рисунок 1. К описанию лабораторной установки: ПК - персональный компьютер  
В компьютерном модуле рассчитывается разность оценок фаз и её пересчёт в оценку углового направления. На рисунке 2 представлен интерфейс программного модуля

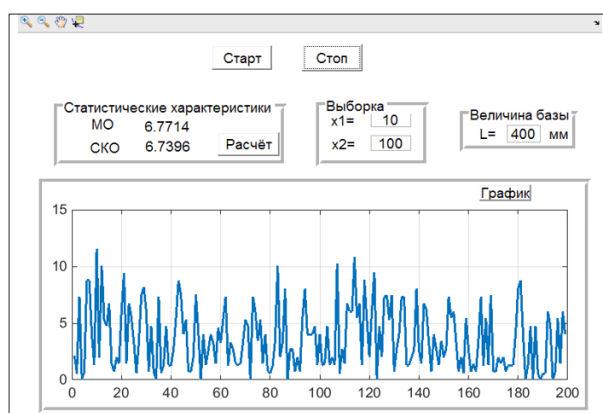


Рисунок 2. Интерфейс программного модуля

Программный модуль позволяет в реальном времени наблюдать оценку угла  $\theta$ . При нажатии на кнопки «Старт» и «Стоп» происходит, соответственно, начало и

прекращение считывания оценок фаз с измерителей №1 и №2 с последующей обработкой данных и графическим выводом оценки угла. На панели «Величина базы» задается база решётки  $L$ . На панели «Статистические характеристики» выводятся значения математического ожидания (МО) и среднеквадратического отклонения (СКО) реализации. Кнопка «График» создает окно «График» с данными выбранного графика и расширенным функционалом работы с графиками  
Содержание экспериментов отражено в таблице 1

Таблица 1

Содержание экспериментов		База антенной решётки , м	
		0.25...0.3	0.5..0.6
Расстояние до цели , м	1...1.5	эксперимент 1	эксперимент 2
	4...6	эксперимент 3	эксперимент 4

Порядок выполнения эксперимента 1:

1. Установите элементы антенной решётки (радиомодули №1 и №2) на поворотном столе на расстоянии  $L^{min}$ , выбранном в домашней подготовке, максимально точно
2. Установите цель на расстоянии  $A_3 O^{min}$ , выбранном в домашней подготовке
3. Поверните антенную решётку на поворотном столе так, чтобы цель оказалась на нормали к базе решётки, установите нуль поворотного стола в этом положении
4. Поворачивайте поворотный стол с шагом 5..10 градусов и для каждого положения измерьте оценку угла, получаемую усреднением нескольких измерений, а также СКО измерений. Результаты измерений заносите в таблицу 2

Таблица 2.

$L, м$	$c, м$	$b, м$	$\theta, град$	$M \left[ \hat{\theta} \right]$	$\sigma \left[ \hat{\theta} \right]$
...					

5. Постройте ДХ и флуктуационную характеристику
6. Повторите измерения по п.п. 1-5 для экспериментов 2, 3 и 4
7. Сопоставьте дискриминационные характеристики (ДХ), рассчитанные в домашней подготовке, с ДХ, полученными экспериментально. Сделайте выводы о влиянии параметров эксперимента (базы антенной решётки, расстояния до цели) на точность оценки углового направления

**Примечание.** Точность оценки углового направления  $M \left[ \hat{\theta} \right]$  на неподвижную цель возрастает с увеличением длительности периода усреднения ДХ

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать:	принципы функционирования конкретных	1.Поясните форму дискриминационной характеристики углового дискриминатора,
--------	--------------------------------------	--

**Описание шкалы оценивания:***Оценка: 5**Нижний порог выполнения задания в процентах: 90**Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно**Оценка: 4**Нижний порог выполнения задания в процентах: 80**Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач**Оценка: 3**Нижний порог выполнения задания в процентах: 60**Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено***КМ-4. Домашняя работа №2****Формы реализации:** Письменная работа**Тип контрольного мероприятия:** Решение задач**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Каждый студент получает письменное типовое задание**Краткое содержание задания:**

Задача №1.

Определите путем решения уравнений:

$$\left|K_p(j\omega)\right| = 1, \quad \varphi_p(\omega) = -\pi$$

условия устойчивости замкнутой системы, если комплексный коэффициент передачи разомкнутой системы равен  $K_p^p P_p(j\omega) = \frac{ke}{(1+j\omega T_\phi)}$

Задача №2.

Постройте годограф разомкнутой системы с комплексным коэффициентом передачи:

$$a) \quad K_p(j\omega) = \frac{K_v(1+j\omega T_1)}{j\omega(1+j\omega T_2)(1+j\omega T_3)}, \quad K_v = 10 (1/c),$$

$$T_1 = 0,25 c, \quad T_2 = 1 c, \quad T_3 = 0,01 c;$$

$$б) \quad K_p(j\omega) = ke^{-j\omega\tau_s} / (1+j\omega T_\phi), \quad K = 10,$$

$$\tau_s = 0,01 c, \quad T_\phi = 0,1 c.$$

**Контрольные вопросы/задания:**Знать:  
принципы  
функционирования  
конкретных  
аналоговых и цифровых систем

1.Что такое устойчивость следящей системы?

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-5. Лабораторная работа №3 «Нелинейные режимы работы системы слежения за частотой»

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторное задание заключается в следующем: 1. Выполнить домашнюю подготовку, в которой требуется выполнить и занести в отчет следующее: изучить описание модели ССЧ, используемой в работе; изучить по учебнику [2] или [3] методику оценки полосы захвата и полосы удержания путём графического решения нелинейного дифференциального уравнения. Включить материалы в подготовку; продумать методику экспериментальной оценки полосы захвата и полосы удержания: требуемые входные воздействия, признаки захвата и срыва. Включить материалы в подготовку; подготовиться к ответу на контрольные вопросы 2. Оформить отчет о проделанной работе 3. Пройти опрос по отчету о проделанной работе 4. Пройти опрос по контрольным вопросам преподавателя

**Краткое содержание задания:**

Цель лабораторной работы: заключается в изучении особенностей захвата и срыва слежения в нелинейной дискретной системе слежения за частотой (см. рис.1)

В данной работе нелинейный режим следящей системы радиоавтоматики исследуется на примере структурной модели дискретной ССЧ (см. рис.2)

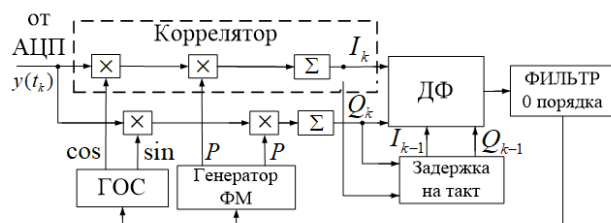


Рисунок 1. Схема дискретной нелинейной ССЧ

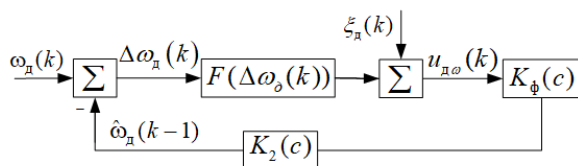


Рисунок 2. Структурная схема нелинейной дискретной ССЧ

ССЧ используются в навигационной аппаратуре потребителей систем ГЛОНАСС и GPS, а также в радиолокации и в гидроакустике (в том числе, в медицинских приборах диагностики) для оценки доплеровской частоты, по которой, в частности, оценивается вектор скорости.

В лабораторной работе оцениваются полоса захвата и полоса удержания системы ССЧ. В домашней подготовке полосы оцениваются аналитически, а в процессе выполнения работы – с помощью имитационного моделирования.

Лабораторное задание заключается в следующем:

1. Построить зависимость  $\Omega(\Omega_c)$  – расстройки от отклонения  $\Omega_c$  для двух значений крутизны регулировочной характеристики путём графического решения нелинейного дифференциального уравнения. Оценить полосы захвата и удержания
2. Построить зависимость  $\Omega(\Omega_c)$  – расстройки от отклонения  $\Omega_c$  для двух значений крутизны регулировочной характеристики путём имитационного моделирования ССЧ при различных отношениях сигнал/шум. Оценить полосы захвата и удержания
3. Сопоставить результаты и сделать выводы

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: обрабатывать и представлять данные по результатам экспериментального исследования систем автоматического управления	1. В чем заключается методика определения полос захвата и удержания путём решения нелинейного дифференциального уравнения? 2. В чем заключается методика экспериментального определения полос захвата и удержания?
Уметь: проводить исследования характеристик систем автоматического управления	1. Поясните принцип работы частотного дискриминатора, используемого в работе

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено



## **КМ-6. Лабораторная работа №4 «Нелинейная дискретная система слежения за фазой»**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Лабораторное задание заключается в следующем: 1. Выполнить домашнюю подготовку, в которой требуется выполнить и занести в отчет следующее: прочитайте полностью текст этого описания и лекций, посвященных дискретным системам; зарисуйте функциональную и структурную схемы ССФ, которые Вам надо реализовать во время выполнения лабораторной работы; найдите передаточную функцию от фазы входного сигнала до ошибки по фазе и с помощью нее определите условия устойчивости системы [1, с. 253]; постройте область значений параметров системы, при которых система устойчива; для данного расчета можно считать фазовый дискриминатор линейным при малых ошибках слежения по фазе; постройте качественно графики зависимости ошибки слежения системы от времени для двух типов входных воздействий: постоянного и линейного в отсутствие шума приемника; проведите сопоставление соответствующих графиков; сделайте выводы; постройте качественно графики зависимости ошибки слежения системы от времени при различных значениях отношения сигнал /шум при наличии шума приемника; проведите сопоставление соответствующих графиков; сделайте выводы; рассчитайте ошибки слежения за фазой в установившемся режиме для двух типов входных воздействий: постоянного и линейного в отсутствие шума приемника 2. Оформить отчет о проделанной работе 3. Пройти опрос по отчету о проделанной работе 4. Пройти опрос по контрольным вопросам преподавателя

### **Краткое содержание задания:**

Цель лабораторной работы заключается в изучении процессов в нелинейной системе фазовой автоподстройки с различными фазовыми дискриминаторами, используемыми в навигационной аппаратуре потребителей ГЛОНАСС/GPS и в других радиотехнических системах, в том числе, в медицинских диагностических приборах

В лабораторной работе изучаются вопросы, связанные с принципом работы дискретной нелинейной системы слежения за фазой (ССФ) радиосигнала с модуляцией ФМ-2 (англ. BPSK(1)), с наблюдением и исследованием процессов, происходящих в данной системе

Задачи работы:

- 1) изучить теоретические вопросы, связанные с математическим описанием дискретных нелинейных систем слежения за фазой сигнала;
- 2) изучить применение систем слежения за фазой, работающих по модулированному сигналу ФМ-2;
- 3) изучить особенности работы системы слежения за фазой сигнала;
- 4) понять, как работают различные типы нелинейных фазовых дискриминаторов в следящей системе, используя для этого их дискриминационные характеристики;
- 5) проанализировать воздействие детерминированных процессов на дискретную нелинейную систему слежения за фазой;
- 6) проанализировать возникновение ошибок слежения в системе слежения за фазой

В данной лабораторной работе рассматривается полностью дискретная следящая система за фазой сигнала, в которой дискретизация входного процесса происходит до СРА, а все процессы в СРА – дискретные

На рис. 1 приведена структурная схема нелинейной дискретной системы слежения за фазой. Данная схема отражает упрощенное математическое описание функциональных

узлов, которые входят в функциональную схему и нужна для аналитического расчёта процессов.

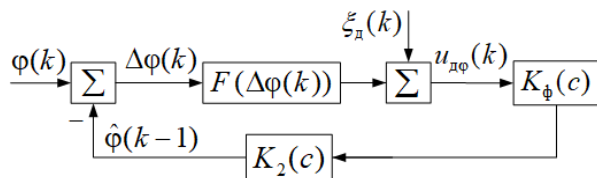


Рисунок 1. Структурная схема нелинейной дискретной ССЧ

В данной лабораторной работе рассматривается полностью дискретная следящая система за фазой сигнала, в которой дискретизация входного процесса происходит до СРА, а все процессы в СРА – дискретные

Лабораторное задание заключается в следующем (см. рис.2):

1. Изучение работы фазового дискриминатора

Рассматриваем режим работы №1: ДХ (построение ДХ ФД)

Дискриминационная характеристика – это зависимость математического ожидания выходного процесса фазового дискриминатора от расстройки фазы  $\Delta\varphi$ . Для построения этой характеристики система слежения за фазой размыкается, и на вход дискриминатора подается сигнал с линейно нарастающей фазой

Количество отсчетов моделирования для данного режима работы достаточно задать равным 1000

В качестве вариантов ФД используются пять типов дискриминаторов:

ФД №1:  $u_{д\varphi} = -th(I_p)Q_p$ ;

ФД №2:  $u_{д\varphi} = -sign(I_p)Q_p$ ;

ФД №3:  $u_{д\varphi} = -I_p Q_p$ ;

ФД №4:  $u_{д\varphi} = -Q_p / I_p$ ;

ФД №5:  $u_{д\varphi} = -Arctg(Q_p / I_p)$

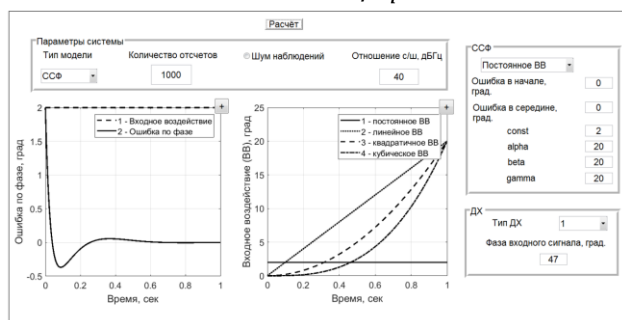


Рисунок 2. Интерфейс модели системы слежения за фазой сигнала

1.1. Построить дискриминационные характеристики (ДХ) всех перечисленных выше фазовых дискриминаторов (ФД), определить их апертуры  $\Delta\varphi$ . Записать значение в [рад] и [град]. Дискриминационная характеристика в лабораторной работе строится при выключенном внутреннем шуме приемника

Примечание: ширина апертуры ДХ ФД – это значение фазы, которое измеряется по первым максимумам ДХ и выражается в единицах измерения: [рад] или [град]

1.2. Построить нормированные дискриминационные характеристики (НДХ) всех пяти типов ФД при выключенном внутреннем шуме приемника в результате деления на нормирующий множитель с целью получения единичной крутизны дискриминационной

характеристики при максимальном уровне навигационного сигнала. Данные нормирующие множители посчитаны и автоматически заданы в программе лабораторной работы

Сделать вывод о том, какой фазовый дискриминатор обладает некоторыми затруднениями, основываясь на виде всех ДХ рассмотренных ФД. С чем это может быть связано?

1.3. Исследовать, как влияет изменение (увеличение и уменьшение) значений отношения сигнал/шум на форму выходного напряжения для каждого типа фазового дискриминатора. Для этого необходимо включить внутренний шум приемника и, изменяя значения отношения сигнал/шум, зафиксировать процессы на выходе фазового дискриминатора

Занести наглядные графики в отчет

2. Исследование точности системы слежения за фазой при отсутствии шума

Изучение динамических ошибок слежения при четырех типовых воздействиях:

- постоянное (ступенчатое);
- линейное;
- квадратичное;
- кубическое

Рассматриваем режим работы №2: ССФ (система слежения за фазой сигнала)

В лабораторной работе частота дискретизации задана как:  $f_d = 20$  (МГц), отсюда период дискретизации равен:  $T_d = 1/f_d = 5 \cdot 10^{-8}$  (с)

Количество отсчетов моделирования для данного режима работы достаточно задать равным:  $N = 1000 \dots 5000$

Выбор номера фазового дискриминатора осуществляется в зависимости от номера бригады, указанного в таблице 1

Таблица 1. Выбор типа ФД

Номер бригады	Тип ФД
1	№1: $u_{дф} = -th(I_p)Q_p$
2	№2: $u_{дф} = -sign(I_p)Q_p$
3	№3: $u_{дф} = -I_p Q_p$
4	№5: $u_{дф} = -Arctg(Q_p/I_p)$

2.1. Построить и занести в отчет графики ошибок слежения за фазой для этих четырех типов входных воздействий (ВВ) в отсутствии шума приемника. Для примера зададим следующие параметры:  $const = 2$  (град);  $\alpha_\varphi = 20$  (град/сек);  $\beta_\varphi = 20$  (град/сек<sup>2</sup>);  $\gamma_\varphi = 20$  (град/сек<sup>3</sup>);

Зафиксировать установившиеся значения ошибок слежения для каждого случая и занести данные в таблицу 2, пояснить характер изменения графиков

Таблица 2. Установившиеся значения ошибок слежения

Тип ВВ Уст. значение, град	Ошибка слежения за фазой								
	Постоянное			Линейное		Квадратичное		Кубическое	
	2	5	10	20	80	20	80	20	80

2.2. Задать для четырех типов входного воздействия начальную ошибку слежения, отличную от нуля, например, равную 5, 10, 80 град, и построить графики ошибок слежения. Пронаблюдать возникшие изменения в характере зависимости ошибок слежения за фазой. Зафиксировать (при наличии) отклонения установившихся ошибок слежения за фазой от теоретически посчитанных значений ошибок и попытаться объяснить, откуда они возникают

2.3. Задать несколько значений начальных ошибок слежения за фазой:  $\Delta\varphi_0 = 40 \dots 90$  град. Добиться срыва слежения за фазой сигнала, зафиксировать данное значение начальной ошибки слежения и занести в отчет. А также зафиксировать граничное значение начальной ошибки слежения, при котором система еще сохраняет корректную работу

2.4. Задать несколько значений ошибок слежения за фазой в середине времени наблюдения:  $\Delta\varphi_{T/2} = 40 \dots 90$  град. Добиться срыва слежения за фазой сигнала, зафиксировать данное значение ошибки слежения в середине времени наблюдения и занести его в отчет. А также зафиксировать граничное значение ошибки слежения в середине времени наблюдения, при котором система еще сохраняет корректную работу

3. Исследование точности системы слежения за фазой для двух типовых воздействий (постоянного и линейного) при наличии шума. Изучение флуктуационных ошибок слежения за фазой. Исследование действия шумов на систему.

Рассматриваем режим работы №1: слежение за фазой сигнала

Количество отсчетов моделирования для данного режима работы достаточно задать равным  $N = 2000 \dots 3000$

3.1. Построить реализации ошибок слежения за фазой сигнала с использованием фазового дискриминатора по номеру бригады, описанного ранее, включив предварительно шум и задав следующие значения отношения сигнал/шум (ОСШ): 10, 25, 27, 30, 33, 35, 40 и 45 дБГц. Занести в отчет реализации ошибок слежения для двух значений ОСШ: 35 и 45 дБГц

3.2. Рассчитать с помощью модели точность слежения за фазой сигнала (средний квадрат ошибки (СКОш) слежения за фазой радиосигнала при наличии постоянной составляющей ошибки, используя реализации, построенные в п.3.1, для каждого случая.

Значения СКОш выразить в [град]. Свести полученные данные в таблицу

Сделать вывод о том, как меняется СКОш ошибки слежения за фазой сигнала при изменении отношения сигнал/шум, и какова природа этих изменений

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: проводить исследования характеристик систем автоматического управления</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Изобразить функциональную и структурную схемы дискретной нелинейной системы слежения за фазой, используемой в данной работе, и пояснить, как эти схемы соотносятся друг с другом?</li> <li>2.Как зависит ошибка слежения за фазой от типа входного воздействия?</li> <li>3.Чему равны ошибки слежения за фазой в установившемся режиме при воздействии на систему входного воздействия в виде: постоянной функции («скачка»), линейной, квадратичной и кубической функции?</li> <li>4.Какую информацию можно получить, отслеживая частоту и фазу принимаемого сигнала в системах частотной и фазовой автоподстройки?</li> </ol>
<p>Уметь: применять методы анализа и синтеза линейных и</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Поясните разницу между системами частотной и фазовой автоподстройки. Для чего эти системы</li> </ol>

нелинейных, непрерывных и дискретных систем радиоавтоматики	используются?
---	---------------

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

#### КМ-7. Защита расчетного задания

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** 1. Студентам необходимо выполнить расчетное задание №1 по теме "Анализ непрерывной системы РА (системы ФАП, ЧАП, временного или углового сопровождения) 2. Студентам необходимо выполнить расчетное задание №2 по теме "Анализ обобщенной дискретной системы РА" 3. Составить и защитить две части расчетного задания

#### Краткое содержание задания:

В рамках расчетно-графического задания №1 выполняется анализ непрерывной системы РА (системы ФАП, ЧАП, временного или углового сопровождения)

Задание выполняется индивидуально по вариантам

Расчётное задание направлено на закрепление умения анализа непрерывной системы РА (системы ФАП, ЧАП, временного или углового сопровождения)

Необходимо научиться рассчитывать значение ошибки слежения в установившемся режиме в случае детерминированного воздействия, если воздействие является случайной функцией времени, дисперсию ошибки слежения в установившемся режиме, а также дисперсию ошибки слежения, вызванную действием на выходе дискриминатора белого шума

#### Часть 1

1. Постройте обобщённую структурную схему следящей системы радиоавтоматики. Укажите допущения, при которых обобщённая структурная схема описывает работу системы, тип которой указан в графе 1 приведённой ниже таблицы 1
2. Убедитесь в том, что рассматриваемая система при использовании фильтра, операторный коэффициент передачи которого приведён в графе 2, устойчива
3. Полагая, что параметры системы удовлетворяют соотношению, приведённому в графе 3, получите выражение для изменения ошибки слежения  $x(t)$  при воздействии "скачка" и нулевых начальных условиях

4. Постройте график полученной зависимости  $x(t)$ . Для заданий 2, 5, 10, 13 и 19 найти не процесс  $x(t)$ , а процесс  $y(t)$
5. Укажите, как меняется характер переходного процесса, если соотношение, указанное в графе 3, не выполняется
6. При выполнении этого соотношения выясните, как влияет на длительность переходного процесса в системе значение параметра фильтра, приведённого в графе 4
7. Определите, пользуясь графой 5 таблицы, является ли воздействие в вашем задании случайной или детерминированной функцией времени. В случае детерминированного воздействия найдите значение ошибки слежения
8. в установившемся режиме, приняв, что описывается выражением, приведённым в графе 6. Если воздействие является случайной функцией времени, найдите дисперсию ошибки слежения в установившемся режиме, полагая, что спектральная плотность воздействия описывается выражением, приведённым в графе 7
9. Найдите в установившемся режиме дисперсию ошибки слежения, вызванную действием на выходе дискриминатора белого шума со спектральной плотностью  $S_{\xi\xi}^{\xi\xi}(0)$
10. Используя результаты, полученные при выполнении пунктов 7 и 8 задания, определите средний квадрат ошибки слежения в установившемся режиме с учётом действия процессов  $\lambda(t)$  и  $\xi(t)$ . Проведите оптимизацию параметров фильтра, указанных в графе 8 таблицы, по критерию получения минимума среднего квадрата ошибки. Поясните, можно ли остальные параметры фильтра (если они есть) оптимизировать по этому критерию. Учтите при этом влияние указанных параметров на другие характеристики системы: длительность переходного процесса, величину ошибки слежения в переходном режиме
11. Выясните, сохраняется ли устойчивость рассматриваемой системы при включении в её состав дополнительного звена с коэффициентом передачи, приведённом в графе 9. Используйте при этом метод, указанный в графе 10 и значения параметров системы, помещённые в графе 11

Таблица 1

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ФАП	А	$\sqrt{S_x K T_1} = 2$	К	ап	Р	—	$T_1$	$1/(1 + pT_1)$	чет	$S_x = 1В/рад; K = 25 рад/В \cdot с^2; T_1 = 0.4с;$ $T_2 = 0.1с$
2	ФАП	Б	$1 + S_x K T_1 = 2\sqrt{S_x K T}$	Т	ап	Р	—	$T_1$	$1/(1 + pT_1)(1 + pT_2)$	нечет	$S_x = 2В/рад; K = 125 рад/В \cdot с; T_1 = 0.036с;$ $T = 0.1с; T_2 = 0.01с; T_3 = 0.15с$
3	ФАП	В	$S_x K T = 0.25$	Т	ап	Р	—	К	$1/(1 + pT_1)$	нечет	$S_x = 1.5В/рад; K = 5 рад/В \cdot с; T = 0.033с;$ $T_2 = 0.05с$
4	ФАП	А	$\sqrt{S_x K T_1} = 2$	К	ап	Р	—	К, $T_1$	$1/(1 + pT_1)(1 + pT_2)$	нечет	$S_x = 0.5В/рад; K = 32 рад/В \cdot с^2; T_1 = 0.5с;$ $T_2 = 0.05с; T_3 = 0.2с$
5	АС	Б	$1 + S_x K T_1 = 2\sqrt{S_x K T}$	К	ап	Р	—	$T_1$	$1/(1 + pT_1)$	нечет	$S_x = 0.4В/мкс; K = 200 мкс/В \cdot с; T_1 = 0.5с;$ $T_2 = 0.09с; T = 0.1с$

В рамках расчетно-графического задания №2 выполняется анализ дискретных систем радиоавтоматики. Для выполнения РГР выполняются предварительные расчеты матожидания ошибки слежения и флуктуационной составляющей ошибки слежения в установившемся режиме

Задание выполняется индивидуально по вариантам

Расчётное задание направлено на закрепление умения анализа дискретных систем радиоавтоматики на примере анализа обобщённой дискретной системы радиоавтоматики. При этом для простоты полагается, что входные воздействия, дискриминационная характеристика (ДХ) и коэффициент усиления фильтра безразмерны; размерные величины - только постоянная времени и период дискретизации

### Расчётное задание (часть II). Анализ дискретных систем радиоавтоматики

Расчётное задание направлено на закрепление навыков анализа дискретных систем радиоавтоматики на примере анализа обобщённой дискретной системы радиоавтоматики. При этом для простоты полагается, что входные воздействия, дискриминационная характеристика (ДХ) и коэффициент усиления фильтра безразмерны; размерны только постоянная времени и период дискретизации. На рисунке 1 представлена структурная схема обобщённой дискретной системы радиоавтоматики, в состав которой входят: статистический эквивалент дискриминатора (тип ДХ

определяется номером варианта (номером студента в списке группы), см. приложение) и дискретный сглаживающий фильтр (тип фильтра определяется номером варианта, см. приложение). Решение задания следует производить на компьютере, в одном из математических пакетов, например, в MathCAD или Matlab; оформление решения (включая набор формул) следует производить на компьютере, в одном из текстовых редакторов, например, в MS Word и сохранять в формате \*.doc (если сохранять в формате \*.docx, возможны искажения формул при попытке открытия файла в текстовом редакторе на компьютере преподавателя, что приведёт к ненужным задержкам в проверке) или в формате \*.pdf. Решение задания предоставляется преподавателю в удобном для него виде: в электронном или на бумаге. В последнем случае следует понимать, что, так как часто возникает необходимость взглянуть на ход решения и скорректировать его, расчётный «математический» файл и файл текстовый должны быть подготовлены и предоставляемы по запросу преподавателя

1. В соответствии со своим вариантом (см. табл. 2) определить тип фильтра, полагая ДХ линейной и безразмерной
2. Определить условия устойчивости в общем виде, как соотношения между параметрами сглаживающего фильтра  $k_{\text{и}}^{\text{и}}$  и  $T_{\text{ф}}^{\text{ф}}$ , периодом дискретизации  $T$  и крутизной ДХ  $S_{\text{д}}$ . На основе полученных результатов свободно выбрать и зафиксировать следующие численные значения параметров фильтра, периода дискретизации и крутизны ДХ: обеспечивающие устойчивый режим работы; обеспечивающие неустойчивый режим работы; обеспечивающие работу на границе устойчивости
3. По теореме о конечном значении оригинала рассчитать значение в установившемся режиме матожидания ошибки слежения в общем виде и при  $K_{\text{и}0}^{\text{и}0}$  и  $T_{\text{ф}0}^{\text{ф}0}$ ,  $T_0^0$  и  $S_{\text{д}0}^{\text{д}0}$ . Тип динамического воздействия определить в соответствии со своим вариантом. Записать разностное уравнение системы для матожидания ошибки слежения и построить графики изменения ошибки слежения во времени при а)  $K_{\text{и}0}^{\text{и}0}$  и  $T_{\text{ф}0}^{\text{ф}0}$ ,  $T_0^0$  и  $S_{\text{д}0}^{\text{д}0}$ ; б)  $K_{\text{и}1}^{\text{и}1}$  и  $T_{\text{ф}1}^{\text{ф}1}$ ,  $T_1^1$  и  $S_{\text{д}1}^{\text{д}1}$ ; в)  $K_{\text{и}2}^{\text{и}2}$  и  $T_{\text{ф}2}^{\text{ф}2}$ ,  $T_2^2$  и  $S_{\text{д}2}^{\text{д}2}$
4. Полагая, что на выходе дискриминатора действует белый дискретный гауссовский шум с дискретной спектральной плотностью  $S_{\xi}^{\xi}(\omega)$ , рассчитать дисперсию флуктуационной составляющей ошибки слежения в установившемся режиме в общем виде

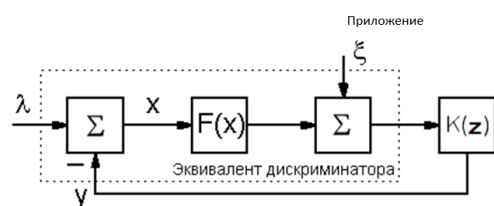


Рисунок 1. Структурная схема обобщённой дискретной системы радионавтоматики

Таблица 2

Порядковый номер студента в списке группы	Тип фильтра	Тип динамического воздействия
1, 13	А	А
2, 14	А	А
3, 15	А	А
4, 16	А	Б
5, 17	А	Б
6, 18	А	Б
7, 19	Б	А
8, 20	Б	А
9, 21	Б	А
10, 22	Б	Б
11, 23	Б	Б
12, 24	Б	Б

### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: применять методы анализа и синтеза линейных и

1. Поясните принцип работы системы слежения за задержкой радиосигнала

нелинейных, непрерывных и дискретных систем радиоавтоматики	2.Поясните принцип работы системы слежения за фазой радиосигнала
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*



# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»		Факультет: РТФ Курс: 4 Семестр: 7 Дисциплина: Радиоавтоматика
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ		
1. Общая характеристика систем радиоавтоматики. Примеры систем радиоавтоматики. Описание систем радиоавтоматики как систем автоматического регулирования (следящих систем).		
2. Определить дисперсию ошибки слежения $x(t)$ в установившемся режиме в непрерывной СРА (структурная схема представлена на рисунке), если на входе СРА действует случайный процесс $\lambda(t)$ со спектральной плотностью $S_\lambda(\omega) = \frac{2\mu\sigma_\lambda^2}{\mu^2 + \omega^2}$ , а на выходе дискриминатора действуют флуктуации $\xi(t)$ со спектральной плотностью $S_\xi(\omega)$ . ОКП в контуре регулирования $K(p) = k_v/p$ , где $p = d/dt$ – оператор дифференцирования.		
		
Утверждаю: зав. каф. РТС		Куликов Р.С.
Составил		Куликов Р.С.

1.

## Процедура проведения

Студент получает индивидуальный билет, готовится к ответу в течение не менее 60 минут. Ответ преподавателю проходит в устной форме. Студент рассказывает подготовленный материал по вопросам билета. Студенту задают дополнительные вопросы по вопросам билета и разделам дисциплины. На основании ответа студента формируется экзаменационная составляющая оценки.

## 1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3опк-1 Применяет общеинженерные знания в инженерной деятельности для анализа и проектирования радиоэлектронных устройств и систем

### Вопросы, задания

1. Функциональная схема обобщенной системы радиоавтоматики. Структурная схема системы радиоавтоматики (дискретной и непрерывной)
2. Линейные и нелинейные следящие системы, непрерывные, дискретные и цифровые следящие системы
3. Определение операторного коэффициента передачи системы радиоавтоматики. Правила структурных преобразований
4. Алгебраический критерий устойчивости линейных непрерывных следящих систем
5. Частотный критерий устойчивости линейных непрерывных следящих систем
6. Работа системы радиоавтоматики в нелинейном режиме (на примере непрерывной нелинейной системы частотной автоподстройки)
7. Статистический эквивалент непрерывного дискриминатора

### Материалы для проверки остаточных знаний

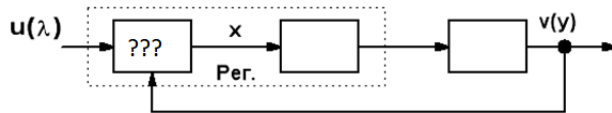
1. Какие Вы знаете критерии устойчивости следящих систем радиоавтоматики?

Ответы:

- а) алгебраический критерий
- б) геометрический критерий
- в) частотный критерий
- г) фазовый критерий

Верный ответ: а) и в)

2. Система управления по рассогласованию



Какой блок в системе управления по рассогласованию формирует оценку рассогласования  $x$  между задающим воздействием  $\lambda$  и его оценкой  $y$ ?

Ответы:

- а) преобразующий элемент (ПЭ)
- б) измеритель рассогласования (ИР)
- в) объект управления (ОУ)
- г) подстраиваемый генератор (ПГ)

Верный ответ: б)

3. Как называется задача оценивания с случайного процесса на фоне стационарного шума при условии, что наблюдение длится бесконечно долго (т.е. в установившемся режиме)?

Ответы:

- а) винеровской фильтрацией
- б) линейной фильтрацией
- в) нелинейной фильтрацией
- г) марковской фильтрацией

Верный ответ: а)

4. Как называется устройство, сигнал на выходе которого зависит от рассогласования параметров сигналов на его входах?

Ответы:

- а) фильтр
- б) генератор
- в) дискриминатор
- г) коррелятор

Верный ответ: в)

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-2</sub> Знает современное состояние области профессиональной деятельности

### Вопросы, задания

1. Типы дискриминаторов непрерывных систем радиоавтоматики: временный, частотный, фазовый
2. Типы сглаживающих фильтров в контуре типовых непрерывных следящих систем радиоавтоматики (с одним, двумя и тремя интеграторами, RC-фильтр)
3. Оптимальная линейная непрерывная фильтрация (фильтр Калмана-Бьюси)
4. Оптимальная линейная дискретная фильтрация (фильтр Калмана)
5. Общие понятия об оптимальных системах фильтрации радиоавтоматики и методах их синтеза
6. Дискретный сглаживающий фильтр. Типы сглаживающих фильтров в контуре типовых дискретных следящих систем радиоавтоматики (с одним, двумя и тремя дискретными интеграторами и др.)

7. Дискриминатор дискретной системы радиоавтоматики, накопление отсчетов в дискриминаторе. Типы дискриминаторов дискретных систем радиоавтоматики: временной, частотный, фазовый

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Верно ли следующее утверждение:

Импульсная характеристика связана с комплексным коэффициентом передачи преобразованием Фурье, а с передаточной функцией – преобразованием Лапласа

Ответы:

- а) да
- б) нет
- в) не знаю

Верный ответ: а)

2. Что обуславливает нелинейность дискриминационной характеристики?

Ответы:

- а) особые свойства систем радиоавтоматики (СРА) при ошибке слежения малого уровня: возможность срыва слежения
- б) особые свойства систем радиоавтоматики (СРА) при ошибке слежения большого уровня: невозможность захвата сигнала
- в) особые свойства систем радиоавтоматики (СРА) при ошибке слежения большого уровня: возможность срыва слежения
- г) ничего из выше перечисленного

Верный ответ: в)

3. Как себя ведет на частотной оси амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) звена временного запаздывания с операторным коэффициентом передачи:

$$K(j\omega) = \exp(-j\omega\tau_z)$$

Ответы:

- а) убывает с ростом частоты
- б) возрастает с ростом частоты
- в) не изменяется с ростом частоты и равна 1
- г) не изменяется с ростом частоты и равна задержке радиосигнала

Верный ответ: в)

4. Как называется фильтр, имеющий структуру, описываемую следующим уравнением:

$$\frac{d}{dt}\hat{x}(t) = F(t)\hat{x}(t) + K_{KB}(t)(\bar{r}(t) - C\hat{x}(t)),$$

Ответы:

- а) фильтр нижних частот
- б) режекторный фильтр
- в) фильтр Калмана-Бьюси
- г) дискретный фильтр Калмана

Верный ответ: в)

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ОПК-4 Выбирает способы и средства измерений и проводит экспериментальные исследования

### Вопросы, задания

1. Описание непрерывных линейных следящих систем дифференциальными уравнениями. Передаточные функции, частотные характеристики

2. Описание дискретных линейных следящих систем радиоавтоматики разностными уравнениями. Передаточные функции дискретных линейных систем, частотные характеристики

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что является одним из первых вопросов, возникающих у разработчика при проектировании и исследовании следящих систем?

Ответы:

- а) захвата сигнала
- б) устойчивости
- в) слежения за сигналом
- г) все вышеперечисленное

Верный ответ: б)

2. Какой функциональный блок в составе системы радиоавтоматики (СРА) является нелинейным?

Ответы:

- а) ФНЧ
- б) подстраиваемый генератор
- в) дискриминатор
- г) усилитель

Верный ответ: в)

3. Верно ли следующее утверждение:

Цифровые системы радиоавтоматики – принципиально нелинейные системы?

Ответы:

- а) да
- б) нет

Верный ответ: а)

4. Какой операторный коэффициент передачи имеет идеальный интегратор?

Ответы:

а)  $K(p) = \frac{k}{1+pT}$

б)  $K(p) = \frac{k}{p}$

в)  $k(p) = 1+pT$

г)  $k(p) = k$

Верный ответ: б)

5. Какой порядок астатизма по отношению к входному воздействию имеет следящая система с фильтром, имеющим операторный коэффициент передачи:

$$K(p) = \frac{k_{\varphi 2} (1 + pT_{\varphi})}{p^2} = \frac{k_{\varphi}}{p} \left( \frac{1}{p} + T_{\varphi} \right).$$

Ответы:

- а) 1
- б) 2
- в) 3
- г) 0

Верный ответ: б)

6. Какую дискриминирующую функцию имеет оптимальный фазовый дискриминатор при произвольном отношении сигнал/шум?

Ответы:

а)

$$-th(I_p)Q_p$$

б)

$$-sign(I_p)Q_p$$

в)

$$-I_p Q_p$$

г)

$$-Q_p / I_p$$

д)

$$-Arctg(Q_p / I_p)$$

Верный ответ: а)

7.Каким образом Вы выбирали технические средства для проведения конкретного эксперимента в условиях лаборатории?

8.Какие методы обработки результатов эксперимента Вы использовали при выполнении лабораторного практикума?

**4. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ОПК-4</sub> Обработывает и представляет полученные экспериментальные данные для получения обоснованных выводов

#### Вопросы, задания

1.Анализ процессов в линейной непрерывной системе радиоавтоматики при детерминированных воздействиях. Понятие астатизма линейной следящей системы

2. Анализ процессов в линейной непрерывной системе радиоавтоматики при случайных воздействиях. Понятие эквивалентной шумовой полосы пропускания
3. Анализ процессов в линейной дискретной системе радиоавтоматики при случайных воздействиях
4. Анализ процессов в линейной дискретной системе радиоавтоматики при детерминированных воздействиях

### Материалы для проверки остаточных знаний

#### 1. Системы радиоавтоматики

Какие различают следующие системы радиоавтоматики (СРА) по типу величины/процесса?

Ответы:

- а) системы фазовой автоподстройки (ФАП)
- б) частотной автоподстройки (ЧАП)
- в) слежения за задержкой (ССЗ) распространения сигнала
- г) автоматической регулировки усиления (АРУ)
- д) слежения за направлением прихода радиосигнала

Верный ответ: все ответы правильные

2. Какие математические операции включает в себя обобщённая структурная схема линейной системы радиоавтоматики?

Ответы:

- а) вычитатель
- б) перемножение на крутизну дискриминационной характеристики
- в) операторный коэффициент передачи системы радиоавтоматики
- г) сумматор
- д) умножитель
- е) усилитель

Верный ответ: а), б), в), г), д)

#### 3. Система радиоавтоматики углового слежения

Что в системе углового слежения выступает в качестве объекта управления?

Ответы:

- а) Угловое направление главного луча ДН
- б) Направление прихода входного сигнала
- в) Угловой дискриминатор
- г) Устройство отклонения диаграммы направленности (ДН) антенны

Верный ответ: г)

4. Автоматическое управление (регулирование) по какому признаку подразделяют системы радиоавтоматики?

1.

Ответы:

- а) управление по воздействию (разомкнутые системы автоматического управления)
- б) управление по рассогласованию (замкнутые системы автоматического управления)
- в) управление по оценке воздействия (разомкнутые системы автоматического управления)

Верный ответ: а) и б)

5. Как называются системы, процессы в которых представляют собой последовательность отсчётов, причём значения, которые может принимать отдельный отсчёт, континуальны (непрерывны, не квантованы), а процессы в таких системах влияют друг на друга только в тактовые моменты времени?

Ответы:

- а) непрерывные
- б) линейные

в) нелинейные

г) дискретные

Верный ответ: г)

6. В системе слежения за задержкой сигнала входное воздействие описывается полиномом 1 порядка, а фильтр включает в себя 2 интегратора. Как будет вести себя ошибка слежения в установившемся режиме?

Ответы:

а) бесконечно убывать

б) бесконечно возрастать

в) стремиться к нулю

г) не изменяться

Верный ответ: в)

7. В какой задаче в условиях лаборатории Вы проводили физическое моделирование?

8. Каким образом можно оценить погрешности экспериментальных данных, полученных в результате статистического эксперимента на имитационной модели?

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой составляющей и составляющей промежуточной аттестации