

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники и электроники
В.А. Небольсин /
И.О. Фамилия
31 августа 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины (модуля)**

«Основы акустоэлектроники»

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки (специальность)
11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

код и наименование направления подготовки/специальности

Профиль (специализация)
МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

название профиля/программы

Квалификация выпускника магистратура

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения Очная

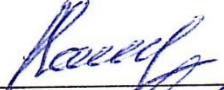
Год начала подготовки 2021

Автор(ы) программы

**Заведующий кафедрой
физики твердого тела**
наименование кафедры, реализующей дисциплину

Руководитель ОПОП


подпись Коротков Л.Н.


подпись Ю.Е. Калинин


подпись А.В. Костюченко

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Изучение студентами физических принципов акустоэлектроники, ее элементной базы, современного состояния и перспективных направлений развития, методов проектирования и расчета основных структур акустоэлектронных приборов.

Подготовка студентов к будущей профессиональной деятельности, связанной с вопросами изучения свойств объектов методами оптической обработки информации. Приобретения студентами навыков самостоятельного решения физических задач в области электроники и наноэлектроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- Дать представление о фундаментальных физических процессах, лежащих в основе акустоэлектроники;
- рассмотреть принцип действия базовых акустоэлектронных приборов, особенности их конструкций, требования к материалам и элементам;
- дать представление о возможностях и технических характеристиках приборов и устройств акустоэлектроники;
- приобретение студентами компетенций, связанных с научно-практической деятельностью в области акустоэлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Основы акустоэлектроники» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы акустоэлектроники» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способность самостоятельно разрабатывать новые материалы, элементы, приборы и устройства функциональной электроники, работающие на новых физических принципах

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	знать физические принципы функционирования акустоэлектронных приборов.
	уметь находить технические решения для получения требуемых характеристик приборов.
	владеть практическими навыками проектирования акустоэлектронных приборов и устройств

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Основы акустоэлектроники» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Электро механические свойства кристаллов и текстур	Введение. Упругие свойства кристаллов. Тензор диэлектрической проницаемости. Пьезоэлектрический эффект и пьезоэлектрические коэффициенты. Электро механическая связь, ее влияние на механические и диэлектрические свойства	6	4	10	20
2	Пьезоэлектрические устройства, использующие прямой пьезоэффект.	Требования, предъявляемые к датчикам. Датчики силы, быстропеременных давлений, деформации, акселерометры. Пьезоэлектрические звуко-сниматели, микрофоны (гидрофоны) и излучатели. Устройство и принцип действия.	6	2	10	18
3	Упругие волны в кристаллах. Пьезоэлектрический резонанс.	Распространение объемных продольных и поперечных акустических волн в кристаллах. Поверхностные волны. Разновидности ПАВ. Стоячие волны и резонанс. Пьезоэлектрический резонанс.	6	2	10	18

		Эквивалентная схема и основные параметры пьезоэлектрического резонатора.				
4	Приборы на объемных акустических волнах	Пьезоэлектрические резонаторы и фильтры. Линии задержки. Пьезоэлектрические сенсоры резонансного типа. Пьезоэлектрические трансформаторы, их разновидности и режимы работы.	6	2	8	16
5	Акустоэлектронные приборы на ПАВ	Способы возбуждения ПАВ. Встречно-штыревые преобразователи (ВШП), эквивалентная схема. Линии задержки, резонаторы, фильтры, акустические трансформаторы, разветвители, сумматоры сигналов, акустические фазовращатели, аттенюаторы.	6	4	8	18
6	Сложные акустоэлектронные приборы и сенсоры на ПАВ	Сенсоры на ПАВ, акустоэлектронные усилители, генераторы на ПАВ, конвольверы. Системы радиочастотной идентификации (РЧИ) на ПАВ-метках. Заключение.	6	4	8	18
Итого			36	18	54	108

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-5	знать физические принципы функционирования акустоэлектронных приборов.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь находить технические решения для получения требуемых характеристик приборов.	Решение стандартных практических задач, написание курсового проекта, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть практическими навыками проектирования акустоэлектронных приборов и устройств	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-5	знать физические принципы функционирования акустоэлектронных приборов.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь находить технические решения для получения требуемых характеристик приборов.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть практическими	Решение прикладных задач	Продемонстрирован верный ход	Задачи не решены

	навыками проектирования акустоэлектронных приборов и устройств	в конкретной предметной области	решения в большинстве задач	
--	--	---------------------------------	-----------------------------	--

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Дайте определение пьезоэлектрического эффекта.

1. Пьезоэлектрическим эффектом называют появление электрического заряда на поверхности образца при его однородной деформации.

2. Пьезоэлектрическим эффектом называют появление электрического заряда на поверхности образца при его неоднородной деформации.

3. Пьезоэлектрическим эффектом называют появление электрической поляризации материала вследствие однородного механического напряжения.

Правильные ответы – 1 и 3.

2. Какие из нижеперечисленных пьезоэлектрических материалов используются в акустоэлектронике.

1. Монокристаллический кремний.
2. Аморфный кремний.
3. Аморфный диоксид кремния.
4. Монокристаллический диоксид кремния.
5. Монокристаллический ниобат лития
6. Монокристаллический хлорид натрия.
7. Поликристаллический оксид титана (рутил)

Правильные ответы – 4 и 5.

3. Какое выражение определяет частоту пьезоэлектрического резонанса?

1. $f = n[2l/(\rho S^E)^{1/2}]^{-1}$
2. $f = n[2l(\rho S^E)^{1/2}]^{-1}$
3. $f = n[2l(\rho S^D)^{1/2}]^{-1}$

где n – целое, нечетное, l – один из геометрических размеров образца правильной формы, ρ – плотность, S^E – компонента упругой податливости электрически свободного кристалла, S^D – компонента упругой податливости электрически зажатого кристалла.

Правильный ответ – 2.

4. Что называют антирезонансом в пьезотехнике?

1. антирезонанс – явление заключающийся в существенном ослаблении амплитуды механических колебаний пьезорезонатора при совпадении частоты действующего электрического поля с частотой антирезонанса кристалла.

2. антирезонанс – явление заключающийся в существенном ослаблении амплитуды электрического тока, протекающего в цепи содержащей пьезорезонатор, при совпадении частоты действующего электрического поля с частотой антирезонанса кристалла.

3. антирезонанс – явление заключающийся в существенном ослаблении амплитуды электрического тока, протекающего через пьезорезонатор, при совпадении частоты действующего электрического поля с частотой антирезонанса кристалла.

Правильный ответ – 2.

5. Назовите основную функцию пьезоэлектрического резонатора в радиоэлектронных устройствах.

1. Стабилизация частоты автогенератора.
2. Функция частотно-избирательного элемента в устройствах фильтрации аналогового сигнала.
3. Элемент, реализующий функцию частотного смесителя.

Правильный ответ – 2.

6. Какую функцию реализует линия задержки на ПАВ?

1. Линия задержки обеспечивает задержку распространения электрического сигнала по времени.
2. Линия задержки выполняет операцию свертки двух аналоговых сигналов.
3. Линия задержки задерживает рост амплитуды аналогового сигнала.

Правильный ответ – 1.

7. Поясните назначение акселерометра?

1. Акселерометр предназначен для измерения скорости движения.
2. Акселерометр предназначен для измерения частоты вращения.
3. Акселерометр предназначен для измерения ускорения.

Правильный ответ – 3.

8. Какой из режимов используют при работе пьезотрансформатора тока?

1. Режим холостого хода.
2. Режим короткого замыкания
3. Режим согласования (передача максимальной мощности в нагрузку)
4. Режим максимального КПД

Правильный ответ – 4.

9. Поясните назначение акустического сумматора на ПАВ.

1. Реализует операцию сложения амплитуд двух аналоговых сигналов.
2. Реализует операцию сложения частот двух аналоговых сигналов.
3. Реализует операцию сложения фаз двух аналоговых сигналов.

Правильный ответ – 1.

10. Энергия какого источника используется при работе радиометки на ПАВ?

1. Энергия встроенного электрохимического элемента
2. Солнечная энергия
3. Энергия вибраций, обусловленных движением воздуха либо акустических воздействий.
4. Энергия первичного (запрашивающего) радиосигнала.

Правильный ответ – 4.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Определить частоту пьезокерамического резонатора (пьезокерамика ЦТС-19), соответствующую третьей гармонике, если плотность материала $\rho = 7,4 \text{ г/см}^3$, модуль Юнга $Y = 6,6 \times 10^{10} \text{ Н/м}^2$, а толщина пластинки, $l = 0,5 \text{ мм}$

Решение. Известно, что

$$f = n[2l(\rho/Y)^{1/2}]^{-1} = 3 \times [2 \times 5 \times 10^{-4} (7400/6,6 \times 10^{10})^{1/2}]^{-1} = \\ = 3 \times 2,98645 \text{ МГц} = 8,95937 \text{ МГц}$$

2. На большие грани образца в виде пластины из пьезокерамического материала с размерами $5 \times 20 \times 1 \text{ мм}$ нанесены электроды. Определить, на сколько изменятся толщина (h), длина (l) и ширина (w) после подачи на электроды электрического напряжения $U = 10 \text{ В}$, если известны значения пьезомодулей $d_{33} = 500$ и $d_{31} = 100 \text{ пКл/Н}$.

Решение. Относительная деформация пьезоэлектрика дается формулой $x = dE$, где E – напряженность электрического поля.

Поле E в нашем случае действует вдоль оси «3», его напряженность

$$E_3 = U/h = 10/10^{-3} = 10^4 \text{ В/м.}$$

$$\text{Тогда изменение толщины составит } \Delta h = d_{33} \times E_3 \times h = \\ = 500 \times 10^{-12} \times 10^4 \times 10^{-3} = 5 \times 10^{-9} \text{ м} = 0,005 \text{ мкм.}$$

$$\text{Изменение ширины составит } \Delta w = d_{31} \times E_3 \times w = 0,005 \text{ мкм.}$$

$$\text{Изменение длины составит } \Delta l = d_{31} \times E_3 \times l = 0,02 \text{ мкм.}$$

3. На большие грани образца в виде диска радиусом $R = 20 \text{ мм}$ и толщиной $h = 1 \text{ мм}$ из пьезокерамического материала нанесены электроды. Определить, на сколько изменится амплитуда радиальных колебаний ΔR на частоте резонанса, длина (l) и ширина (w) после подачи на электроды электрического напряжения 10 В , если известно значение пьезомодуля $d_{31} = 150 \text{ пКл/Н}$, добротность $Q = 100$, а амплитуда подаваемого напряжения составляет 1 В .

Решение. Найдем амплитуду деформации при воздействии постоянного напряжения: $\Delta R_{ст} = d_{31} E_3 R$. Напряженность поля $E_3 = U/h = 10/10^{-3} = 10^4 \text{ В/м}$.

$$\text{Тогда } \Delta R_{ст} = 150 \times 10^{-12} \times 10^4 \times 2 \times 10^{-2} = 3 \times 10^{-8} \text{ м} = 0,03 \text{ мкм.}$$

Для частоты, соответствующей резонансу справедливо

$$\Delta R = \Delta R_{ст} \times Q = 0,03 \times 100 = 3 \text{ мкм.}$$

4. Определить величину коэффициента электромеханической связи пьезоэлектрика, если известно, что накопленная в результате сжатия образца упругая энергия $W_{упр} = 1 \text{ Дж}$, а электрическая – $W_э = 0,5 \text{ Дж}$?

Решение. Известно, что $k^2 = W_э / (W_э + W_{упр})$.

$$\text{Из этой формулы находим: } k = [W_э / (W_э + W_{упр})]^{1/2} = (0,5/1,5)^{1/2} = 0,58$$

5. Упругая податливость электрически свободного образца составляет $S^E = 10^{-11} \text{ Н/м}^2$. Найдите значение податливости электрически зажатого S^D материала, если коэффициент электромеханической связи $k = 0,9$.

$$\text{Решение. Известно, } S^D = S^E (1 - k^2) = 10^{-11} \times (1 - 0,81) = 0,09 \times 10^{-11} \text{ Н/м}^2$$

6. Электрическая емкость пьезоэлектрического резонатора на частотах много выше (C_3) и ниже ($C_{св}$) резонансной частоты составила 5 и 8 пФ , соответственно. Найти коэффициент электромеханической связи k .

$$\text{Решение. Известно, что } C_3 = C_{св} (1 - k^2)$$

Откуда находим $k = [(C_{св} - C_3)/C_{св}]^{1/2} = (3/8)^{1/2} = 0.61$

7. Рассчитать коэффициент трансформации симметричного пьезоэлектрического трансформатора поперечно-поперечного типа, работающего в режиме максимального КПД (η), если известно, что $\eta = 90\%$.

Решение. $K_U = \eta(2)^{1/2} = 0.9 \times 1.41 = 1.27$

8. Рассчитать коэффициент трансформации симметричного пьезоэлектрического трансформатора поперечно-поперечного типа, работающего в режиме холостого хода ($K_{U_{хх}}$), если известно, механическая добротность пьезоэлектрической пластины $Q_M = 80$, а коэффициент электромеханической связи $k_{31} = 0.8$.

Решение: $K_{U_{хх}} = 4Q_M k_{31}^2 / [\pi^2(1 - k_{31})] = 4 \times 80 \times 0.64 / (9.87 \times 0.36) = 57.64$

9. Известно, что площадь секции генератора пьезоэлектрического трансформатора поперечно-поперечного типа $S = 6 \text{ см}^2$, толщина $h = 1 \text{ мм}$, диэлектрическая проницаемость материала $\epsilon = 900$ на частоте 1 кГц , а коэффициент электромеханической связи $k_{31} = 0.8$. Найти значение сопротивления нагрузки R_n , соответствующее максимальному КПД пьезоэлектрического трансформатора, рабочая частота которого $f_R = 60 \text{ кГц}$.

Решение: Условие максимального КПД: $R_n = X_{эТ}$, где $X_{эТ} = 1/\omega C_{эТ}$.

Здесь $C_{эТ}$ – емкость секции генератора на частоте, превышающей f_R ,

$$\omega = 2\pi f_R = 376800 \text{ с}^{-1}.$$

$$C_{эТ} = (1 - k_{31}^2) \epsilon \epsilon_0 S / h = (0.36) \times 900 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 6 \times 10^{-4} / 10^{-3} = 4779 \text{ пФ} \times 0.36 = 1720.4 \text{ пФ}.$$

$$R_n = X_{эТ} = 1/\omega C_{эТ} = (376800 \times 1720.4 \times 10^{-12})^{-1} = 1542.6 \text{ Ом}.$$

10. Скорость распространения ПАВ $V = 2000 \text{ м/с}$. Найдите расстояние между соседними электродами (l) ВШП, на которые подают синфазное напряжение для возбуждения ПАВ частотой $f = 100 \text{ МГц}$.

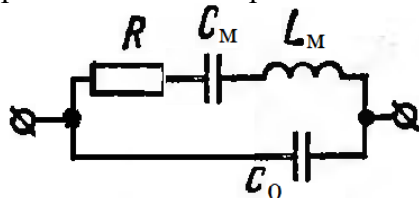
Решение: Условие оптимального возбуждения ПАВ даются выражением $l = n\lambda$, где λ – длина волны, $n = 1, 2, 3, \dots$

$$\lambda = V/f = 2000/10^8 = 2 \times 10^{-5} \text{ м} = 20 \text{ мкм}.$$

Следовательно, $l = n \times 20 \text{ мкм}$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. На рисунке показана эквивалентная схема пьезоэлектрического резонатора. Известны параметры эквивалентной схемы: $R = 10 \text{ Ом}$, $L_M = 3 \text{ мГн}$, $C_M = 100 \text{ пФ}$, $C_0 = 150 \text{ пФ}$. Определить частоты резонанса f_R и антирезонанса f_A .



Варианты ответов.

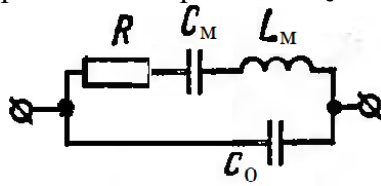
1. $f_R = 390723.2 \text{ Гц}$; $f_A = 375372.07 \text{ Гц}$

2. $f_R = 290723.2 \text{ Гц}$; $f_A = 375322.07 \text{ Гц}$

3. $f_R = 291723.2 \text{ Гц}$; $f_A = 375322.07 \text{ Гц}$

Правильный ответ - 2 $f_R = 290723.2 \text{ Гц}$; $f_A = 375322.07 \text{ Гц}$

2. На рисунке показана эквивалентная схема пьезоэлектрического резонатора. Известны параметры эквивалентной схемы: $R = 15 \text{ Ом}$, $L_M = 3 \text{ мГн}$, $C_M = 100 \text{ пФ}$, $C_0 = 180 \text{ пФ}$. Определить добротность Q на частоте резонанса f_R .

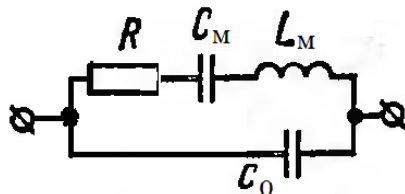


Варианты ответов.

1. $Q = 547,7$
2. $Q = 147,7$
3. $Q = 5047,7$

Правильный ответ - 1: $Q = 547,7$

3. На рисунке показана эквивалентная схема пьезоэлектрического резонатора. Известны параметры эквивалентной схемы: $R = 25 \text{ Ом}$, $L_M = 3 \text{ мГн}$, $C_M = 120 \text{ пФ}$, $C_0 = 200 \text{ пФ}$. Определить частоты резонанса f_R и антирезонанса f_A до и после того, как к резонатору будет подключен соединительный кабель с собственной емкостью 50 пФ .



Варианты ответов.

До подключения соединительного кабеля

1. $f_R = 390723,2 \text{ Гц}$; $f_A = 375372,07 \text{ Гц}$
2. $f_R = 290723,2 \text{ Гц}$; $f_A = 375322,07 \text{ Гц}$
3. $f_R = 265392,8 \text{ Гц}$; $f_A = 335698,26 \text{ Гц}$

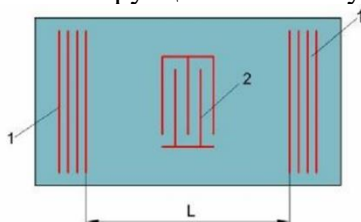
После подключения соединительного кабеля

4. $f_R = 390723,2 \text{ Гц}$; $f_A = 375372,07 \text{ Гц}$
5. $f_R = 265392,8 \text{ Гц}$; $f_A = 322864,25 \text{ Гц}$
6. $f_R = 291723,2 \text{ Гц}$; $f_A = 375322,07 \text{ Гц}$

Правильные ответы.

- 3 – (До подключения соединительного кабеля $f_R = 265392,8 \text{ Гц}$; $f_A = 335698,26 \text{ Гц}$);
 5 – (После подключения соединительного кабеля $f_R = 265392,8 \text{ Гц}$; $f_A = 322864,25 \text{ Гц}$)

4. Конструкция какого акустоэлектронного прибора изображена на рисунке?



1. Резонатор на ПАВ
2. Линия задержки на ПАВ
3. Трансформатор на ПАВ

Правильный ответ. 1 - Резонатор на ПАВ

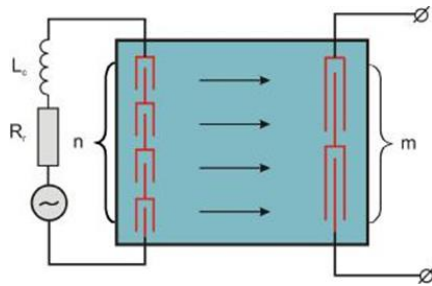
5. Конструкция какого акустоэлектронного прибора изображена на рисунке?



1. Резонатор на ПАВ
2. Линия задержки на ПАВ
3. Трансформатор на ПАВ
4. Сумматор на ПАВ

Правильный ответ. 2 - Линия задержки на ПАВ

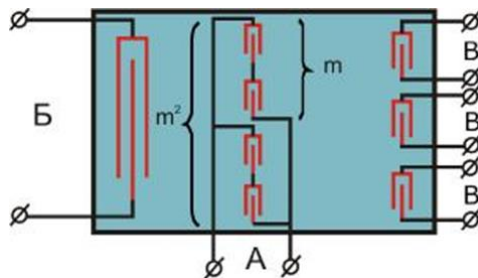
6. Конструкция какого акустоэлектронного прибора изображена на рисунке?



1. Резонатор на ПАВ
2. Линия задержки на ПАВ
3. Трансформатор на ПАВ
4. Сумматор на ПАВ

Правильный ответ. 3 - Трансформатор на ПАВ

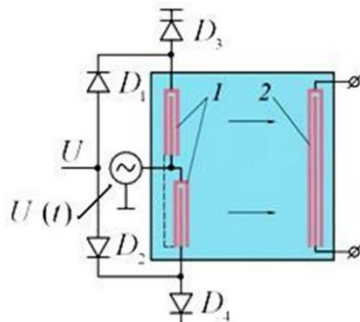
7. Конструкция какого акустоэлектронного прибора изображена на рисунке?



1. Резонатор на ПАВ
2. Линия задержки на ПАВ
3. Трансформатор на ПАВ
4. Сумматор на ПАВ

Правильный ответ. 4 - Сумматор на ПАВ

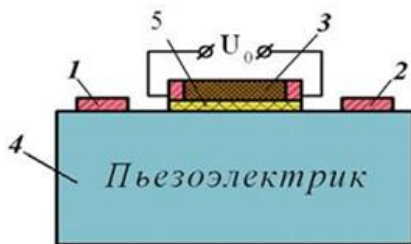
8. Конструкция какого акустоэлектронного прибора изображена на рисунке?



1. Резонатор на ПАВ
2. Линия задержки на ПАВ
3. Фазовращатель на ПАВ
4. Сумматор на ПАВ

Правильный ответ. 3 - Фазовращатель на ПАВ

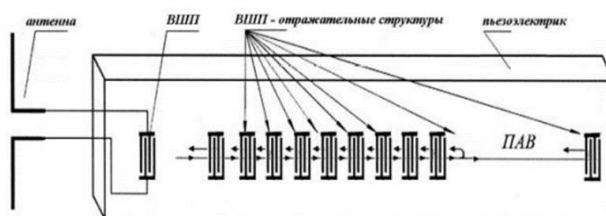
9. Конструкция какого акустоэлектронного прибора изображена на рисунке?



1. Резонатор на ПАВ
2. Усилитель на ПАВ
3. Радиометка на ПАВ
4. Сумматор на ПАВ

Правильный ответ. 2 - Усилитель на ПАВ

10. Конструкция какого акустоэлектронного прибора изображена на рисунке?



1. Резонатор на ПАВ
2. Усилитель на ПАВ
3. Фазовращатель на ПАВ
4. Радиометка на ПАВ

Правильный ответ. 4 - Радиометка на ПАВ

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Упругие свойства кристаллов. Тензоры деформаций и упругих модулей. Закон Гука.
2. Диэлектрическая проницаемость. Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости.
3. Пьезоэлектрический эффект (прямой и обратный). Пьезоэлектрические коэффициенты.
4. Электромеханическая связь, ее влияние на механические и диэлектрические свойства.
5. Общие требования, предъявляемые к датчикам.
6. Датчики силы, быстропеременных давлений, деформации, акселерометры, работающие на прямом пьезоэффекте.
7. Пьезоэлектрические звукопередатчики, микрофоны (гидрофоны) и излучатели. Устройство и принцип действия.
8. Упругие продольные и поперечные волны в кристаллах. Стоячие волны. Механический резонанс.
9. Влияние геометрических факторов на спектр резонансных частот.
10. Поверхностные волны. Разновидности ПАВ.
11. Пьезоэлектрический резонанс. Эквивалентная схема и основные параметры пьезоэлектрического резонатора.
12. Явление «антирезонанса»
13. Приборы на объемных акустических волнах.
14. Пьезоэлектрические резонаторы. Базовые конструкции и эксплуатационные параметры. Область применения.
15. Назначение и разновидности электрических фильтров. Пьезоэлектрические фильтры. Базовые конструкции, параметры и характеристики.
16. Линии задержки, их назначение и разновидности. Ультразвуковые линии задержки на объемных акустических волнах.
17. Пьезоэлектрические сенсоры резонансного типа. Разновидности и принцип действия.
18. Пьезорезонансные датчики силы, температуры, давления и ускорения.
19. Пьезорезонансные датчики микроперемещений.
20. Пьезорезонансные датчики влажности, химического состава. Приборы для микровзвешивания.
21. Пьезоэлектрические трансформаторы, их разновидности и режимы работы.
22. Основные режимы работы пьезоэлектрических трансформаторов. (Короткое замыкание, холостой ход, режимы максимальной передачи энергии и максимального КПД).
23. Акустоэлектронные приборы на поверхностных акустических волнах.
24. Способы возбуждения ПАВ. Встречно-штыревые преобразователи (ВШП), эквивалентная схема. Влияние конструкции преобразователя на его АЧХ.
25. Линии задержки, их основные параметры и характеристики. Базовые конструкции ЛЗ на ПАВ.
26. Резонаторы на ПАВ, их основные параметры и характеристики.
27. Фильтры на ПАВ. Базовые конструкции, основные параметры и характеристики.

28. Акустические трансформаторы, разветвители, сумматоры сигналов на ПАВ. Базовые конструкции.
29. Акустические фазовращатели, разветвители и аттенюаторы на ПАВ.
30. Конвольверы. Назначение и устройство.
31. Акустоэлектронные усилители.
32. Использование резонаторов и линий задержки на ПАВ в ВЧ автогенераторах.
33. Системы радиочастотной идентификации (РЧИ) на ПАВ-метках.
34. Сенсоры на ПАВ, разновидности, принцип действия, основные конструкции.

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Незачет» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Зачет» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Электромеханические свойства кристаллов и текстур	ПК-5	Тест, контрольная работа, опрос на занятиях.
2	Пьезоэлектрические устройства, использующие прямой пьезоэффект.	ПК-5	Тест, контрольная работа, опрос на занятиях.
3	Упругие волны в кристаллах. Пьезоэлектрический резонанс.	ПК-5	Тест, контрольная работа, опрос на занятиях
4	Приборы на объемных акустических волнах	ПК-5	Тест, контрольная работа, опрос на занятиях
5	Акустоэлектронные приборы на ПАВ	ПК-5	Тест, контрольная работа, опрос на занятиях
6	Сложные акустоэлектронные приборы и сенсоры на ПАВ	ПК-5	Тест, контрольная работа, опрос на занятиях

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. С.А. Гриднев. Физика пьезоэлектрических кристаллов. - Воронеж: изд. ВГТУ. - 2001. – 362 с
2. В.В. Малов. Пьезорезонансные датчики. – М.- Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.
3. Основы нано- и функциональной электроники. Учебн. Пособие/ Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов- Изд. 2-е испр. – СПб.: Лань, 2013. 310 с.
4. В.С. Орлов, В.С. Бондаренко. Фильтры на поверхностных акустических волнах. М.: Радио и связь. 1984. 272 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, Origin

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Научно-учебная лаборатория кафедры ФТТ с научно-исследовательскими измерительными стендами, комплексами и оборудованием, компьютерный класс. (аудитории 226, 226а первого корпуса ВГТУ)

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Основы акустоэлектроники» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета акустоэлектронных устройств. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.