

Программа учебной дисциплины «Датчики и сенсорные системы»

Утверждена
Академическим советом ОП
Протокол № 4 от 29_08_2019

Разработчик	Каперко Алексей Федорович, профессор, департамент электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ
Число кредитов	5
Контактная работа (час.)	60
Самостоятельная работа (час.)	130
Курс, Образовательная программа	1 курс, Интернет вещей и киберфизические системы
Формат изучения дисциплины	Без использования онлайн курса

1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

Целью освоения дисциплины «Датчики и сенсорные системы» является овладение теоретическими и практическими знаниями по датчикам и сенсорным системам с использованием технологии Интернет вещей.

В результате освоения дисциплины «Датчики и сенсорные системы» студент приобретает следующие компетенции:

- способен применять и разрабатывать методы формирования и обработки сигналов, систем коммутации синхронизации и определять области эффективного их использования в инфокоммуникационных сетях, системах и устройствах (ПК-4);
- способен использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии, выбирать методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области ИКТиСС (ПК-7);
- владеть методами использования поисковых систем для поиска информации в сети Интернет.

Место дисциплины в учебном плане

Дисциплины «Датчики и сенсорные системы» относится к базовой части блока дисциплин направления, обеспечивающих подготовку магистра по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Основные положения дисциплины «Датчики и сенсорные системы» используются в дальнейшем в проектных работах, междисциплинарной курсовой работе, при подготовке выпускной квалификационной работы.

2. Содержание учебной дисциплины

Раздел дисциплины	Объем в часах	Планируемые результаты обучения (ПРО), подлежащие контролю	Формы контроля
	лк		
	см		
	ср		
Раздел 1. Физические принципы построения микросистемных датчиков для инфокоммуникационных устройств.	6	<p>Знать: основные характеристики и особенности работы датчиков и сенсорных систем.</p> <p>Уметь: применять микросистемные датчики для основных типовых технических средств инфокоммуникационной техники и для систем связи.</p> <p>Владеть: опытом разработки, моделирования и тестирования датчиков и сенсорных систем для устройств инфокоммуникационной техники, применяемых в различных системах связи.</p>	Практические занятия. Устный экзамен.
	20		
	34		
Раздел 2. Интерфейсы микросистемных датчиков и сенсорных систем.	6	<p>Знать: основные интерфейсы микросистемных датчиков и сенсорных систем.</p> <p>Уметь: применять интерфейсы микросистемных датчиков для основных типовых технических средств инфокоммуникационной техники и для систем связи.</p> <p>Владеть: опытом разработки, моделирования и тестирования датчиков и сенсорных систем для устройств инфокоммуникационной техники, применяемых в различных системах связи.</p>	Практические занятия. Устный экзамен
	16		
	28		
Раздел 3. Оптимизация характеристик интегральных датчиков и сенсорных систем.	4	<p>Знать: основные характеристики и особенности работы интегральных датчиков инфокоммуникационной техники.</p> <p>Уметь: применять методы оптимизации для интегральных датчиков и сенсорных систем.</p> <p>Владеть: опытом разработки, моделирования и тестирования интегральных датчиков инфокоммуникационной техники, применяемых с использованием технологии Интернет вещей.</p>	Практические занятия. Устный экзамен
	4		
	52		
Раздел 4. Надежность элементов и компонентов сенсорных систем.	4	<p>Знать: основные принципы развития компонентов сенсорных систем для киберфизических</p>	Практические занятия. Устный экзамен.
	16		

		систем. Уметь: применять элементы сенсорных систем для типовых технических средств инфокоммуникационной техники и для систем связи. Владеть: опытом правильного выбора элементов и компонентов сенсорных систем на основе анализа их параметров и надежности для применения в различных системах связи.
Часов по видам учебных занятий:	20	
	40	
	130	
Итого часов:	190	

Формы учебных занятий: лк – лекции в аудитории; см - семинары; ср – самостоятельная работа студента.

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Физические принципы построения микросистемных датчиков для инфокоммуникационных устройств.

Тема 1. Основные параметры, характеристики и принципы функционирования микросистемных датчиков. Физические принципы, используемые в микросистемных датчиках. Классификация датчиков. Генераторные и параметрические преобразователи. Структурные схемы датчиков. Чувствительность и погрешность преобразователя. Характеристики электрических сигналов в микросистемных датчиках. Амплитудная, частотная, фазовая, время – импульсная, широтно – импульсная модуляция.

Тема 2. Амплитудные, фазовые, частотные и время импульсные датчики. Измерительные схемы с параметрическими датчиками. Мостовые схемы: Уитстона, Нернста, Саути, Максвелла, Гея. Генераторная схема включения датчиков. Фазовые датчики: емкостные, фотоэлектрические. Структурные схемы, принципы работы. Частотные датчики: позиционные, колебательные, электронные преобразователи свободных колебаний. Структурные схемы, принципы работы. Время - импульсные датчики. Структурные схемы, временные диаграммы работы, параметры и характеристики.

Тема 3. Микросистемные датчики физических величин. Тензорезистивные датчики. Полупроводниковые датчики. Особенности работа и основные характеристики. Емкостные датчики перемещений, давления, уровня. Особенности работа и основные характеристики. Классификация пьезоэлектрических датчиков. Пьезоэлектрические материалы. Особенности построения и основные параметры. Электромагнитные преобразователи: индуктивные, взаимоиндуктивные, индукционные. Датчики Холла. Особенности работа и основные характеристики. Датчики температуры. Терморезистивные и термоэлектрические преобразователи температуры. Особенности построения и основные параметры. Оптические датчики. Фотометрия, оптические

материалы. Волоконные световоды. Приемники оптического излучения. Электрооптические и акустооптические модуляторы. Интерферометрическая оптоволоконная модуляция. Датчики электрохимические, биохимические. Кондуктометрические устройства. рН – преобразователи. Датчики газоанализаторов: оптические, фотокolorиметрические, масс – спектрометрические. Особенности построения и основные параметры.

Раздел 2. Интерфейсы микросистемных датчиков и сенсорных систем.

Тема 1. Интегральные системы сбора данных датчиков (ИССДД). Архитектура систем сбора данных датчиков. Процессы дискретизации функций по времени и по уровню. Статические и динамические параметры системы сбора данных датчиков различной физической природы.

Тема 2. Интегральные схемы аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей (АЦП и ЦАП). Интегральные схемы быстродействующих АЦП; АЦП уравнивания; АЦП двухтактного интегрирования; АЦП с промежуточным преобразованием в частоту; сигма-дельта АЦП; параллельные ЦАП с токовыми ключами; биполярные ЦАП.

Тема 3. Функциональные устройства ЦАП/АЦП сенсорных систем. Интегральные источники опорных напряжений на биполярных и униполярных транзисторах. Аналоговые устройства выборки и хранения на операционных усилителях.

Раздел 3. Оптимизация характеристик интегральных датчиков и сенсорных систем.

Тема 1. Оптимизация конструктивных параметров датчиков и сенсорных систем. Оптимизация по динамическому критерию. Оптимизация по квадратичному критерию качества. Статистический подход к оптимизации передаточных функций датчиков.

Тема 2. Применение фильтра Калмана для снижения случайных погрешностей микродатчиков. Блок-схема передаточной функции микродатчика. Векторно-матричное уравнение пространства переменных состояний для описания функционирования микродатчика. Расчет оптимальных коэффициентов фильтра Калмана.

Раздел 4. Надежность элементов и компонентов сенсорных систем.

Тема 1. Виды и категории испытаний датчиков. Общие сведения о контроле качества и надежности датчиков. Категории контрольных испытаний датчиков. Разновидности испытаний на надежность, безотказность, долговечность и сохраняемость.

Тема 2. Оценка надежности элементов и компонентов сенсорной системы. Оценка базовой интенсивности отказов компонентов сенсорной системы. Средняя наработка между отказами. Вероятность безотказной работы.

Оценивание

Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	1 год, модуль		Параметры
		1	2	
Текущий	Контроль правильности выполнения лабораторных	*	*	Ответы на вопросы, отчет по лабораторным работам

	работ и активности студентов на семинарах			
Итоговый	Экзамен		*	Устный экзамен, 2 вопроса в билете

Текущий контроль предусматривает: учет правильности выполнения лабораторных работ в ходе проведения семинарских занятий, ответы на вопросы преподавателя, защита лабораторных работ.

Блокирующие элементы не предусмотрены.

Промежуточный контроль не предусмотрен.

Итоговый контроль в форме экзамена проводится в устной форме.

Критерии оценки знаний, умений и навыков

Контроль правильности выполнения лабораторной работы оценивается по следующим критериям, соответствующим компетенциям:

- ответы на вопросы, предлагаемые преподавателем;
- активность в проводимых обсуждениях;

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Итоговый экзамен по дисциплине проводится в форме устного экзамена в конце изучения дисциплины после 2 модуля в присутствии преподавателя. На экзамене студент выбирает экзаменационный билет, который составляется с учетом пройденного материала, как на лекционных, так и на семинарах, и содержит два теоретических вопроса. Ответы на предложенные вопросы излагаются в устной форме. После ответа студента преподаватель может ему задать уточняющие вопросы по тематике билета.

Использование каких-либо текстов, калькуляторов, телефонов и др. средств связи запрещается. Время подготовки к ответу на вопросы экзамена – 30 мин, в случае. По желанию студента и согласию преподавателя возможен досрочный ответ.

Оценки по всем формам текущего и итогового контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Порядок формирования оценок по дисциплине

Итоговая оценка формируется как взвешенная сумма оценки, накопленной в течение курса, и оценки за экзамен.

Накопленная оценка ($O_{\text{нак}}$) (максимум 10 баллов) включает оценку за посещение и активность на семинаре ($O_{\text{сем}}$), выполнение лабораторной работы ($O_{\text{лр}}$) и формируется по следующему правилу:

$$O_{\text{нак}} = 0,5O_{\text{сем}} + 0,5O_{\text{лр}}$$

Итоговый экзамен ($O_{\text{экс}}$) (максимум 10 баллов): устный экзамен

Результующая оценка ($O_{рез}$) (максимум 10 баллов) по курсу определяется с учетом накопленной оценки $O_{нак}$ (с весовым коэффициентом 0,5) и оценки за экзамен в конце курса $O_{экз}$ (с весовым коэффициентом 0,5) по следующей формуле:

$$O_{рез} = 0,5O_{нак} + 0,5O_{экз}$$

Пересдача по дисциплине ($O_{п}$) (первая, вторая) представляет собой устный экзамен, за который выставляется оценка (максимум 10 баллов).

Результующая оценка по дисциплине после пересдачи ($O_{рез\ пер}$) (первой, второй) определяется с учетом накопленной оценки $O_{нак}$ (с весом 0,5) и оценки за пересдачу $O_{п}$ (с весом 0,5) по следующей формуле:

$$O_{рез\ пер} = 0,5 \cdot O_{нак} + 0,5 \cdot O_{п}$$

Оценки по всем формам текущего и итогового контроля выставляются по 10-ти балльной шкале и качественной шкале.

Полученные при суммировании значения оценок округляются по арифметическим правилам:

$\geq x,5$ – оценка округляется в большую сторону ($x+1$);

$< x,5$ – оценка округляется в меньшую сторону (x).

Количество набранных баллов	Оценка по десятибалльной шкале	Оценка по качественной шкале
9,5-10	10	отлично
8,5-9,4	9	отлично
7,5-8,4	8	отлично
6,5-7,4	7	хорошо
5,5-6,4	6	хорошо
4,5-5,4	5	удовлетворительно
3,5-4,4	4	удовлетворительно
2,5-3,4	3	неудовлетворительно
1,5-2,4	2	неудовлетворительно
0–1,4	1	не удовлетворительно

Значения накопленной оценки $O_{тк}$ доводится до студентов на сайте дисциплины в LMS и на последнем занятии 2-го модуля.

3. Оценочные средства

Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

1. Особенности построения параметрических и генераторных датчиков.
2. Структурные схемы датчиков прямого преобразования и компенсационные.
3. Дифференциальная, логарифмическая и логометрическая структурные схемы датчиков.

4. Чувствительность датчика и погрешность преобразования для различных структурных схем датчиков.
5. Мостовая схема Уитстона. Условие для обеспечения максимальной чувствительности.
6. Измерение параметров емкостного датчика на примере моста Нернста.
7. Измерение параметров емкостного датчика на примере моста Саути.
8. Измерение параметров индуктивного датчика на примере моста Максвелла.
9. Измерение параметров индуктивного датчика на примере моста Гея.
10. Принципиальные схемы мостов с дифференциальным включением датчиков.
11. Особенности функционирования мостовых схем, работающих на переменном токе.
12. Фазовые датчики параметрического типа. Емкостные фазовые преобразователи.
13. Частотные датчики. Классификация и принцип действия датчиков.
14. Время импульсные преобразователи. Структурная схема, особенности работы и основные параметры.
15. Пьезоэлектрические преобразователи. Область применения.
16. Тензопреобразователи. Основные характеристики и способы применения.
17. Электромагнитные преобразователи. Датчики Холла.
18. Оптические датчики. Волоконные световоды.
19. Оптические датчики ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов.
20. Приемники оптического излучения. Приемники с внешним и внутренним фотоэффектом.
21. Терморезистивные и термоэлектрические преобразователи температуры. Особенности построения и основные параметры.
22. Электрохимические и биохимические датчики. Принцип действия и основные параметры.
23. Датчики газоанализаторов: оптические, фотоколориметрические, масс – спектрометрические. Особенности построения и основные параметры.
24. Основные электрические параметры аналого – цифровых преобразователей (АЦП).
25. Классификация аналого – цифровых преобразователей.
26. Примеры построения и функционирования интегральных параллельных АЦП.
27. Категории контрольных испытаний датчиков. Разновидности испытаний на надежность, безотказность, долговечность и сохраняемость.
28. Блок-схема передаточной функции микродатчика. Векторно-матричное уравнение пространства переменных состояний для описания функционирования микродатчика.
29. Оценка базовой интенсивности отказов компонентов сенсорной системы. Средняя наработка между отказами. Вероятность безотказной работы.
30. Оптимизация по динамическому критерию. Оптимизация по квадратичному критерию качества.
31. Статистический подход к оптимизации передаточных функций датчиков.
32. Интегральные источники опорных напряжений на биполярных и униполярных транзисторах.
33. Основные параметры интегральных цифро – аналоговых преобразователей (ЦАП).
34. Примеры построения аналоговых устройств выборки и хранения.
35. Основные элементы, входящие в быстродействующий интегральный ЦАП.
36. АЦП и ЦАП на основе $\Sigma\Delta$ – модуляции.

4. Ресурсы

4.1. Рекомендуемая основная литература

№п/п	Наименование
1.	Вавилов В.Д. Микросистемные датчики физических величин: монография в двух частях /Вавилов В.Д., Тимошенко С.П., Тимошенко А.С. – М.: Техносфера, 2018. – 550 с.
2.	Топильский В.Б. Схемотехника аналого-цифровых преобразователей. Учебное издание. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2014. – 288 с.

4.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№п/п	Наименование
1.	Интеллектуальные сенсорные системы. Под ред. Дж. К. М. Мейджера. Москва: Техносфера, 2011. - 464 с.

4.3. Программное обеспечение

№п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
1.	Microsoft Windows 10	Из внутренней сети университета (договор)
2.	Microsoft Office Professional Plus 2010	Из внутренней сети университета (договор)

4.4. Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

№п/п	Наименование	Условия доступа/скачивания
	Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы	
1.	Библиотека НИУ ВШЭ	URL: https://library.hse.ru/
	Интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)	
2.	Открытое образование	URL: https://openedu.ru/

4.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для лекционных занятий по дисциплине обеспечивают использование и демонстрацию тематических иллюстраций, соответствующих программе дисциплины в составе:

- ПЭВМ с доступом в Интернет (операционная система, офисные программы, антивирусные программы);
- мультимедийный проектор с дистанционным управлением.

Углубленное изучение разделов данной дисциплины осуществляется с использованием учебных лабораторных стендов National Instruments (13 шт.) для исследования цифровых интегральных микросхем и микропроцессоров, включающие виртуальные осциллографы, генераторы импульсных сигналов, миллиамперметры, вольтметры, источники питания.

5. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

5.1.1. *для лиц с нарушениями зрения:* в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

5.1.2. *для лиц с нарушениями слуха:* в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

5.1.3. *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:* в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.