

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

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН РЭФ  
д.т.н. Хрусталеv В. А.  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи**

Образовательная программа: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств,  
профиль: Проектирование и технология радиоэлектронных средств

Курс: 3, семестр : 6

Факультет радиотехники и электроники,

|    |                                                                                                      | Семестр    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| №  | Вид деятельности                                                                                     | 6          |
| 1  | Всего зачетных единиц (кредитов)                                                                     | 5          |
| 2  | Всего часов                                                                                          | 180        |
| 3  | Всего занятий в контактной форме, час.                                                               | 120        |
| 4  | Лекции, час.                                                                                         | 36         |
| 5  | Практические занятия, час.                                                                           | 36         |
| 6  | Лабораторные занятия, час.                                                                           | 36         |
| 7  | из них в активной и интерактивной форме, час.                                                        | 18         |
| 8  | Аттестация, час.                                                                                     | 2          |
| 9  | Консультации, час.                                                                                   | 10         |
| 10 | Самостоятельная работа, час.                                                                         | 60         |
| 11 | Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе) | РГЗ контр. |
| 12 | Вид аттестации                                                                                       | Э          |

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

ФГОС введен в действие приказом №1333 от 12.11.2015 г. , дата утверждения: 30.11.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

КТРС, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, д.т.н. Девятков Г. Н.

Заведующий кафедрой:

доцент, к.т.н. Синельников А. В.

Ответственный за образовательную программу:

декан Хрусталеv В. А.

## 1. Внешние требования

Таблица 1.1

|                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:</b>                                  |
| з12. знать математическое обеспечение автоматизированного проектирования устройств связи                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Компетенция ФГОС: ОПК.5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных; в части следующих результатов обучения:</b>                                                                                                                          |
| у3. уметь прогнозировать ожидаемые, оценивать, обобщать и интерпретировать полученные результаты                                                                                                                                                                                             |
| <b>Компетенция ФГОС: ОПК.6 способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий; в части следующих результатов обучения:</b> |
| уб. уметь использовать специализированные программные средства при решении профессиональных задач                                                                                                                                                                                            |
| <b>Компетенция ФГОС: ПК.6 готовность выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и модулей электронных средств, в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования; в части следующих результатов обучения:</b>                                |
| з13. знать методы автоматизированного моделирования радиоэлектронных средств в различных элементных базисах                                                                                                                                                                                  |

## 2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

| Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)                                                     | Формы организации занятий                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <i>Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи</i>                                                                            |                                                                   |
| <b>ОПК.2.з12 знать математическое обеспечение автоматизированного проектирования устройств связи</b>                                                |                                                                   |
| 1. знать математические основы описания элементов и функциональных узлов высокочастотных устройств связи                                            | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа              |
| 2. знать математические модели пассивных и активных элементов РЭС ВЧ и СВЧ диапазона                                                                | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа              |
| 3. знать методы автоматизированного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств связи ВЧ и СВЧ диапазона в различных элементных базисах | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа              |
| <b>ОПК.5.у3 уметь прогнозировать ожидаемые, оценивать, обобщать и интерпретировать полученные результаты</b>                                        |                                                                   |
| 4. уметь прогнозировать ожидаемые, оценивать, обобщать и интерпретировать полученные результаты                                                     | Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.6.уб уметь использовать специализированные программные средства при решении профессиональных задач</b>                                       |                                                                   |
| 5. уметь использовать специализированные программные средства при решении профессиональных задач                                                    | Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа |
| <b>ОПК.2.з12 знать математическое обеспечение автоматизированного проектирования устройств связи</b>                                                |                                                                   |
| 6. знать общие вопросы автоматизированного проектирования                                                                                           | Лекции; Самостоятельная работа                                    |
| <b>ПК.6.з13 знать методы автоматизированного моделирования радиоэлектронных средств в различных элементных базисах</b>                              |                                                                   |
| 7. знать методы автоматизированного моделирования радиоэлектронных средств в различных элементных базисах                                           | Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа              |

## 3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

| Темы лекций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения | Учебная деятельность                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                      |      |                               |                                                            |
| <b>Дидактическая единица: Общие вопросы автоматизированного проектирования</b>                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |      |                               |                                                            |
| 1. Основные этапы проектирования устройств связи и возможности их автоматизации. Принципы автоматизации проектирования. Системы автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств (САПР РЭС). Виды обеспечения САПР РЭС.                                                                                                  | 0                    | 2    | 6                             | Работа студентов на лекции.                                |
| <b>Дидактическая единица: Математические основы описания элементов и функциональных узлов</b>                                                                                                                                                                                                                                       |                      |      |                               |                                                            |
| 2. Математическое описание элементов и устройств высокочастотного диапазона.                                                                                                                                                                                                                                                        | 0,5                  | 4    | 1                             | Активная работа на лекции. Диалог со студентами.           |
| <b>Дидактическая единица: Математические модели пассивных элементов</b>                                                                                                                                                                                                                                                             |                      |      |                               |                                                            |
| 3. Математические модели микрополосковых линий передачи. Математические модели неоднородностей. Математические модели элементов с сосредоточенными параметрами.                                                                                                                                                                     | 0,5                  | 6    | 2                             | Активная работа на лекции. Диалог со студентами.           |
| <b>Дидактическая единица: Математические модели активных элементов</b>                                                                                                                                                                                                                                                              |                      |      |                               |                                                            |
| 4. Математические модели диодов. Математические модели транзисторов.                                                                                                                                                                                                                                                                | 0,5                  | 6    | 2                             | Активная работа на лекции. Диалог со студентами.           |
| <b>Дидактическая единица: Методы автоматизированного проектирования высокочастотных устройств связи</b>                                                                                                                                                                                                                             |                      |      |                               |                                                            |
| 5. Синтез оптимальных режимов работы активных элементов. Синтез согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей ВЧ и СВЧ устройств связи в сосредоточенном и распределенном электрических элементных базисах. Реализация согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей в сосредоточенно-геометрическом и геометрическом элементных базисах. | 1                    | 16   | 3, 7                          | Активная работа студентов на лекции. Диалог со студентами. |
| <b>Дидактическая единица: Проектирование высокочастотных [устройств связи с использованием профессиональных программных продуктов</b>                                                                                                                                                                                               |                      |      |                               |                                                            |

|                                                                                                                                                                                                                        |     |   |      |                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|------|--------------------------------------------------|
| 6. Анализ конструкций устройств связи ВЧ и СВЧ диапазона в геометрическом и смешанном элементных базисах . Расчет коэффициентов чувствительности и статистический анализ. Оптимизация рабочих характеристик устройств. | 0,5 | 2 | 3, 7 | Активная работа студентов. Диалог со студентами. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---|------|--------------------------------------------------|

Таблица 3.2

| Темы лабораторных работ                                                                                                                                                                                                        | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения | Учебная деятельность                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                                                                              |                      |      |                               |                                                                                                   |
| <b>Дидактическая единица: Проектирование высокочастотных [устройств связи с использованием профессиональных программных продуктов</b>                                                                                          |                      |      |                               |                                                                                                   |
| 1. Автоматизированное проектирование пассивного функционального узла в сосредоточенно- распределенном электрическом и геометрическом элементных базисах с использованием профессиональных программных продуктов.               | 3                    | 16   | 4, 5                          | Работа студентов в терминальном классе. Анализ и обсуждение со студентами получаемых результатов. |
| 2. Автоматизированное проектирование активного функционального узла в сосредоточенно- распределенном электрическом и сосредоточенно-геометрическом элементных базисах с использованием профессиональных программных продуктов. | 3                    | 20   | 4, 5                          | Работа студентов в терминальном классе. Анализ и обсуждение со студентами получаемых результатов. |

Таблица 3.3

| Темы практических занятий                                                                                                                       | Активные формы, час. | Часы | Ссылки на результаты обучения | Учебная деятельность                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                               |                      |      |                               |                                                 |
| <b>Дидактическая единица: Математические основы описания элементов и функциональных узлов</b>                                                   |                      |      |                               |                                                 |
| 1. Матричное описание элементов и устройств в сосредоточенном, сосредоточенно-распределенном и распределенном электрическом элементных базисах. | 3                    | 10   | 1, 5                          | Решение типовых задач. Коллективное обсуждение. |
| <b>Дидактическая единица: Математические модели пассивных элементов</b>                                                                         |                      |      |                               |                                                 |
| 2. Разработка математических моделей пассивных элементов и устройств.                                                                           | 2                    | 6    | 2, 4                          | Решение задач. Коллективное обсуждение.         |
| <b>Дидактическая единица: Математические модели активных элементов</b>                                                                          |                      |      |                               |                                                 |
| 3. Разработка математических моделей активных элементов и устройств.                                                                            | 1                    | 4    | 2, 4                          | Решение задач на тему. Коллективное обсуждение. |

|                                                                                                         |   |    |         |                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|---------|-------------------------------------------------|
| <b>Дидактическая единица: Методы автоматизированного проектирования высокочастотных устройств связи</b> |   |    |         |                                                 |
| 4. Анализ и синтез функциональных узлов связи ВЧ и СВЧ диапазона.                                       | 3 | 16 | 3, 4, 7 | Решение задач на тему. Коллективное обсуждение. |

#### 4. Самостоятельная работа обучающегося

| №                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Виды самостоятельной работы | Ссылки на результаты обучения | Часы на выполнение | Часы на консультации |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------|----------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                             |                               |                    |                      |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Контрольные работы          | 1, 2, 4                       | 2                  | 1                    |
| Решение задач: Уфимцев Д. В. Проектирование, моделирование и оптимизация устройств СВЧ диапазона : учебное пособие / Д. В. Уфимцев, Л. В. Шебалкова, К. Ю. Сюткин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 160, [2] с. : ил.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927</a> Нефедов Е. И. Устройства СВЧ и антенны : [учебное пособие по специальностям направления "Радиотехника"] / Е. И. Нефёдов. - М., 2009. - 375, [1] с. : ил., табл.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                             |                               |                    |                      |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | РГЗ                         | 1, 2, 3, 4, 5, 7              | 20                 | 4                    |
| Автоматизированное проектирование функционального узла с использованием профессиональных программных продуктов: Проектирование широкополосных трансформаторов сопротивлений : методические указания к расчетно-графической работе для 4 курса РЭФ (направление 210200 и специальность 210404) дневного и заочного отделений / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. Г. Н. Девятков]. - Новосибирск, 2010. - 18, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000150820">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000150820</a> Уфимцев Д. В. Проектирование, моделирование и оптимизация устройств СВЧ диапазона : учебное пособие / Д. В. Уфимцев, Л. В. Шебалкова, К. Ю. Сюткин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 160, [2] с. : ил.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927</a> |                             |                               |                    |                      |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Подготовка к занятиям       | 2, 3, 4, 5, 7                 | 11                 | 3                    |
| Подготовка к лабораторным занятиям по методическим указаниям, конспектам лекций и рекомендованной литературе.: Уфимцев Д. В. Проектирование, моделирование и оптимизация устройств СВЧ диапазона : учебное пособие / Д. В. Уфимцев, Л. В. Шебалкова, К. Ю. Сюткин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 160, [2] с. : ил.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927</a> Моделирование и автоматизированное проектирование ВЧ- и СВЧ-устройств : методические указания / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Г. Н. Девятков, С. В. Таранин ]. - Новосибирск, 2011                                                                                                                                                                                                                                                                  |                             |                               |                    |                      |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Подготовка к аттестации     | 1, 2, 3, 4, 6, 7              | 27                 | 2                    |
| Изучение конспекта лекций и рекомендованной литературы.: Уфимцев Д. В. Проектирование, моделирование и оптимизация устройств СВЧ диапазона : учебное пособие / Д. В. Уфимцев, Л. В. Шебалкова, К. Ю. Сюткин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 160, [2] с. : ил.. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927</a> Нефедов Е. И. Устройства СВЧ и антенны : [учебное пособие по специальностям направления "Радиотехника"] / Е. И. Нефёдов. - М., 2009. - 375, [1] с. : ил., табл.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                             |                               |                    |                      |

#### 5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

| Деятельность     | Информационно-коммуникационные технологии |
|------------------|-------------------------------------------|
| Информирование   | e-mail:devyatkov@corp.nstu.ru             |
| Консультирование | e-mail:devyatkov@corp.nstu.ru             |

|                               |                                                                                                                                              |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Контроль                      | Портал<br>НГТУ:НГТУ: <a href="http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/6732/1">http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/6732/1</a> |
| Размещение учебных материалов | Портал<br>НГТУ:НГТУ: <a href="http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/6732/1">http://dispace.edu.nstu.ru/didesk/course/show/6732/1</a> |

## 6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS.

Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

| Оцениваемые виды деятельности обучающихся                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Мин. балл | Максимальный балл |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------|
| <b>Семестр: 6</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                   |
| <i>Лабораторная:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 12        | 24                |
| Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование и автоматизированное проектирование ВЧ- и СВЧ-устройств : методические указания / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Г. Н. Девятков, С. В. Таранин ]. - Новосибирск, 2011"                                                                                                                                                                                                                                                                 |           |                   |
| <i>Контрольные работы:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 9         | 18                |
| Контролирующие материалы приводятся в "Моделирование и автоматизированное проектирование ВЧ- и СВЧ-устройств : методические указания / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Г. Н. Девятков, С. В. Таранин ]. - Новосибирск, 2011"                                                                                                                                                                                                                                                                 |           |                   |
| <i>РГЗ:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 9         | 18                |
| Контролирующие материалы приводятся в "Проектирование широкополосных трансформаторов сопротивлений : методические указания к расчетно-графической работе для 4 курса РЭФ (направление 210200 и специальность 210404) дневного и заочного отделений / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. Г. Н. Девятков]. - Новосибирск, 2010. - 18, [2] с. : ил., табл. - Режим доступа: <a href="http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000150820">http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000150820</a> " |           |                   |
| <i>Экзамен:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 20        | 40                |
| Контролирующие материалы - список вопросов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |                   |

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

| Коды компетенций ФГОС | Результаты обучения                                                                                         | Формы контроля |            |         |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------|---------|
|                       |                                                                                                             | Контр. раб.    | Защита РГЗ | Экзамен |
| <b>ОПК.2</b>          | з12. знать математическое обеспечение автоматизированного проектирования устройств связи                    | +              | +          | +       |
| <b>ОПК.5</b>          | у3. уметь прогнозировать ожидаемые, оценивать, обобщать и интерпретировать полученные результаты            | +              | +          | +       |
| <b>ОПК.6</b>          | у6. уметь использовать специализированные программные средства при решении профессиональных задач           |                | +          | +       |
| <b>ПК.6</b>           | з13. знать методы автоматизированного моделирования радиоэлектронных средств в различных элементных базисах |                | +          | +       |

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

## 7. Литература

### Основная литература

1. Устройства СВЧ и антенны : учебник для вузов по направлению подготовки 654200 "Радиотехника" / Д. И. Воскресенский и др. ; под ред. Д. И. Воскресенского. - М., 2006. - 375 с. : ил.
2. Девятков Г. Н. Моделирование и автоматизированное проектирование широкополосных преобразователей частоты : учебное пособие / Г. Н. Девятков ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 66, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000132392](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000132392)

#### *Дополнительная литература*

1. Проектирование радиопередающих устройств с применением ЭВМ : учебное пособие для вузов / Алексеев О. В., Головкин А. А., Дмитриев А. Я. и др. ; под ред. Алексеева О. В. - М., 1987. - 392 с. : ил.
2. Гупта К. Машинное проектирование СВЧ устройств / К. Гупта, Р. Гардж, Р. Чадха ; пер. с англ. С. Д. Бродецкой, под ред. В. Г. Шейкмана. - М., 1987. - 428, [1] с. : ил., схемы, табл.
3. Разевиг В. Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / В. Д. Разевиг, Ю. В. Потапов, А. А. Курушин. - М., 2003. - 492 с. : ил.
4. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование : пер. с англ. / В. Фуско ; под ред. В. И. Вольмана. - М., 1990. - 288 с. : ил., схемы
5. Зелингер Д. Основы матричного анализа и синтеза применительно к электронике / Дж. Зелингер ; пер. с англ. Е. Г. Польской под ред. Г. А. Ремеза. - М., 1970. - 235, [1] с. : ил., схемы
6. Каганов В. И. Проектирование транзисторных радиопередатчиков с применением ЭВМ. - М., 1988. - 255 с.
7. Артым А. Д. Электрические корректирующие цепи и усилители : теория и проектирование / А. Д. Артым. - М., 1965. - 418 с. : ил.
8. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / [Л. Г. Гассанов и др.]. - М., 1988. - 287, [1] с. : ил.
9. Современная теория фильтров и их проектирование : пер. с англ. / под ред. Г. Темеша, С. Митра. - М., 1977. - 560 с. : ил.

#### *Интернет-ресурсы*

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>
5. :

## **8. Методическое и программное обеспечение**

### *8.1 Методическое обеспечение*

1. Моделирование и автоматизированное проектирование ВЧ- и СВЧ-устройств : методические указания / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Г. Н. Девятков, С. В. Таранин ]. - Новосибирск, 2011
2. Проектирование широкополосных трансформаторов сопротивлений : методические указания к расчетно-графической работе для 4 курса РЭФ (направление 210200 и специальность 210404) дневного и заочного отделений / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. Г. Н. Девятков]. - Новосибирск, 2010. - 18, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000150820](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000150820)

3. Уфимцев Д. В. Проектирование, моделирование и оптимизация устройств СВЧ диапазона : учебное пособие / Д. В. Уфимцев, Л. В. Шебалкова, К. Ю. Сюткин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 160, [2] с. : ил. - Режим доступа: [http://elibrary.nstu.ru/source?bib\\_id=vtls000141927](http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000141927)
4. Нефедов Е. И. Устройства СВЧ и антенны : [учебное пособие по специальностям направления "Радиотехника"] / Е. И. Нефёдов. - М., 2009. - 375, [1] с. : ил., табл.

### 8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Office
- 2 Ansys Academic Research
- 3 MathCAD
- 4 Autodesk AutoCAD
- 5 OrCAD PCB Design University Edition

## 9. Материально-техническое обеспечение

Специальное оборудование

| № | Наименование           | Назначение                                           |
|---|------------------------|------------------------------------------------------|
| 1 | Компьютерный класс №38 | Используется при выполнении лабораторных работ и РГР |
| 2 | Компьютерный класс №7  | Используется при выполнении лабораторных работ и РГР |

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

Кафедра конструирования и технологии радиоэлектронных средств

“УТВЕРЖДАЮ”  
ДЕКАН РЭФ  
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи**

Образовательная программа: 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств,  
профиль: Проектирование и технология радиоэлектронных средств

# 1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи приведена в Таблице.

Таблица

| Формируемые компетенции                                                                                                                                                                   | Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)                         | Темы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Этапы оценки компетенций                                      |                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                           |                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.) | Промежуточная аттестация (экзамен, зачет) |
| ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат | з12. знать математическое обеспечение автоматизированного проектирования устройств связи | Анализ и синтез функциональных узлов связи ВЧ и СВЧ диапазона. Анализ конструкций устройств связи ВЧ и СВЧ диапазона в геометрическом и смешанном элементарных базисах . Расчет коэффициентов чувствительности и статистический анализ. Оптимизация рабочих характеристик устройств. Математические модели диодов. Математические модели транзисторов. Математические модели микрополосковых линий передачи. Математические модели неоднородностей . Математические модели элементов с сосредоточенными параметрами. Математическое описание элементов и устройств высокочастотного диапазона. Матричное описание элементов и устройств в сосредоточенном, сосредоточенно-распределенном и распределенном электрическом элементарных базисах. Основные этапы проектирования устройств связи и возможности их автоматизации. Принципы автоматизации проектирования. Системы автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств (САПР РЭС). Виды обеспечения САПР РЭС. Разработка математических моделей активных элементов и устройств. Разработка математических моделей пассивных элементов и устройств. Синтез оптимальных режимов работы активных элементов. Синтез согласующе-корректирующе- | Контрольные работы, РГЗ, разделы1-2                           | Экзамен, вопросы 1-26                     |

|                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                      |                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                             | фильтрующих цепей ВЧ и СВЧ устройств связи в сосредоточенном и распределенном электрических элементных базисах. Реализация согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей в сосредоточенно-геометрическом и геометрическом элементных базисах.                                                                                                                                                                       |                                      |                             |
| ОПК.5 способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных                                                                                                                          | у3. уметь прогнозировать ожидаемые, оценивать, обобщать и интерпретировать полученные результаты            | Автоматизированное проектирование пассивного функционального узла в сосредоточенно-распределенном электрическом и геометрическом элементных базисах с использованием профессиональных программных продуктов. Анализ и синтез функциональных узлов связи ВЧ и СВЧ диапазона. Разработка математических моделей активных элементов и устройств. Разработка математических моделей пассивных элементов и устройств. | Контрольные работы, РГЗ, разделы 1-2 | Экзамен, вопросы 6-17       |
| ОПК.6 способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий | уб. уметь использовать специализированные программные средства при решении профессиональных задач           | Автоматизированное проектирование пассивного функционального узла в сосредоточенно-распределенном электрическом и геометрическом элементных базисах с использованием профессиональных программных продуктов. Матричное описание элементов и устройств в сосредоточенном, сосредоточенно-распределенном и распределенном электрическом элементных базисах.                                                        | РГЗ, разделы 1-2                     | Экзамен, вопросы 1-5, 21-26 |
| ПК.6/ПК готовность выполнять расчет и проектирование деталей, узлов и модулей электронных средств, в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования                             | з13. знать методы автоматизированного моделирования радиоэлектронных средств в различных элементных базисах | Анализ конструкций устройств связи ВЧ и СВЧ диапазона в геометрическом и смешанном элементных базисах. Расчет коэффициентов чувствительности и статистический анализ. Оптимизация рабочих характеристик устройств. Синтез оптимальных режимов работы активных элементов. Синтез согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей ВЧ и СВЧ устройств связи в сосредоточенном и распределенном                           | РГЗ, разделы 1-2                     | Экзамен, вопросы 18-26      |

|  |  |                                                                                                                                                              |  |  |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  | электрических элементных базисах. Реализация согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей в сосредоточенно-геометрическом и геометрическом элементных базисах. |  |  |
|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

## 2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 6 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.5, ОПК.6, ПК.6/ПК.

Экзамен проводится в устной форме по билетам составленным из вопросов, приведенных в паспорте экзамена, позволяющих оценить показатели сформированности соответствующих компетенций. Студенту предлагается ответить на два вопроса из списка, приведенного в паспорте экзамена и решить задачу в рамках одного из изучаемых методов. Ответ оценивается по 40 балльной шкале:

За экзамен выставляется оценка с учетом баллов набранных в течение семестра при выполнении РГЗ, контрольной работы и лабораторных занятий в соответствии с требованиями ECTS.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 6 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ(Р), контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р), контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.5, ОПК.6, ПК.6/ПК, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

### Общая характеристика уровней освоения компетенций.

**Ниже порогового.** Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

**Пороговый.** Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

**Базовый.** Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

**Продвинутый.** Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

## Паспорт экзамена

по дисциплине «Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи»,  
6 семестр

### 1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам, с обязательным составлением кратких ответов на вопросы и решения задачи в письменном виде. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-12, второй вопрос из диапазона вопросов 13-26 (список вопросов приведен ниже), задача выбирается из разделов 1-5 (список разделов приведен ниже). В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

### Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет радиотехники и электроники

Билет № 7

к экзамену по дисциплине «Моделирование и автоматизированное проектирование  
устройств связи»

---

1. Математические модели плёночных и навесных резисторов в МПЛ.
2. Синтез широкополосных согласующих четырёхполюсников.
3. Задача.

Утверждаю: зав. кафедрой КТРС \_\_\_\_\_ доцент Синельников А.В.  
(подпись)

(дата)

### 2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен раскрыть сущность излагаемых вопросов, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет 0-19.5 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может раскрыть сущность излагаемых вопросов, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки,

например,

вычислительные,

оценка составляет 20-29 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, раскрывает сущность излагаемых вопросов, не допускает существенных ошибок при решении задачи, оценка составляет 29.5-34.5 баллов.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы свободно формулирует основные понятия, проводит сравнительный анализ подходов, в полной мере раскрывает сущность излагаемых вопросов, способен представить количественные характеристики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 35-40 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

#### 4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи»

1.  $[\bar{Z}]$ ,  $[\bar{Y}]$ -матрицы. Использование  $[\bar{Z}]$  и  $[\bar{Y}]$ -матриц для нахождения рабочих параметров четырёхполюсников.
2.  $[\bar{A}]$ -матрицы. Использование  $[\bar{A}]$ -матриц для нахождения рабочих параметров четырёхполюсников.
3.  $[\bar{S}]$ -матрицы. Использование  $[\bar{S}]$ -матриц для нахождения рабочих параметров четырёхполюсников.
4. Использование  $[\bar{S}]$ -матриц для анализа каскадного соединения четырёхполюсников.
5. Использование  $[\bar{S}]$ -матриц для автоматического формирования математической модели устройства.
6. Математическая модель одиночной МПЛ, система параметров, режимы работы.
7. Математическая модель связанных МПЛ, система параметров, режимы работы.
8. Математические модели скачка ширины и изгиба под прямым углом МПЛ.
9. Математические модели зазора, Т-образного разветвления и разомкнутого на конце отрезка МПЛ.
10. ММ плёночных и навесных резисторов в МПЛ.
11. ММ плёночных и навесных индуктивностей в МПЛ.
12. ММ плёночных и навесных конденсаторов в МПЛ.
13. ММ  $p - I - n$  диода в МПЛ.
14. ММ идеального варакторного диода с приоткрыванием  $p-n$  перехода.
15. ММ реального варакторного диода с приоткрыванием  $p-n$  перехода.
16. Математические зарядовые модели биполярных и полевых транзисторов в режиме малого сигнала.
17. Математическая зарядовая модель биполярного транзистора в режиме большого сигнала.
18. Синтез оптимальных режимов работы идеальных нелинейных элементов.
19. Синтез оптимальных режимов работы реальных нелинейных элементов.
20. Синтез эквивалентных схем по входам и выходам нелинейных элементов.
21. Синтез широкополосных согласующих четырёхполюсников.
22. Метод точного синтеза широкополосных пассивных устройств в распределённом элементном базисе.

23. Дополняющие 2-х полюсники и их использование при синтезе корректирующих цепей.
24. Реализация согласующе-корректирующе-фильтрующих цепей сосредоточенно-распределённом и распределённом базисе.
25. Учёт неоднородностей СВЧ тракта при проектировании устройств.
26. Анализ чувствительности и допустимых отклонений ВЧ и СВЧ устройств.

5. Разделы, из которых выбираются **задачи к экзамену по дисциплине**  
**«Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи»**

1. Определение математической модели пассивного функционального узла.
2. Определение рабочих характеристик пассивного функционального узла.
3. Определение схемы пассивного функционального узла по известной математической модели.
4. Определение режимов работы активных элементов.
5. Определение рабочих характеристик активного функционального узла.

## Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи»,  
6 семестр

### 1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по темам «Математическое описание элементов и устройств ВЧ и СВЧ диапазона», «Математические модели неоднородностей и элементов с сосредоточенными параметрами» и включает 5 заданий:

Задание 1. Построение математической модели пассивного функционального узла;

Задание 2. Определение рабочих характеристик пассивного функционального узла;

Задание 3. Определение схемы пассивного функционального узла по известной математической модели;

Задание 4. Определение эквивалентной схемы навесного элемента в микрополосковой линии передачи;

Задание 5. Построение математической модели неоднородности в микрополосковой линии передачи.

Контрольная работа выполняется письменно и оценивается 18 баллами.

### 2. Критерии оценки

Контрольная работа оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если выполнено 3 задания из 5 с ошибками и серьезными замечаниями. Оценка составляет 0-8.5 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено 4 задания из 5 с ошибками и серьезными замечаниями. Оценка составляет 9-13 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнено 4 задания из 5 без серьезных замечаний. Оценка составляет 13.5-15.5 баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если все задания выполнены полностью без серьезных замечаний. Оценка составляет 16-18 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

### 4. Пример варианта контрольной работы

Типовые задания для контрольной работы:

Задание 1. Задана схема фильтра, определить его математическую модель в матричной форме;

Задание 2. Задана схема согласующего устройства, определить модуль коэффициента отражения по входу;

Задание 3. Задана математическая модель, определить схему четырехполюсника;

Задание 4. Определить эквивалентную схему безвыводного конденсатора в микрополосковой линии передачи;

Задание 5. Определить математическую модель неоднородности «зазор» в

микрополосковой линии передачи.

## Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Моделирование и автоматизированное проектирование устройств связи»,  
6 семестр

### 1. Методика оценки

В рамках расчетно-графической работы по дисциплине студенты должны спроектировать широкополосный трансформатор активных сопротивлений на четвертьволновых отрезках линии передачи в соответствии с исходными данными.

При выполнении расчетно-графической работы студенты должны провести анализ задания, выбрать и обосновать число секций трансформатора, провести проектирование и моделирование трансформатора в различных элементных базисах, разработать чертеж топологии.

Обязательные структурные части РГР:

исходные данные, синтез и моделирование трансформатора сопротивлений в распределенном электрическом элементном базисе, разработка и моделирование топологии трансформатора сопротивлений в геометрическом элементном базисе, заключение, список использованных литературных источников, приложение (чертеж топологии).

Оцениваемые позиции:

синтез и моделирование трансформатора сопротивлений в распределенном электрическом элементном базисе;

разработка и моделирование топологии трансформатора сопротивлений в геометрическом элементном базисе, заключение;

чертеж топологии.

### 2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГР, отсутствует чертеж топологии, не обоснован выбор материалов, результаты моделирования не соответствуют требованиям задания, оценка составляет 0-8.5 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГР выполнены формально, не обоснован выбор материалов, чертеж топологии содержит ошибки, результаты моделирования не полностью соответствуют требованиям задания, оценка составляет 9-13 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если выполнены все части РГР с небольшими замечаниями, обоснован выбор материалов, чертеж топологии содержит незначительные ошибки, результаты моделирования в основном соответствуют требованиям задания, оценка составляет 13.5-15.5 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если выполнены все части РГР в полном объеме, полностью обоснован выбор материалов, чертеж топологии содержит оригинальное решение, результаты моделирования соответствуют с запасом требованиям задания, оценка составляет 16-18 баллов.

### 3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

#### 4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

Студенты выполняют РГР на одну тему при разных исходных данных.

Необходимые для решения задачи исходные данные выбираются по табл.1 в соответствии с двумя последними цифрами студенческого шифра.

Таблица 1

Исходные данные для вариантов расчетно-графической работы.

| Наименование<br>исходных данных | Цифры студенческого шифра    |      |     |     |      |     |      |      |     |     |
|---------------------------------|------------------------------|------|-----|-----|------|-----|------|------|-----|-----|
|                                 | 0                            | 1    | 2   | 3   | 4    | 5   | 6    | 7    | 8   | 9   |
|                                 | По последней цифре шифра     |      |     |     |      |     |      |      |     |     |
| $R_r$ (Ом)                      | 10                           | 25   | 45  | 40  | 50   | 60  | 75   | 15   | 20  | 12  |
| $R_H$ (Ом)                      | 50                           | 75   | 9   | 8   | 10   | 10  | 15   | 60   | 80  | 60  |
|                                 | По предпоследней цифре шифра |      |     |     |      |     |      |      |     |     |
| $f_H$ (Гц)                      | 0.5                          | 1    | 1   | 0.7 | 1.5  | 1.2 | 0.8  | 0.6  | 0.9 | 2   |
| $f_{\theta}$ (Гц)               | 1.5                          | 2.5  | 2   | 1.9 | 3.5  | 2.8 | 2.2  | 1.8  | 2.3 | 5   |
| $K_{cmU}$                       | 1.35                         | 1.25 | 1.2 | 1.4 | 1.45 | 1.5 | 1.45 | 1.35 | 1.3 | 1.4 |

$R_r$  – внутреннее сопротивление источника сигнала;

$R_H$  – сопротивление нагрузки;

$f_H - f_{\theta}$  - полоса рабочих частот;

$K_{cmU}$  – коэффициент стоячей волны напряжения на входных зажимах трансформатора;

Характеристика затухания – Чебышевская.