



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭиАС
В.Р. Храмшин

03.03.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

СЕНСОРНЫЕ ДАТЧИКИ

Направление подготовки (специальность)
11.04.04 Электроника и микроэлектроника

Направленность (профиль/специализация) программы
Промышленная электроника и автоматика электротехнических комплексов

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Электроники и микроэлектроники
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск
2021 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и микроэлектроника (приказ Минобрнауки России от 22.09.2017 г. № 959)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники


10.02.2021 г. протокол № 6

Зав. кафедрой _____  С.И. Лукьянов

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
03.03.2021 г. протокол № 5

Председатель _____  В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры ЭиМЭ, канд. техн. наук _____  Н.В. Швидченко

Рецензент:

директор СЦ ООО "ТЕХНОАП Инжиниринг", канд. техн. наук _____ 

Е.С. Суспицын

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.И. Лукьянов

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ С.И. Лукьянов

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Сенсорные датчики» являются изучение основных принципов проведения измерений и получение навыков в разработке и выборе измерительных систем под конкретные задачи измерения.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Сенсорные датчики входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Технологические датчики

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Выполнение и защита выпускной квалификационной работы

Производственная-преддипломная практика

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Сенсорные датчики» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-6	Способен проводить аппаратное макетирования и экспериментальные работы по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании электронной аппаратуры
ПК-6.1	Проводит экспериментальные исследования электронных устройств и систем по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании электронной аппаратуры
ПК-6.2	Осуществляет контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетных единиц 36 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 19 акад. часов;
- аудиторная – 18 акад. часов;
- внеаудиторная – 1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 17 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Основные принципы построения измерительных систем								
1.1 Обобщённая структура измерительной системы. Статические характеристики элементов измерительной системы: систематические и статистические. Ошибка измерения в установившемся режиме. Способы уменьшения статической ошибки измерения.	3	2			1	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
1.2 Динамические характеристики элементов измерительной системы. Динамическая ошибка при измерении. Способы уменьшения динамической ошибки измерения.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
1.3 Применение теории четырёхполосников для расчёта измерительных систем		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	

1.4 Сигналы и шум в измерительных системах. Влияние шума и помех на измерительные цепи. Источники шума. Методы снижения влияния шума и помех на процесс измерения.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
1.5 Надёжность измерительной системы. Способы повышения надёжности измерительной системы.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе	контрольная работа	
Итого по разделу		10			9			
2. Основные элементы измерительных систем								
2.1 Основные типы сенсоров (чувствительных элементов). Классификация сенсоров: по физическому принципу измерения, по типу выходного сигнала, активные и пассивные.	3	2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
2.2 Основные схемы формирования сигнала: измерительные мосты, усилители, схемы модуляции, демодуляции, осцилляторы и резонаторы.		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
2.3 Элементы обработки сигналов: АЦП, ЦАП, микроконтроллеры, компьютеры, ЦОС		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
2.4 Элементы отображения информации. Обзор и выбор		2			2	самостоятельное изучение учебной литературы. Подготовка к практическим занятиям.		
Итого по разделу		8			8			
Итого за семестр		18			17		зачёт	
Итого по дисциплине		18			17		зачет	

5 Образовательные технологии

Практические занятия проходят как в традиционной форме, так и в интерактивной форме, где студентам заранее предлагается ознакомиться с информацией по теме занятия для подготовки вопросов преподавателю, таким образом, практическое занятие проходит по типу «вопросы–ответы–дискуссия». На всех практических занятиях также применяются элементы занятия-визуализации, за счет представления части материала с помощью заранее подготовленных презентаций, слайдов с помощью мультимедийного оборудования.

Теоретический материал, освоенный студентами самостоятельно, закрепляется на практических занятиях, на которых выполняются индивидуальные и групповые задания по пройденной теме. Часть практических занятий проводится в виде традиционных семинаров с целью более глубокого и полного усвоения теоретического материала по данной теме. Для этого студентам предлагается готовить доклады по рассматриваемой теме с дальнейшим обсуждением в ходе практического занятия (учебных дискуссий). На практических занятиях также применяются метод контекстного обучения, работы в команде и метод case-study, позволяющие усвоить учебный материал путём выявления связей между конкретным знанием и его применением, а также анализа конкретных ситуаций и поиска решений в группе студентов. Защита результатов практических заданий проходит в виде диалога преподавателя и студента, преподавателем задаются контрольные вопросы с целью выяснения глубины знаний студента по данному разделу, при этом пробелы в знаниях студента восполняются дополнительными пояснениями, комментариями преподавателя.

В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются контрольные работы. Самостоятельная работа студентов заключается в проработке материала при подготовке к практическим занятиям.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Датчики: справочное пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полишук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин. — Москва: Техносфера, 2012. — 624 с. — ISBN 978-5-94836-316-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/73560> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Немченко, В. И. Проектирование установки датчиков и средств автоматизации на технологическом оборудовании : учебное пособие / В. И. Немченко, Г. Н. Епифанова, А. Г. Панкратова. — 2-е изд. — Самара : АСИ СамГТУ, 2017. — 58 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/127541> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Войтович, И. Д. Интеллектуальные сенсоры : учебное пособие / И. Д. Войтович, В. М. Корсунский. — 2-е изд. — Москва : ИНТУИТ, 2016. — 1164 с. — ISBN 978-5-9963-0124-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/100608> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Попов, Г. В. Микромеханические инерциальные датчики : учебное пособие / Г. В. Попов. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 269 с. — ISBN 978-5-7038-4336-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/103444> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Рыжова, А. А. Устройство, работа и метрологическое обслуживание датчиков систем автоматизации : учебно-методическое пособие / А. А. Рыжова. — Казань : КНИТУ, 2018. — 220 с. — ISBN 978-5-7882-2428-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/138496> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) Методические указания:

1. Лабораторный практикум по курсу "Датчики на основе микро- и нанотехнологий : учебное пособие / Б. И. Подлепецкий, С. В. Гуменюк, М. Ю. Никифорова, Н. Н. Самотаев. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. — 56 с. — ISBN 978-5-7262-1356-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75741> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Систематические характеристики элементов измерительных систем – методические указания. URL: https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452667/mod_resource/content/1/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Статические характеристики элементов измерительных систем – методические указания. URL: https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452671/mod_resource/content/1/%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Статическая ошибка. Способы снижения статической ошибки – методические указания. URL: https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452674/mod_resource/content/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BE%D1%88%D0%B8%D0%B1%D0%BA%D0%B0.pdf — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5. Динамические характеристики элементов измерительных систем – методические указания. URL: https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1452676/mod_resource/content/1/%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%85%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8.pdf

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021

MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
NI MultiSim Education	К-68-08 от 29.05.2008	бессрочно
MathWorks MathLab v.2014 Classroom License	К-89-14 от 08.12.2014	бессрочно
NI Developer Suite	К-118-08 от 20.10.2008	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Университетская информационная система РОССИЯ	https://uisrussia.msu.ru
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp
Российская Государственная библиотека. Каталоги	https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Компьютерный класс : Персональные компьютеры с установленным ПО для проектирования и моделирования измерительных систем (MathLab и NI Multisim).

Аудитория для самостоятельной работы: компьютерный класс. Персональные компьютеры с установленным ПО для проектирования и моделирования измерительных систем (MathLab и NI Multisim).

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

По дисциплине «Сенсорные датчики» предусмотрена внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов предполагает изучения литературы по соответствующему разделу с проработкой материала и решение контрольных задач.

Примерные внеаудиторные контрольные работы (КР):

КР №1 «Обобщённая структура измерительной системы. Статические характеристики элементов измерительной системы: систематические и статистические. Ошибка измерения в установленном режиме. Способы уменьшения статической ошибки измерения.»:

1. Датчик усилия имеет выходной диапазон от 1 до 5 В, соответствующий входному диапазону от 0 до 2×10^5 Н. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой.

2. Датчик перепада давления имеет входной диапазон от 0 до 2×10^4 Па и выходной диапазон от 4 до 20 мА. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой.

3. Нелинейный датчик давления имеет входной диапазон от 0 до 10 бар и выходной диапазон от 0 до 5 В. При давлении в 4 бара выходное напряжение составляет 2,2 В. Рассчитайте нелинейность в вольтах и в процентах относительно выходного диапазона.

4. Нелинейный датчик температуры имеет входной диапазон от 0 до 400 °С и выходной диапазон от 0 до 20 мВ. При температуре в 100 °С выходной сигнал равен 4,5 мВ. Определите нелинейность при 100°С в милливольтках и в процентах от выходного диапазона.

5. Термопара используется для измерения температуры в диапазоне от 0 до 500 °С.

При калибровке были получены следующие значения:

T,оС	0	100	200	300	500
E, мкВ	0	5286	10 777	16 325	27 388

6. Датчик давления имеет выходной диапазон от 1,0 до 5,0В при стандартной температуре окружающей среды в 20°С, и выходной диапазон от 1,2 до 5,2В при температуре 30°С. Оцените количественно влияние данной внешней помехи на передаточную характеристику.

7. Датчик давления имеет входной диапазон от 0 до 10^4 Па и выходной диапазон от 4 до 20мА при стандартной температуре окружающей среды 20°С. Если температура окружающей среды вырастает до 30°С, то выходной диапазон становится равным от 4,2 до 20,8мА. Найдите значения параметров K_I и K_M влияния данной внешней помехи.

8. Аналогово-цифровой преобразователь имеет входной диапазон от 0 до 5В. Рассчитайте разрешающую способность (ошибку) в вольтах и в процентах относительно входного диапазона:

- для 8-разрядного АЦП;
- для 16-разрядного АЦП.

9. Датчик уровня имеет выходной диапазон от 0 до 10В. Для уровня 3 метра, выходной сигнал имеет значения 3,05В и 2,95В для случаев падения и возрастания уровня соответственно. Найдите значение гистерезиса в процентах относительно выходного диапазона.

10. ЭДС спая термопары принимает значение 645мкВ для точки пара, 3375мкВ для точки цинка и 9149мкВ для точки серебра. Принимая, что зависимость ЭДС от температуры имеет вид $E(t)=a_1T+a_2T^2+a_3T^3$ (T в °С), найдите a_1 , a_2 и a_3 .

11. Зависимость сопротивления термистора от температуры имеет вид $R(\theta)=\alpha \cdot \exp(\beta/\theta)$ (θ в К). Сопротивление термистора для точки льда (273,15К) составляет 9,00кОм, а сопротивление в точке пара 0,50кОм. Определите сопротивление термистора при 25°С.

12. Датчик смещения имеет входной диапазон от 0,0 до 3,0см и стандартное напряжение питания V_S 0,5В. Используя результаты калибровки, приведённые в таблице, определите:

- максимальную нелинейность в процентах относительно выходного диапазона;
- коэффициенты K_I , K_M , характеризующие влияние изменения напряжения питания;
- коэффициент наклона аппроксимирующей прямой.

Смещение x , см	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Выходное напряжение, мВ ($V_S=0,5$)	0,0	16,5	32,0	44,0	51,5	55,5	58,0
Выходное напряжение, мВ ($V_S=0,6$)	0,0	21,0	41,5	56,0	65,0	70,5	74,0

13. Измерительная система состоит из термопары типа хромель-алюмель (с компенсацией холодного спая), преобразователя в токовый сигнал (А/мВ) и самописца. В таблице приведены уравнения и параметры данных элементов. Предполагая, что все распределения вероятностей являются нормальными, рассчитайте среднее и стандартное отклонение распределения вероятности ошибки измерения, при входной температуре 117°С.

	Chromel–alumel thermocouple	e.m.f-to-current converter	Recorder
Model equation	$E = C_0 + C_1T + C_2T^2$	$i = K_I E + K_M E \Delta T_a + K_I \Delta T_a + a_1$	$T_M = K_2 i + a_2$
Mean values	$\bar{C}_0 = 0.00$ $\bar{C}_1 = 4.017 \times 10^{-2}$ $\bar{C}_2 = 4.66 \times 10^{-6}$	$\bar{K}_1 = 3.893$ $\Delta T_a = -10$ $\bar{a}_1 = -3.864$ $\bar{K}_M = 1.95 \times 10^{-4}$ $\bar{K}_I = 2.00 \times 10^{-3}$	$\bar{K}_2 = 6.25$ $\bar{a}_2 = 25.0$
Standard deviations	$\sigma_{C_0} = 6.93 \times 10^{-2}$ $\sigma_{C_1} = \sigma_{C_2} = 0$	$\sigma_{a_1} = 0.14, \sigma_{\Delta T_a} = 10$ $\sigma_{K_1} = \sigma_{K_M} = \sigma_{K_I} = 0$	$\sigma_{a_2} = 0.30$ $\sigma_{K_2} = 0.0$

14. Схема измерения давления состоит из датчика давления, измерительного моста, усилителя и самописца. В таблице приведены коэффициенты K передаточных линейных характеристик всех элементов системы и соответствующие диапазоны ошибок h .

- Рассчитайте стандартное отклонение σ_E функции распределения ошибки измерения.

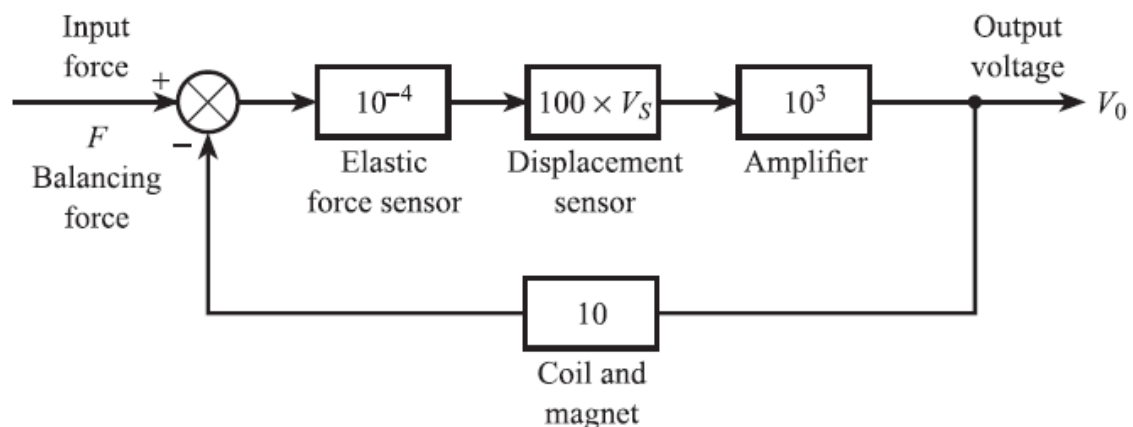
- Учитывая, что самописец настроен неправильно, так что его чувствительность составляет 225Па/мВ, рассчитайте среднее значение ошибки измерения \bar{E} при входном давлении $5 \cdot 10^3$ Па.

Element	Linear sensitivity K	Error bandwidth $\pm h$
Pressure sensor	$10^{-4} \Omega \text{ Pa}^{-1}$	$\pm 0.005 \Omega$
Deflection bridge	$4 \times 10^{-2} \text{ mV } \Omega^{-1}$	$\pm 5 \times 10^{-4} \text{ mV}$
Amplifier	10^3 mV mV^{-1}	$\pm 0.5 \text{ mV}$
Recorder	250 Pa mV^{-1}	$\pm 100 \text{ Pa}$

15. На рисунке приведена структурная схема датчика усилия, охваченного отрицательной обратной связью. Сенсор (пружина) преобразует усилие в перемещение; датчик перемещения преобразует полученное перемещение в сигнал напряжения. V_S –напряжение источника питания датчика перемещения. Источник питания нестабилен.

Рассчитайте выходное напряжение V_0 при:

- $V_S = 1\text{В}; F = 50\text{Н};$
- $V_S = 1,5\text{В}; F=50\text{Н}.$

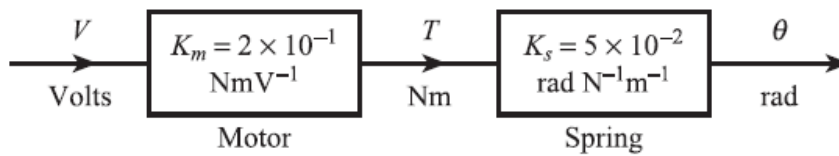


16. На рисунке приведена структурная схема вольтметра. Мотор создаёт момент T пропорциональный входному напряжению V , а угловое смещение пружины θ пропорционально моменту T . Жёсткость пружины K_S может варьироваться в диапазоне $\pm 10\%$ относительно номинального значения $5 \cdot 10^{-2}$ рад/Нм. Дополнительно доступны следующие элементы:

- усилитель постоянного тока с коэффициентом усиления $K=1000$;
- вычитатель напряжения;
- стабильный датчик угловых перемещений с передаточным коэффициентом 100В/рад.

– Используя дополнительные элементы, нарисуйте модифицированную схему, в которой уменьшено влияние изменения жёсткости пружины.

– Рассчитайте влияние увеличения жёсткости пружины K_S на 10% на чувствительность модифицированной системы.



КР №2 «Динамические характеристики элементов измерительной системы. Динамическая ошибка при измерении. Способы уменьшения динамической ошибки измерения».

1. Система измерения температуры состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью K , равной единице. Динамика системы определяется передаточной функцией первого порядка чувствительного элемента. В момент времени $t = 0$ чувствительный элемент внезапно переносится из воздуха при 20°C в кипящую воду. Через минуту элемент возвращается в воздушную среду. Используя данные, приведенные ниже, рассчитайте динамическую ошибку системы в следующие моменты времени: $t = 10, 20, 50, 120$ и 300c .

Параметры сенсора:

- масса = 5×10^{-2} кг;
- площадь поверхности = 10^{-3} м²;
- удельная теплоемкость = $0,2$ Дж/(кг[∘]С);
- коэффициент теплопередачи для воздуха = $0,2$ Вт/(м²∘С);
- коэффициент теплопередачи для воды = $1,0$ Вт/(м²∘С).

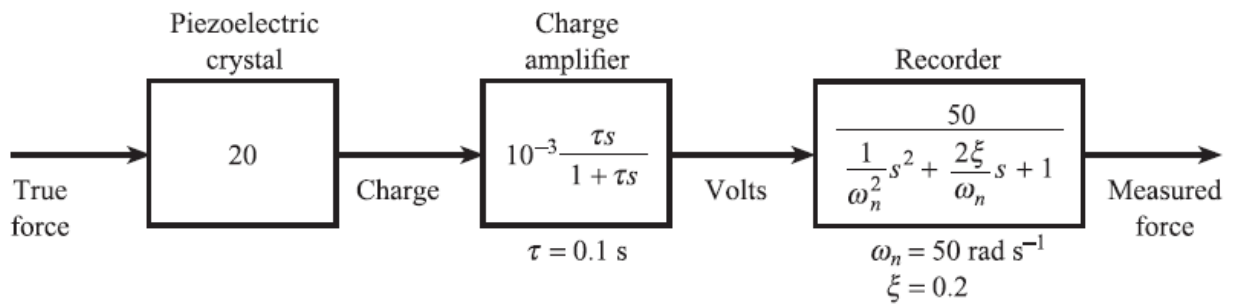
2. Система измерения усилия состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью K , равной единице. Динамика системы определяется передаточной функцией второго порядка чувствительного элемента, которая имеет собственную частоту $\omega_n = 40$ рад/с и коэффициент демпфирования $\xi = 0,1$. Вычислите динамическую ошибку системы при измерении усилия, изменяющегося по следующему закону:

$$F(t) = 50(\sin 10t + \frac{1}{3} \sin 30t + \frac{1}{5} \sin 50t)$$

3. Термопара, измеряющая температуру в быстро движущейся жидкости имеет постоянную времени 10c .

- Рассчитайте ширину полосы частотной характеристики термопары.
- Найдите диапазон частот, для которых отношение амплитуд находится в пределах $\pm 5\%$.
- Для компенсации инерционности термопары используется схема с передаточной функцией $G(s) = (1 + 10s)/(1 + s)$. Рассчитайте диапазон частот, для которых отношение амплитуд компенсированной системы находится в пределах $\pm 5\%$.
- Скорость жидкости уменьшается, в результате чего постоянная времени термопары увеличивается до 20c . Зарисуйте АЧХ $|G(j\omega)|$ и объясните, почему эффективность вышеуказанной компенсации снижается.

4. Система измерения усилия, состоящая из пьезоэлектрического кристалла, усилителя заряда (интегратора) и регистратора, показана на рисунке:



- Рассчитайте динамическую ошибку системы при изменении усилия по следующему закону:

$$F(t) = 50(\sin 10t + \frac{1}{3} \sin 30t + \frac{1}{5} \sin 50t)$$

- Объясните какие параметры нужно изменить в системе для уменьшения динамической ошибки, полученной в предыдущем задании.

5. Система измерения температуры для газового реактора состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью K , равной единице. Датчик температуры имеет постоянную времени $5,0\text{с}$; также используется идеальный фильтр нижних частот с частотой среза $0,05\text{Гц}$. Входной температурный сигнал является периодическим с периодом 63с и может быть аппроксимирован рядом Фурье:

$$T(t) = 10(\sin \omega_0 t + \frac{1}{2} \sin 2\omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{4} \sin 4\omega_0 t)$$

где ω_0 – угловая частота основной гармоники.

- Рассчитайте изменение выходного сигнала;
- Рассчитайте изменение динамической ошибки;
- Объясните какие параметры нужно изменить в системе для уменьшения полученной динамической ошибки.

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-6	Способен проводить аппаратное макетирования и экспериментальные работы по проверке достижимости технических характеристик, планируемых при проектировании электронной аппаратуры	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные принципы построения измерительных систем; – статические и динамические характеристики измерительных систем; – программные и аппаратные способы уменьшения статических и динамических ошибок в измерениях; – методы снижения влияния шума и помех на процесс измерения; – способы повышения надёжности измерительных систем; – основные типы сенсоров (чувствительных элементов), их классификацию; – основные схемы формирования сигнала в измерительных системах; – основные элементы обработки сигналов в измерительных системах; – основные элементы отображения информации в измерительных системах. 	<ul style="list-style-type: none"> – какова структура обобщённой измерительной системы? – что такое «ошибка измерительной системы»? – каково назначение сенсора (чувствительного элемента) в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры сенсоров. – каково назначение формирователя сигнала в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры формирователей сигналов. – каково назначение обработчика сигнала в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры обработчиков сигналов. – каково назначение элемента отображения в обобщенной измерительной системе? Приведите примеры элементов отображения. – что такое «статическая характеристика элемента измерительной системы»? – что такое систематические характеристики элементов измерительной системы? Приведите примеры систематических характеристик. – что такое нелинейность элемента измерительной системы? Как рассчитывается? – что такое чувствительность элемента измерительной системы? Как рассчитывается? – каков эффект влияния внешних помех на измерения: что такое эффект приращения и изменение чувствительности относительно характеристики элемента измерительной системы? – в чём заключается эффект гистерезиса? Приведите примеры. – что такое разрешающая способность? – каким образом изменяются характеристики элементов при старении и износе? – что такое «диапазон ошибки»? – что такое статистические характеристики элементов измерительной системы? Приведите примеры статистических характеристик. – что такое повторяемость? – что такое «комбинирование погрешностей»? – что такое «допуск»?

		<ul style="list-style-type: none"> – как рассчитывается среднее значение и стандартное отклонение выхода элемента при условии нормального распределения отклонений в измерениях? – что такое калибровка? – чем отличается точность от погрешности? – назовите способы уменьшения статической ошибки. – объясните способ компенсации нелинейности. – перечислите способы компенсации внешнего возмущения. – в чём заключается метод противодействия внешнему возмущению? – каким образом ООС компенсирует внешнее возмущение? – каким образом использование дифференциальных схем компенсирует внешнее возмущение? – что такое «динамическая характеристика элемента измерительной системы»? – что такое «звено первого порядка»? Какова передаточная функция? – для чего применяется преобразование Лапласа? – что такое «звено второго порядка»? Какова передаточная функция? – в чём заключается принцип аналогии при описании различных физических процессов звеньями первого и второго порядка? – каким образом выполняется идентификация передаточной функции элемента, по реакции на единичный сигнал? – каким образом выполняется идентификация передаточной функции элемента, по реакции на гармонический сигнал? – что такое «динамическая ошибка»? – перечислите способы уменьшения динамической ошибки. – в чём заключаются конструктивные способы снижения динамической ошибки? – в чём заключается способ динамической компенсации. – каким образом ООС уменьшает динамическую ошибку? Что такое глубина ООС? – что такое четырёхполосник? – в чём заключается теорема об эквивалентном источнике напряжения (теорема Тевенина)? – в чём заключается теорема об эквивалентном источнике тока (теорема Норттона)? – перечислите методы снижения влияния шума и помех на измерение. – перечислите способы повышения надёжности измерительной системы.
--	--	--

<p>Уметь:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – рассчитывать статические и динамические характеристики измерительных систем; – применять программные и аппаратные способы уменьшения статических и динамических ошибок в измерениях; – использовать методы снижения влияния шума и помех на процесс измерения; – применять способы повышения надёжности измерительных систем; – выбирать сенсоры (чувствительные элементы) для построения конкретной измерительной системы; – использовать различные схемы формирования сигнала в измерительных системах; – использовать различные схемы и методы обработки сигналов в измерительных системах; – использовать различные элементы отображения информации в измерительных системах 	<ul style="list-style-type: none"> – Датчик усилия имеет выходной диапазон от 1 до 5 В, соответствующий входному диапазону от 0 до 2×10^5 Н. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой. – Датчик перепада давления имеет входной диапазон от 0 до 2×10^4 Па и выходной диапазон от 4 до 20 мА. Найдите уравнение аппроксимирующей прямой. – Нелинейный датчик давления имеет входной диапазон от 0 до 10 бар и выходной диапазон от 0 до 5 В. При давлении в 4 бара выходное напряжение составляет 2,2 В. Рассчитайте нелинейность в вольтах и в процентах относительно выходного диапазона. – Нелинейный датчик температуры имеет входной диапазон от 0 до 400 °С и выходной диапазон от 0 до 20 мВ. При температуре в 100 °С выходной сигнал равен 4,5 мВ. Определите нелинейность при 100°С в милливольтмах и в процентах от выходного диапазона. – Датчик давления имеет выходной диапазон от 1,0 до 5,0В при стандартной температуре окружающей среды в 20°С, и выходной диапазон от 1,2 до 5,2В при температуре 30°С. Оцените количественно влияние данной внешней помехи на передаточную характеристику. – Датчик давления имеет входной диапазон от 0 до 10^4 Па и выходной диапазон от 4 до 20мА при стандартной температуре окружающей среды 20°С. Если температура окружающей среды вырастает до 30°С, то выходной диапазон становится равным от 4,2 до 20,8мА. Найдите значения параметров КI и КМ влияния данной внешней помехи. – Аналогово-цифровой преобразователь имеет входной диапазон от 0 до 5В. Рассчитайте разрешающую способность (ошибку) в вольтах и в процентах относительно входного диапазона: <ul style="list-style-type: none"> – для 8-разрядного АЦП; – для 16-разрядного АЦП. – Датчик уровня имеет выходной диапазон от 0 до 10В. Для уровня 3 метра, выходной сигнал имеет значения 3,05В и 2,95В для случаев падения и возрастания уровня соответственно. Найдите значение гистерезиса в процентах относительно выходного диапазона. – ЭДС спая термопары принимает значение 645мкВ для точки пара, 3375мкВ для точки цинка и 9149мкВ для точки серебра. Принимая, что зависимость ЭДС от температуры имеет вид $E(t)=a_1T+a_2T^2+a_3T^3$ (Т в оС), найдите a_1, a_2 и a_3. – Зависимость сопротивления термистора от температуры имеет вид $R(\theta)=\alpha \cdot \exp(\beta/\theta)$ (θ в К). Сопротивление
---------------	---	--

		<p>термистора для точки льда (273,15K) составляет 9,00кОм, а сопротивление в точке пара 0,50кОм. Определите сопротивление термистора при 25°С.</p>
<p>Владеть:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – основными навыками построения измерительных систем; – методами расчёта статических и динамических характеристик измерительных систем; – способами уменьшения статических и динамических ошибок в измерениях; – методами снижения влияния шума и помех на процесс измерения; – способами повышения надёжности измерительных систем; – справочными данными по основным типам сенсоров (чувствительных элементов); – навыками расчёта и использования основных схем формирования сигнала в измерительных системах; – навыками расчёта и использования основных схем и методов обработки сигналов в измерительных системах; – навыками расчёта и использования элементов отображения информации в измерительных системах. 	<ul style="list-style-type: none"> – Система измерения температуры состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью K, равной единице. Динамика системы определяется передаточной функцией первого порядка чувствительного элемента. В момент времени $t = 0$ чувствительный элемент внезапно переносится из воздуха при 20°С в кипящую воду. Через минуту элемент возвращается в воздушную среду. Используя данные, приведенные ниже, рассчитайте динамическую ошибку системы в следующие моменты времени: $t = 10, 20, 50, 120$ и 300с. – Параметры сенсора: <ul style="list-style-type: none"> – масса = 5×10^{-2} кг; – площадь поверхности = 10^{-3} м²; – удельная теплоемкость = 0,2 Дж/(кг°С); – коэффициент теплопередачи для воздуха = 0,2 Вт/(м²°С); – коэффициент теплопередачи для воды = 1,0 Вт/(м²°С). – Система измерения усилия состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью K, равной единице. Динамика системы определяется передаточной функцией второго порядка чувствительного элемента, которая имеет собственную частоту $\omega_n = 40$ рад/с и коэффициент демпфирования $\zeta = 0,1$. Вычислите динамическую ошибку системы при измерении усилия, изменяющегося по следующему закону: <ul style="list-style-type: none"> – $F(t) = 50(\sin 10t + \frac{1}{3} \sin 30t + 15 \sin 50t)$ – Термопара, измеряющая температуру в быстро движущейся жидкости имеет постоянную времени 10с. – Рассчитайте ширину полосы частотной характеристики термопары. – Найдите диапазон частот, для которых отношение амплитуд находится в пределах $\pm 5\%$. – Для компенсации инерционности термопары используется схема с передаточной функцией $G(s) = (1 + 10s)/(1 + s)$. Рассчитайте диапазон частот, для которых отношение амплитуд компенсированной системы находится в пределах $\pm 5\%$. – Скорость жидкости уменьшается, в результате чего постоянная времени термопары увеличивается до 20с. Зарисуйте АЧХ $G(j\omega)$ и объясните, почему

		<p><i>эффективность вышеуказанной компенсации снижается.</i></p> <p><i>– Система измерения температуры для газового реактора состоит из линейных элементов и обладает общей чувствительностью K, равной единице. Датчик температуры имеет постоянную времени $5,0$с; также используется идеальный фильтр нижних частот с частотой среза $0,05$Гц. Входной температурный сигнал является периодическим с периодом 63с и может быть аппроксимирован рядом Фурье:</i></p> <p><i>– $T(t) = 10(\sin \omega_0 t + \frac{1}{2} \sin 2\omega_0 t + 13 \sin 3\omega_0 t + 14 \sin 4\omega_0 t)$</i></p> <p><i>где ω_0 – угловая частота основной гармоники.</i></p> <p><i>– Рассчитайте изменение выходного сигнала;</i></p> <p><i>– Рассчитайте изменение динамической ошибки;</i></p> <p><i>– Объясните какие параметры нужно изменить в системе для уменьшения полученной динамической ошибки.</i></p>
--	--	---

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Сенсорные датчики» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачёта.

Показатели и критерии оценивания зачёта:

- на оценку «**зачтено**» – обучающийся демонстрирует высокий или средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
- на оценку «**не зачтено**» – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.