

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Электронные приборы и устройства»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

Б.1.3.12.1 «Мощные электровакуумные приборы СВЧ»

направления подготовки

11.03.04"Электроника и микроэлектроника"

Профиль 1 - Электронные приборы и устройства

форма обучения – очная

курс – 4

семестр – 8

зачетных единиц – 2

часов в неделю – 4

всего часов – 72,

в том числе:

лекции – 14;

коллоквиумы – 4;

лабораторные работы – 18;

самостоятельная работа – 36;

зачет – 8 семестр

курсовая работа – 8 семестр

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Цель преподавания дисциплины: ознакомить с последними достижениями в области создания ЭВП СВЧ (триодов, тетродов, клистронов и клистронов), современными методами их проектирования, обеспечивающими получение оптимальной комбинации характеристик и параметров.

Задачи изучения дисциплины: донести до студентов теоретическую базу, на которой проводится анализ и расчет мощных ЭВП и их элементов: дать классификацию и изложить основные принципы работы, особенности конструкции и методику расчета на ЭВМ резонаторных, электронно-оптических, фокусирующих и других систем; обозначить основные области применения этих приборов.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП ВО**

Для успешного усвоения данной дисциплины необходимо, чтобы студент владел знаниями, умениями и навыками, сформированными в процессе изучения дисциплин:

Б.1.1.5 Математика (ОПК-1, ОПК-2);

Б.1.1.6 Физика (ОПК-2);

Б.1.1.12 Теоретические основы электротехники (ОПК-3);

Б.1.1.16 Физические основы электроники (ПК-1, ПК-2)

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

готовностью выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования (ПК-5).

Студент должен знать: методику расчёта и конструирования приборов и их основных узлов, выбирать оптимальную по комплексу выходных параметров конструкцию, знать современное состояние в этой области и успехи, которые получены за последние 10-15 лет.

Студент должен уметь: проводить инженерный расчет основных параметров режима однолучевых и многолучевых приборов; рассчитывать резонаторные системы различных типов; выбирать на основе детального расчета оптимальную конструкцию.

Студент должен владеть: представлением о конструкциях гибридных приборов – тлистронов, клистронов, КРВ с рекордно высокими параметрами, приближающимся к теоретически предсказанным.

#### 4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий

№ Мо-ду-ля	№ Не-де-ли	№ Те-мы	Наименование темы	Часы					
				Всего	Лек-ции	Коллок-виумы	Лабора-торные	Прак-тичес-кие	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10 семестр									
1		1	Физические принципы работы мощных электровакуумных СВЧ приборов и их классификация.	4	4				
1		2	Особенности работы и конструкции мощных генераторных ламп СВЧ со статическим управлением электронным потоком	34	4	2	8		20
2		3	Основные типы и параметры резонансных систем мощных электровакуумных приборов СВЧ	30	2	2	10		16
2		4	Особенности работы и конструкции мощных электровакуумных приборов СВЧ с динамическим управлением электронным потоком	2	2				
2		5	Применение мощных электровакуумных приборов СВЧ в различных установках	2	2				
Всего				72	14	4	18		36

#### 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Общие сведения о мощных электровакуумных приборах СВЧ. Основы работы мощных	1,2,3,5

			электровакуумных приборов СВЧ. Классификация мощных электровакуумных приборов СВЧ. Основные параметры мощных электровакуумных приборов СВЧ. Методы управления электронными потоками мощных электровакуумных приборов СВЧ. Распределение мощных электронных приборов по диапазону частот.	
2	2	2	Особенности работы и конструкции мощных генераторных ламп СВЧ со статическим управлением электронным потоком. Схемы и конструкции мощных генераторов СВЧ на триодах Схемы и конструкции мощных генераторов СВЧ на тетрадах.	1,2,3,5
3	2	3	Основные типы и параметры резонансных систем мощных электровакуумных приборов СВЧ. Резонансные системы на основе отрезков однородных линий. Резонансные системы на основе отрезков ступенчато-неоднородных линий Резонансные системы на основе отрезков плавно-неоднородных линий. Резонансные системы на основе коаксиальных и тороидальных резонаторов.	1,2,3,5
3	2	4	Резонансные системы на основе прямоугольных резонаторов. Резонансные системы на основе цилиндрических резонаторов. Магнетронные резонаторные системы. Связь резонаторных систем мощных генераторных приборов СВЧ с нагрузкой.	1,2,3,5
4	2	5	Мощный многорезонаторный магнетрон. Способы перестройки резонансных систем. Замедляющие системы мощных генераторных приборов СВЧ. Лампа бегущей волны типа М. Параметры и характеристики ЛБВМ. Лампа бегущей волны типа О. Основные типы и особенности конструкций замедляющих систем. Мощные электровакуумные усилители сверхвысоких частот. Усилительные клистроны для систем связи.	1,2,3,5
4	2	6	Лампы бегущей волны для РЛС наземного и самолетного базирования. Современная высокотехнологичная обработка материалов с помощью электронной стерилизации с использованием мощных электровакуумных приборов СВЧ.	1,2,3,5
5	2	7	Установки для размораживания продуктов с использованием мощных электровакуумных приборов СВЧ. Усилительные клистроны для РЛС. Усилительные клистроны для передатчиков телевизионного вещания. Клистроны для линейных ускорителей. Металлокерамические узлы мощных электровакуумных приборов СВЧ.	1,2,3,5

## 6. Содержание коллоквиумов

№ темы	Всего часов	№ коллоквиума	Тема коллоквиума. Вопросы, отрабатываемые на коллоквиуме	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
2	2	1	Методы расчета основных узлов мощных электровакуумных приборов СВЧ	6
4	2	2	Особенности конструкции мощных приборов СВЧ	6

### 7. Перечень лабораторных занятий

№ темы	Всего часов	№ занятия	Тема практического занятия. Задания, вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
3	9	1	Исследование основных характеристик клистронных резонаторов	1,2,3,5
4	9	2	Исследование магнитных фокусирующих систем	1,2,3,5

Методические указания по практическим занятиям приведены в соответствующем разделе ИОС [7].

### 8. Перечень практических работ

Не предусмотрены учебным планом

### 9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Часов	Задания, вопросы, для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
2	10	Принципы расчета генераторов на мощных СВЧ триодах	4,7
2	10	Принципы расчета генераторов на мощных СВЧ тетродах	4,7
3	8	Вопросы расчета резонансных систем на основе отрезков однородных и отрезков ступенчато-неоднородных линий.	4,7
3	8	Вопросы расчета магнетронных резонаторных систем.	4,7

Методические указания по самостоятельному изучению отдельных разделов дисциплины приведены в соответствующем разделе ИОС [7].

### 10. Расчетно-графическая работа

Не предусмотрена учебным планом

### 11. Курсовая работа

Методические указания к выполнению курсовой работы на тему «Расчет резонансных систем генераторов СВЧ» представлены [7].

## 12. Курсовой проект

Не предусмотрен учебным планом

## 13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

В процессе освоения образовательной программы формируется отдельные элементы компетенции ПК-5: готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.

Содержание лекционного курса и практических занятий формируют на рассматриваемом этапе элементы компетенций в части, касающейся расчета и проектирования современных мощных электровакуумных приборов СВЧ в соответствии с техническим заданием.

Процедура оценивания знаний, умений и навыков проводится в соответствии со следующими методическими материалами и заключается:

- в проведении устного зачетного опроса в виде диалога преподавателя со студентом, цель которого – систематизация и уточнение имеющихся у студента знаний, проверка его индивидуальных возможностей усвоения материала;

- отчетов по практическим работам, для оценки способности студента применить полученные ранее знания для проведения анализа, опыта, а также составления выводов;

- подготовки студентом самостоятельно и под руководством преподавателя отчета и презентации по курсовой работе;

- выступление студента с докладом, как способ проверки знаний, умений, навыков по пройденным темам изучаемого предмета (курсовая работа).

Показателем оценивания степени усвоения знаний элемента компетенций, является оценка, полученная на зачете при ответе на вопросы для зачета. Оценка выставляется по четырехбалльной шкале, соответствующей оценкам «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» (зачтено) и «неудовлетворительно» (не зачтено) и осуществляется путем анализа ответа на вопросы для зачета. При этом руководствуются следующими критериями.

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Отлично	Заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, предусмотренного программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной

	программой.
Хорошо	Заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Оценка "хорошо" выставляется обучающимся, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.
Удовлетворительно	Заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой. Оценка выставляется обучающимся, допустившим погрешности при ответе и выполнении заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.
Неудовлетворительно	Выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала. Оценка ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании образовательного учреждения без дополнительных занятий по рассматриваемой дисциплине

Умения и навыки, приобретенные студентом на этапе освоения указанной части компетенций при преподавании (изучении) рассматриваемой дисциплины, оцениваются по результатам выполнения:

- практических работ,
- самостоятельной работы,
- курсовой работы.

Показателем оценивания степени усвоения знаний элемента компетенций, является оценка, полученная при отчете по практическим работам, курсовой работе. Оценка выставляется по четырехбалльной шкале, соответствующей оценкам «зачтено» («отлично», «хорошо», «удовлетворительно») и «не зачтено» («неудовлетворительно») и осуществляется путем анализа знаний теоретического материала, оформленного отчета, выступления и ответов на вопросы при докладе презентационного материала.

При этом руководствуются следующими критериями при оценивании знаний теоретического материала, и оформленного отчета:

Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Зачтено	Выставляется студенту, если задание выполнено в

(отлично)	полном объеме с соблюдением необходимой последовательности и правил оформления отчета. Студенты работают полностью самостоятельно: подбирают необходимые для выполнения предлагаемых работ в задании источники знаний, показывают необходимые для проведения практической и курсовой работ теоретические знания, практические умения и навыки.
Зачтено (хорошо)	Выставляется студенту, если задание выполнено в полном объеме и самостоятельно. Допускаются отклонения от необходимой последовательности выполнения и правил оформления отчета, не влияющие на правильность конечного результата. Студенты используют указанные преподавателем источники знаний, таблицы из приложения к учебнику, страницы из справочной литературы по предмету. Задание показывает знание учащихся основного теоретического материала и овладение умениями, необходимыми для самостоятельного выполнения работы. Могут быть неточности и небрежность в оформлении результатов работы.
Зачтено (удовлетворительно)	Выставляется студенту, если задание на практическую работа выполняется и оформляется студентами при помощи преподавателя или хорошо подготовленных и уже выполненных на «отлично» данную работу студентов. На выполнение задания затрачивается много времени (можно дать возможность доделать работу дома). Студенты показывают знания теоретического материала, но испытывают затруднение при самостоятельной работе с физическими приборами, графиками, таблицами справочной литературы.
Не зачтено (неудовлетворительно)	Выставляется, если студенты показывают плохое знание теоретического материала и отсутствие умения применить знания к решению практической задачи, неумение оформить отчет. Руководство и помощь со стороны преподавателя и хорошо подготовленных студентов неэффективны по причине плохой подготовки студента.

При этом руководствуются следующими критериями при оценивании выступления и ответов на вопросы при докладе презентационного материала [7]:



Оценка	Критерии оценивания результатов обучения
Зачтено (отлично)	<p>Студенты работают полностью самостоятельно: подбирают материал для подготовки презентационного материала (презентация и доклад).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Содержание доклада соответствует заявленной теме и в полной мере ее раскрывает;</li> <li>- Тема полностью раскрыта; представлен обзор литературных и/или патентных источников по данной теме (не старше 5 лет); изложение материала логично и доступно;</li> <li>- Все ответы на вопросы исчерпывающие и аргументированные;</li> <li>- Выступление докладчика полностью соответствует критериям: точность изложения, свободное владение материалом, культура речи и умение привлечь внимание аудитории, лаконичность изложения.</li> </ul>
Зачтено (хорошо)	<p>Студенты подбирают материал для подготовки презентационного материала (презентация и доклад).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Содержание доклада, за исключением отдельных моментов соответствует заявленной теме и в полной мере ее раскрывает;</li> <li>- Тема хорошо раскрыта; представлен обзор литературных и/или патентных источников по данной теме (старше 5 лет); в изложении материала есть моменты, нарушающие логичность и доступность;</li> <li>- Все ответы на вопросы даны, но они имеют небольшие неточности и/или недостаточно аргументированы;</li> <li>- Выступление докладчика большей частью соответствует критериям: точность изложения, свободное владение материалом, культура речи и умение привлечь внимание аудитории, лаконичность изложения.</li> </ul>
Зачтено (удовлетворительно)	<p>Студенты подбирают материал для подготовки презентационного материала (презентация и доклад) с помощью преподавателя.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Содержание доклада большей частью соответствует заявленной теме и ее раскрывает;</li> <li>- Тема раскрыта удовлетворительно: представлен обзор литературных и/или патентных источников по данной теме (старше 10 лет); в изложении материала есть моменты, нарушающие логичность и доступность;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Не все ответы на вопросы исчерпывающие и аргументированные;</li> <li>- Выступление докладчика частично соответствует критериям: точность изложения, свободное владение материалом, культура речи и умение привлечь внимание аудитории, лаконичность изложения.</li> </ul>
Не зачтено (неудовлетворительно)	<p>Студенты подбирают материал для подготовки презентационного материала (презентация и доклад) с помощью преподавателя.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Содержание доклада частично соответствует заявленной теме;</li> <li>- Тема не раскрыта; представлен обзор литературных и/или патентных источников по данной теме (старше 10 лет); изложение материала нелогично и недоступно;</li> <li>- Ответы на вопросы отсутствовали или не соответствовали заданной теме;</li> <li>- Выступление докладчика полностью не соответствует критериям: точность изложения, свободное владение материалом, культура речи и умение привлечь внимание аудитории, лаконичность изложения.</li> </ul>

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Мощные электровакуумные приборы СВЧ» включает учет успешности выполнения практических работ, самостоятельной работы, курсовой работы, и сдачу зачета.

#### **Вопросы для зачета**

1. Электровакуумные приборы СВЧ, общая классификация.
2. Распределение электронных приборов СВЧ по диапазону частот.
3. Методы управления электронными потоками в мощных приборах СВЧ
4. Влияние межэлектродных емкостей и индуктивностей вводов на работу мощных сеточных ламп СВЧ.
5. Особенности работы и конструкции генераторных ламп СВЧ со статическим управлением электронным потоком.
6. Приборы с электростатическим управлением, общая классификация.
7. Триоды. Основные параметры мощных высокочастотных триодов на примере изделий компании EIMAC.
8. Металлокерамические триоды. Основные параметры.

9. Тетроды. Основные параметры. Сравнительный анализ основные параметры мощных высокочастотных триодов на примере изделий компании ЕІМАС.
- 10.Клистроды. Основные параметры на примере примере изделий компании ЕІМАС.
- 11.Схемы и конструкции генераторов на триодах и тетродах.
- 12.Расчет ламповых генераторов СВЧ. Электрический расчет лампы.
- 13.Расчет ламповых генераторов СВЧ. Расчет генератора на получение заданной мощности в нагрузке.
- 14.Расчет ламповых генераторов СВЧ. Расчет резонансных систем генераторов.
- 15.Основы работы электронных приборов СВЧ.
- 16.Основные параметры приборов СВЧ.
- 17.Классификация передающих устройств СВЧ и требования предъявляемые к ним.
- 18.Структурные схемы передатчиков СВЧ.
- 19.Основные типы и параметры резонансных систем.
- 20.Резонансные системы на основе отрезков однородных линий.
- 21.Резонансные системы с отрезками линий, содержащих неоднородности.
- 22.Резонансные системы приборов СВЧ. Коаксиальный полуволновый и четвертьволновый резонатор. Тороидальный резонатор.
- 23.Резонансные системы приборов СВЧ. Прямоугольный объемный резонатор. Круглый цилиндрический объемный резонатор.
- 24.Резонансные системы приборов СВЧ. Магнетронные резонаторные системы.
- 25.Связь резонаторных систем приборов СВЧ с нагрузкой.
- 26.Способы перестройки резнансных систем приборов СВЧ.
- 27.Замедляющие системы генераторных приборов СВЧ. Основные представления.
- 28.Замедляющие системы генераторных приборов СВЧ. Основные параметры и характеристики.
- 29.Типы и особенности конструкций замедляющих систем.
30. Методы расчета замедляющих систем.

### **Тестовые задания по дисциплине**

#### **14. Образовательные технологии**

Лекционный курс читается с применением *информационно-коммуникационных образовательных технологий* (организация образовательного процесса, основанная на применении специализированных программных сред и технических средств работы с информацией). Изложение всего материала (*лекции-визуализации*) сопровождается

презентациями (демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических).

Коллоквиумы проводятся с применением **интерактивных технологий и технологий проблемного обучения** (лекция-дискуссия, в ходе которой решается комплексная учебная задача).

При проведении практических работ наряду с **традиционными образовательными технологиями** (практическая работа – организация учебной работы с реальными материальными и информационными объектами) применяются **технологии проблемного обучения** (проведение практикумов - организация учебной работы, направленная на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков) и **технологии проектного обучения** (выполнение творческих и информационных проектов).

Дисциплина «Пассивные микросхемные устройства СВЧ» состоит: из лекционной части в мультимедийном исполнении; практических занятий; самостоятельных занятий для подготовки к практическим занятиям, поискового назначения, овладения учебным материалом и освоения дополнительной литературы.

Блок «самостоятельная работа» представляет консультации по электронной почте и в on-line режиме.

## **15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Титов А. А. Устройства управления амплитудой мощных сигналов / Титов А. А. - Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. - 136 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26928> .— ЭБС «IPRbooks», по паролю

2. Перепелкин Д.А. Схемотехника усилительных устройств [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ Перепелкин Д.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Горячая линия - Телеком, 2013.— 238 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/37138> .— ЭБС «IPRbooks», по паролю

3. Соколова Ж.М. Приборы и устройства СВЧ, КВЧ и ГВЧ диапазонов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Соколова Ж.М.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 283 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13961> .— ЭБС «IPRbooks», по паролю

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

4. Воробьев М.Д. Полупроводниковая и вакуумная электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Воробьев М.Д.— Электрон.

текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2010.— 168 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33136> .— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Кущ Г.Г. Приборы и устройства оптического и СВЧ диапазонов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кущ Г.Г., Соколова Ж.М., Шангина Л.И.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.— 414 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14020> .— ЭБС «IPRbooks», по паролю

6. Трубецков Д.И. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Том 2 [Электронный ресурс]/ Трубецков Д.И., Храмов А.Е.— Электрон. текстовые данные.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.— 647 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17303> .— ЭБС «IPRbooks», по паролю

#### Источники ИОС

7. Мощные электровакуумные приборы СВЧ. Режим доступа: <https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/EPU/ELNE/B.1.3.12.1/default.aspx>. По паролю.

### **16. Материально-техническое обеспечение**

Материально-техническое обеспечение модуля: доступ к фондам учебных пособий, библиотечным фондам с периодическими изданиями по соответствующим темам, наличие компьютеров, подключенных к сети Интернет, и с необходимым программным обеспечением. Учебная дисциплина «Мощные электровакуумные приборы СВЧ» обеспечена учебно-методической документацией (компонент учебно-методического комплекса по дисциплине).

Чтение лекций проводится в лекционной аудитории, обеспеченной мультимедийными средствами: персональный компьютер, проектор. Практические занятия по дисциплине проводятся в виде компьютерного практикума в дисплейном классе на персональных ЭВМ, оснащенных лицензионным программным обеспечением, соединенных в локальную сеть и имеющих доступ в Internet.

Информационное и учебно-методическое обеспечение: ЭБС «IPRbooks», электронная библиотека СГТУ имени Гагарина Ю.А., электронная информационно-образовательная среда СГТУ имени Гагарина Ю.А.