

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»**

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ РАДИОСВЯЗИ

**Методические указания
по проведению практических занятий и
организации самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров 210700
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Богомоллов, Сергей Ильич

Расчет элементов и устройств радиосвязи: Методические указания по проведению практических занятий и организации самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. - 28 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов дневной формы обучения, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 210700. Цель пособия – оказать помощь преподавателям и студентам в вопросах проведения практических занятий и организации самостоятельной работы при изучении дисциплины «Расчет элементов и устройств радиосвязи».

© Богомоллов С.И., 2013

© Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра телекоммуникаций и основ радиотехники

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ТОР
_____ А.Я.Демидов
«___» _____ 2013 г.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ РАДИОСВЯЗИ

Методические указания
по проведению практических занятий и
организации самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров 210700
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Разработал:
Доцент каф. ТОР
_____ С.И. Богомолов
_____ 2013 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ.....	5
2	СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ	7
2.1	Разделы и темы практических занятий	7
2.2	Перечень разделов и тем, вынесенных на самостоятельное изучение	7
3	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.....	8
3.1	Основные характеристики векторного анализа цепей	8
3.2	Волновая матрица рассеяния четырёхполюсника и её основные свойства	9
3.3	Измерение S-параметров	9
3.4	Связь S-параметров с классическими параметрами Y, Z, A и H..	10
3.5	Определение входного и выходного сопротивления СВЧ четырёхполюсников	11
3.6	Коэффициент усиления по мощности четырёхполюсников	12
3.7	Определение частотных характеристик СВЧ биполярных и полевых транзисторов.....	13
3.8	Определение параметров элементов эквивалентной схемы биполярных транзисторов	14
3.9	Определение параметров элементов эквивалентной схемы полевых транзисторов.....	14
3.10	Измерение параметров электрических цепей импульсным методом	15
3.11	Измерение частотных и импульсных характеристик электрических цепей импульсным методом	16
3.12	Использование сложных сигналов при анализе цепей	17
3.13	Принцип действия векторного измерителя цепей.....	18
3.14	Определение параметров матрицы рассеяния	19
3.15	Режимы калибровки и измерений векторного анализатора цепей	20
3.16	Динамические характеристики при одночастном входном сигнале	20
3.17	Динамические характеристики при двухчастотном сигнале	21
3.18	Организации стандартизации в связи.....	22
3.19	Нормы, правила, стандарты в области связи	23
4	РЕКОМЕНДАЦИИ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	25
5	ЛИТЕРАТУРА.....	27
5.1	Основная литература	27
5.2	Дополнительная литература.....	27

1 ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения дисциплины «Расчет элементов и устройств радиосвязи» является формирование практических навыков по расчету и проектированию узлов и устройств, входящих в систему радиосвязи, в том числе элементов СВЧ приемо-передающей техники, расширение знаний и навыков, необходимых для профессиональной деятельности.

Согласно учебному плану подготовки бакалавров по направлению 210700 дисциплина «Расчет элементов и устройств радиосвязи» относится к циклу факультативных дисциплин и предназначена для повышения уровня общей профессиональной подготовки студентов.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

освоение методов анализа и расчета линейных и нелинейных устройств;

освоение методов моделирования пассивных и активных элементов узлов радиосвязи;

освоение работы с современными программами автоматизированного проектирования;

приобретение опыта работы с современными измерительными приборами;

изучение основ синтеза фильтров и согласующих цепей.

В результате изучения курса студенты должны:

знать

методы анализа линейных и нелинейных СВЧ устройств;

основы проектирования СВЧ устройств;

основные методы экспериментальных исследований;

уметь

определять частотные и динамические характеристики СВЧ устройств;

измерять параметры СВЧ устройств;

пользоваться современным САПР;

иметь

навыки решения практических задач.

Перечень предшествующих дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения дисциплины «Расчет элементов и устройств радиосвязи»: «Введение в системы радиосвязи и радиодоступа», «Теория электрических цепей», «Математические методы описания сигналов», «Электроника», «Основы радиосвязи».

Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Моделирование элементов и устройств радиосвязи», «Автоматизированное проектирование элементов телекоммуникационных систем».

Практические занятия имеют целью закрепление навыков и умений определения параметров элементов и устройств радиосвязи как на этапе проектирования узлов и систем радиосвязи, так и на этапе изготовления и эксплуатации систем радиосвязи.

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Расчет элементов и устройств радиосвязи» содержит следующие основные составляющие: подготовка к практическим занятиям и изучение разделов курса, вынесенных на самостоятельное изучение. В данном пособии рассмотрены вопросы организации самостоятельной работы при подготовке к практическим занятиям и при изучении разделов дисциплины, вынесенных на самостоятельное изучение, а также самостоятельное изучение нормативной документации.

В качестве основного источника изучения по данной дисциплине следует использовать учебные пособия [1.1, 1.2]. Кроме того, могут быть использованы разнообразные дополнительные материалы, в том числе и приведенные в списке рекомендуемой литературы [2.1-2.5]. Этот список литературы может быть рекомендован также и при подготовке к практическим занятиям, в том числе, и при изучении вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение.

2 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1 Разделы и темы практических занятий

Частотные характеристики СВЧ четырёхполюсников

Основные характеристики векторного анализа цепей

Волновая матрица рассеяния четырёхполюсника и её основные свойства

Измерение S-параметров

Связь S-параметров с классическими параметрами Y, Z, A и H

Определение входного и выходного сопротивления СВЧ четырёхполюс-

ников

Коэффициент усиления по мощности четырёхполюсников

Определение параметров эквивалентной модели СВЧ транзисторов

Определение частотных характеристик СВЧ биполярных и полевых тран-

зисторов

Определение элементов эквивалентной схемы биполярных транзисторов

Определение элементов эквивалентной схемы полевых транзисторов

Основные принципы векторного анализа цепей

Измерение параметров электрических цепей импульсным методом

Измерение частотных и импульсных характеристик электрических цепей

импульсным методом

Использование сложных сигналов при анализе цепей

Принцип действия векторного измерителя цепей

Определение параметров матрицы рассеяния

Режимы калибровки и измерений векторного анализатора цепей

Динамические характеристики радиотехнических устройств

Динамические характеристики при одночастном входном сигнале

Динамические характеристики при двухчастотном сигнале

Нормативные документы в области инфокоммуникаций

Организации стандартизации в связи

Нормы, правила, стандарты в области связи

2.2 Перечень разделов и тем, вынесенных на самостоятельное изучение

Стандарты Российской Федерации

Международные стандарты

Рекомендации МСЭ

3 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

3.1 Основные характеристики векторного анализа цепей

Основные характеристики четырехполюсника, включенного в линию связи, могут быть получены на основании анализа падающей, отраженной и проходящей волны. Основные параметры, полученные в результате испытаний, могут быть сведены в две группы.

В первую группу входят так называемые параметры отражения: коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН), S -параметры (S_{11} и S_{22}), коэффициент отражения (ρ), сопротивление (в общем случае $R + jX$) и проводимость (в общем случае $G + jB$). Вторую группу составляют параметры передачи: коэффициент передачи (коэффициент ослабления) и его амплитудно-частотная и фазочастотная характеристика, S -параметры (S_{12} и S_{21}), групповое время задержки.

Наиболее общая характеристика относительного отражения – это комплексный коэффициент отражения $\Gamma(\omega)$, определяемый как отношение уровня напряжения отраженного сигнала к уровню напряжения падающего сигнала. Модуль этого коэффициента ρ может принимать значения в диапазоне от 0 до 1 (при согласованной нагрузке $\rho = 0$, при коротком замыкании или холостом ходе $\rho = 1$).

Коэффициент отражения определяется сопротивлениями линии Z_0 и нагрузки Z_H

$$\Gamma = \frac{Z_H - Z_0}{Z_H + Z_0} = |\Gamma| \cdot \arg(\Gamma) = \rho \cdot e^{j\varphi}.$$

Используется также логарифмическое представление коэффициента отражения в виде коэффициента обратных потерь R_1 (в децибелах)

$$R_1 = 20 \cdot \lg(\rho).$$

Коэффициент стоячей волны по напряжению КСВН определяется как отношение максимального значения огибающей напряжения к минимальному значению. КСВН может быть определен через модуль коэффициента отражения ρ как

$$КСВН = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho}.$$

Коэффициент стоячей волны по напряжению КСВН может принимать значения в диапазоне от 1 до бесконечности.

S -параметры определяют путем непосредственного измерения падающей, отраженной и проходящей составляющих сигнала на выводах четырехполюсника

Общие сведения о характеристиках четырехполюсника изложены в учебной литературе [1.1, стр. 347...351; 1.2, стр.347...351]. Также представление основных характеристик векторного анализа изложено в учебном пособии [2.2, стр. 8...10]. При изучении материала по этой теме следует уяснить, что предметом анализа являются не процессы, протекающие внутри узла, а токи и напряжения на его зажимах.

3.2 Волновая матрица рассеяния четырёхполюсника и её основные свойства

Методы анализа работы СВЧ устройств базируются на двух фундаментальных понятиях: теория электромагнитного поля и теория электрических цепей. Методы электродинамики, основанные на решении уравнений Максвелла, является довольно сложными, и применяются в устройствах, в которых использованы антенны, волноводы. Для большинства устройств СВЧ диапазона удобнее использовать результаты теории цепей. В частности методы теории цепей позволяют представить такое сложное устройство как СВЧ транзистор в виде эквивалентных моделей, состоящих из резисторов, емкостей, индуктивностей и зависимых источников. Основное назначение моделей транзисторов, которые лежат в основе расчёта, разработки и исследования СВЧ устройств (усилители, смесители, модуляторы и т.д.)-представления исчерпывающей и удобной информации о поведении данных приборов в частотном и динамическом диапазонах.

Непосредственное измерение частотных и динамических параметров транзисторов является очень сложной задачей, сопряжённой с большой погрешностью их определения. Поэтому нахождения параметров эквивалентных схем СВЧ транзисторов используют косвенные методы, основанные на представлении в виде четырёхполюсников.

Широкое применение при расчёте усилительных и линейных устройств, в том числе и СВЧ диапазона, находит теория классических параметров (Z , Y , A и т.д.) [2.1]. Представление активного прибора в виде четырёхполюсника, позволяет достаточно просто, используя известные методы матричного исчисления, находить параметры СВЧ устройств: входное (выходное) сопротивление, номинальный коэффициент усиления, инвариантный коэффициент устойчивости. Достоинством классических матриц является то, что они характеризуют четырёхполюсник независимо от сопротивления нагрузки и генератора, что позволяет находить достаточно простые соотношения.

Однако измерение в СВЧ диапазонах классических параметров, которые определяются в режимах холостого хода и короткого замыкания, практически невозможно из-за возникновения условий самовозбуждения. Поэтому для описания четырёхполюсников используются волновые параметры рассеяния: S -параметры.

Подробное изложение основных положений относительно матрицы рассеяния четырёхполюсника и ее основных свойств изложено в учебном пособии [2.1, стр. 7...10], в данном руководстве отражены лишь основные моменты. При изучении материала по этой теме особое внимание следует обратить на основные соотношения, определяющие поведение матрицы рассеяния для разных типов четырёхполюсников.

3.3 Измерение S -параметров

Для непосредственного измерения S -параметров используются векторные вольтметры, которые позволяют измерять модули и фазы падающих и отражённых волн. Верхний диапазон измеряемых частот современных приборов

достигает 50 ГГц. Однако для решения многих практических задач достаточно проводить измерения S -параметров в диапазоне до нескольких ГГц. Одним из таких приборов является рассматриваемый при работе измеритель S -параметров ADVANTEST R3762, который позволяет измерять параметры рассеяния четырёхполюсников от 300 КГц до 3.6 ГГц.

Краткое техническое описание измерителя S -параметров ADVANTEST R3762 и инструкция по его эксплуатации приведены в пособии [2.1, стр. 10...12]. При изучении материала данного раздела следует ознакомиться как с общими правилами построения измерителей S -параметров, так и конкретно данного прибора. Следует обратить внимание, что основными узлами измерителя являются генератор качающейся частоты (ГКЧ), СВЧ переключатель, направленные ответвители и блок обработки и индикации.

С помощью направленных ответвителей производится отвод падающих и отраженных волн из измерительного тракта и обеспечивается согласование прибора с измерительным трактом. Для исключения влияния длины измерительного тракта приводится калибровка прибора относительно четырёхполюсника в трёх режимах: при коротком замыкании, холостом ходе и согласованной нагрузке.

Подробное изложение основных приемов при экспериментальном определении матрицы рассеяния четырехполюсника с помощью векторных анализаторов изложено в учебном пособии [2.1, стр. 10...12]. Порядок калибровки и проведения измерений с помощью прибора ADVANTEST R3762 приведены в пособии [2.1 стр. 53...63].

3.4 Связь S -параметров с классическими параметрами Y , Z , A и H

Рассмотрим иммитансные параметры четырехполюсника (параметры, связывающие токи и напряжения). Свойства четырехполюсника на одной частоте полностью описываются двумя уравнениями с двумя независимыми переменными. При использовании иммитансных параметров в качестве переменных берут два тока и (входной I_1 и выходной I_2) и два напряжения U_1 и U_2 . (под I и U понимаются комплексные амплитуды, соответственно, токов и напряжений).

В зависимости от того, какие два параметра выбраны независимыми величинами, а какие - зависимыми, можно составить 6 систем совершенно равноправных уравнений, зная параметры в одной системе, можно определить соответствующие параметры в другой системе.

В области умеренно высоких частот чаще всего используют систему Z -параметров и Y -параметров. Y -параметры нередко называют параметрам короткого замыкания, так как для измерения этих параметров необходимо на противоположном конце создать режим короткого замыкания. Например, положив в системе Y -параметров $U_2=0$, получим $Y_{11}=I_1/U_1$.

Соответственно, Z -параметры называют параметрами холостого хода (в отсутствии нагрузки соответствующие токи равны нулю).

В области сверхвысоких частот нереально обеспечить режим короткого замыкания или холостого хода, так как любой короткий проводник будет иметь сопротивление, отличное от нулевого. В то же время разрыв будет иметь ко-

нечную проводимость из-за наличия емкости на конце. Поэтому испытываемый узел, например СВЧ транзистор, включают в специальную линию, у которой известно волновое сопротивление, наиболее часто – это 50 Ом. В этом случае говорят, что измеряют S -параметры в 50-омном тракте.

Используется также система универсальных S -параметров, которая связывает падающие и отраженные волны в произвольном тракте (т.е. при комплексном рассогласовании).

Универсальные параметры не могут быть измерены непосредственно, поэтому такая система параметров относится к расчетным. В расчетных выражениях взяты не напряжения и токи, а их линейные комбинации в связи с тем, что квадрат модуля волны a есть максимальная мощность, отдаваемая генератором в режиме комплексно сопряженного согласования. Если согласования нет, то имеет место отраженная волна с мощностью $|b|$.

Разность между падающей волной и отраженной волной (по определению) есть обменная мощность.

Подробное изложение основных положений относительно взаимного соответствия параметров различных систем приведено в учебном пособии [2.1, стр. 12...16], а также в многочисленных изданиях учебной и научной литературы по теории электрических цепей. В данном руководстве обозначены лишь основные моменты преобразования параметров одной системы в параметры другой системы описания поведения четырехполюсников.

При изучении материала по этой теме следует усвоить основные области использования каждой из систем и уметь самостоятельно выполнять соответствующие преобразования.

3.5 Определение входного и выходного сопротивления СВЧ четырёхполюсников

Теория четырёхполюсников находит широкое применение при расчёте ВЧ и СВЧ усилителей на основе биполярных и полевых транзисторов. Входные (выходные) сопротивления транзисторов, как правило, значительно отличаются от сопротивления подводящего тракта (50 Ом или 75 Ом), поэтому для построения усилителей требуется согласующие цепи. Для определения структуры и расчёта согласующих цепей требуется знать величину и характер входного выходного сопротивлений, которые имеют комплексные значения.

Входное сопротивление четырёхполюсника можно определить через S -параметры для схемы, представленной на рис.1.1 учебного пособия [2.1] Вначале определяют входное сопротивление при условии, что сопротивление генератора Z_G и нагрузки Z_H равны волновому сопротивлению ρ . В этом случае коэффициент отражения S_{11} , можно выразить через входное сопротивление и сопротивление генератора/

Следует отметить, что биполярные транзисторы в ВЧ и СВЧ усилителях, с основным включаются по схеме с общим эмиттером (ОЭ) и с общей базой (ОБ), а полевые с общим истоком (ОИ). В этих схемах входное сопротивление при анализе представляется, как правило, последовательным соединением, а выходное – параллельным.

В общем случае, входные и выходные характеристики сопротивления в значительной мере могут отличаться от сопротивления пятидесятиомного тракта, поэтому для согласования транзистора с генератором и нагрузкой используют согласующие цепи. При расчёте и оптимизации согласующих цепей за счёт наличия обратной связи между входом требуется многократное измерение элементов согласующих цепей, и чем больше влияние сопротивлений нагрузки и генератора, тем большего числа изменений при расчёте (настройке) необходимо произвести.

Подробное изложение материала по определению входного и выходного сопротивлений четырехполюсника приведено в учебном пособии [2.1, стр. 16...23]. Там же приведен пример определения входных и выходных сопротивлений транзистора, а так же оценены коэффициенты настраиваемости по входу и выходу при условии, что транзистор на данной частоте будет иметь комплексно-сопряженное согласование (то есть $Z_{\Gamma} = Z_{\text{ВХ}}^*$ и $Z_{\text{Н}} = Z_{\text{ВЫХ}}^*$). При изучении материала по этой теме особое внимание следует обратить на комплексный характер вычисляемых параметров. Поэтому и при подготовке данных, и при их непосредственной обработке нежно аккуратно выполнять соответствующие преобразования.

3.6 Коэффициент усиления по мощности четырёхполюсников

В СВЧ диапазоне усилительные возможности активных приборов принято характеризовать коэффициентом передачи по мощности, который, в общем случае, определяют как отношение мощности, отдаваемые транзистором в нагрузку к мощности источника сигнала.

При отсутствии согласующих цепей на входе и выходе коэффициент передачи по мощности в пятидесятиомном тракте определяется простым соотношением (квадратом коэффициента прямой передачи матрицы рассеяния). Однако данный коэффициент передачи не отражает усилительные возможности транзистора, которые можно реализовать с помощью согласующих цепей. Повышение коэффициента передачи за счет согласующих цепей оценивается на основе максимального однонаправленного коэффициента передачи $K_{\text{Рmax}}$, учитывающего и другие коэффициенты S -матрицы.

В простейшем случае, при определении $K_{\text{Рmax}}$ считается, что коэффициент передачи в обратном направлении $S_{12} = 0$. Более точное значение максимального коэффициента передачи можно определить с помощью так называемого реализуемого коэффициента передачи по мощности $K_{\text{Рреал}}$, в котором учитывается влияние обратной связи.

Наряду с отмеченными выше коэффициентами передачи при анализе усилительных каскадов используется однонаправленный коэффициент передачи с нейтрализацией обратной связи $K_{\text{Рmaxmax}}$, который является максимально возможным при двухстороннем комплексно-сопряжённом согласовании транзистора. Обязательным требованием для обеспечения комплексно-сопряженного согласования по входу и выходу является условие превышения коэффициентом устойчивости значения, равного единице ($K_{\text{У}} > 1$).

Следует отметить, что в случае $K_V < 1$ невозможно обеспечить двухстороннее согласование, а можно обеспечить согласование либо только со стороны входа, либо только со стороны выхода. При этом, для малошумящих усилителей обычно используется согласование по входу, а для усилителей мощности – по выходу. Расчет коэффициента передачи по мощности в таком случае проводится с учетом реальных проводимостей нагрузки и генератора.

Подробное изложение материала по определению коэффициента усиления по мощности четырехполюсника приведено в учебном пособии [2.1, стр. 23...27]. Там же приведен пример определения коэффициенты передачи по мощности для транзистора 3П603А-2.

3.7 Определение частотных характеристик СВЧ биполярных и полевых транзисторов

На основе теории четырехполюсников можно производить расчёт линейных СВЧ устройств, не вникая во внутреннюю структуру. Однако знание моделей как четырёхполюсников на одной частоте не даёт информацию об их поведении на других частотах.

Чтобы учесть частотные изменения параметров четырёхполюсников, необходимо выполнить большое число измерений S -параметров, на разных частотах. При этом погрешность измерений с ростом частоты значительно возрастает, что требует усложнения и удорожания измерительных комплексов, поэтому перспективным является вопрос создания моделей транзисторов с учётом физических принципов, заложенных в их работе.

Для уточнения моделей транзисторов требуется также проведение экспериментальных измерений S -параметров. В данном разделе рассматриваются вопросы определения характеристик и параметров СВЧ транзисторов с помощью измерения S -параметров.

Частотные потенциальные возможности применения СВЧ транзисторов оцениваются граничной частотой f_T и максимальной частотой генерации f_{MAX} . Граничная частота f_T определяется как частота, на которой модуль коэффициента передачи по току h_{21} равен единице.

Максимальная частота генерации f_{MAX} определяется как наибольшая, на которой способен генерировать транзистор с схеме автогенератора. При этом, f_{MAX} находится из условия равенства входной и выходной мощности транзистора и обычно превышает частоту f_T . Для определения f_T и f_{MAX} используют схему с общим эмиттером (ОЭ), для биполярных транзисторов и с общим истоком (ОИ) для полевых. Коэффициент передачи по току h_{21} определяется через параметры четырёхполюсников.

Производя измерения S -параметров транзистора в широкой полосе частот можно построить частотную зависимость h_{21} с целью определения $f_{h_{21}}$ и f_T . Однако следует отметить, что на высоких частотах возрастает погрешность измерения S -параметров, поэтому для определения f_T и f_{MAX} ограничиваются измерениями S -параметров до нескольких ГГц.

Подробное изложение материала по определению частотных характеристик СВЧ биполярных и полевых транзисторов приведено в учебном пособии

[2.1, стр. 28...33]. Там же приведен пример определения частотных параметров СВЧ биполярного транзистора NE856 и полевого транзистора 3П603, имеющих набор измеренных S -параметров на частоте $f=250\text{МГц}$.

3.8 Определение параметров элементов эквивалентной схемы биполярных транзисторов

Эквивалентные модели транзисторов находят широкое применение при расчёте СВЧ усилителей и преобразовательных устройств. При этом, для многих типов транзисторов отсутствует справочные данные элементов эквивалентных схем или приводятся в неполной мере. Кроме того, в ряде случаев, учитывая разброс параметров, требуется уточнение модели для конкретных транзисторов. В основе модели лежит эквивалентная схема кристалла транзистора, содержащая управляемые источники тока и набор эквивалентных резисторов и конденсаторов, позволяющих описать поведение транзисторов.

Учитывая, что элементы эквивалентной схемы кристалла состоят из резисторов и ёмкостей, их определение целесообразно произвести в относительно низкочастотной области (50-100МГц), так как в этом случае имеющиеся в реальном транзисторе паразитные индуктивности выводов имеют малое сопротивление (ωL и $1/[\omega C]$). Измерение S -параметров в более низком частотном диапазоне приводит к большим погрешностям, во-первых, из-за влияния цепей питания и разделительных конденсаторов, во вторых возрастает относительная погрешность фазовых характеристик.

Подробное изложение материала по определению параметров элементов эквивалентной схемы биполярных транзисторов приведено в учебном пособии [2.1, стр. 33...38]. Там же приведен пример определения параметров элементов эквивалентной схемы биполярных транзисторов.

3.9 Определение параметров элементов эквивалентной схемы полевых транзисторов

В СВЧ диапазоне в основном используются полевые транзисторы с барьером Шоттки (ПТШ). Эквивалентная схема кристалла ПТШ содержит управляемые источники тока и набор эквивалентных резисторов и конденсаторов, соответствующие физической модели транзистора: контактные сопротивления затвора, стока и истока; сопротивление канала ПТШ. В эквивалентной схеме транзистора конденсаторы отражают межэлектродные емкости сток-исток и затвор-сток. Емкость затвор-исток является мерой измерения заряда к приложенному напряжению на затворе. Кроме того, в эквивалентной схеме учитывают время пролёта зарядов через затвор и крутизна зависимого источника.

Подробное изложение материала по определению параметров элементов эквивалентной схемы полевых транзисторов приведено в учебном пособии [2.1, стр. 38...41]. Там же приведены рекомендации по уточнению параметров элементов эквивалентной схемы полевых транзисторов, вызванные неполным соответствием используемой модели.

3.10 Измерение параметров электрических цепей импульсным методом

К настоящему времени для исследования цепей разработан обширный парк измерительных приборов, позволяющих измерять различные параметры цепей: входное сопротивление, коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны (КСВ), амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики.

Общий принцип построения таких приборов заключается в формировании испытательного сигнала и обработке результатов измерений сигнала, поступающего на вход тестируемого устройства, и сигнала, прошедшего через это устройство на его выход. В качестве испытательного сигнала традиционно используется гармоническое колебание, обеспечивающее высокую точность измерений в отдельной точке частотного диапазона. Имеются приборы, способные проводить анализ различных параметров цепей не только в отдельной точке, но и в диапазоне частот. Для формирования широкодиапазонных сигналов используют различные методы, например, в измерителе комплексных коэффициентов передачи P4-37 изменение частоты тестового сигнала обеспечивается с использованием генератора качающейся частоты.

В качестве испытательных сигналов могут быть использованы и другие колебания, имеющие соответствующие спектральные характеристики. В этой связи выглядит перспективным использование коротких импульсов, имеющих приемлемые характеристики в широком диапазоне частот.

Принцип действия установки, использующей импульсный метод измерений, заключается в том, что на первом этапе проводится анализ формы суммы прямого и отраженного импульса для режимов холостого хода (ХХ), согласованной нагрузки ($Z_C = 50 \text{ Ом}$) и для исследуемой нагрузки. Затем с помощью преобразования Фурье определяются спектры этих сигналов и на основании спектральных характеристик сигналов вычисляются искомые параметры цепи, например комплексное входное сопротивление $Z_X(\omega)$.

Частотный диапазон измерения характеристик цепей данным методом определяется неравномерностью спектральных характеристик сигналов. В свою очередь это предъявляет определенные требования длительности импульсов. Так, например, для измерения сопротивления цепи в диапазоне частот от 1 до 15 МГц максимально допустимая длительность импульса не должна превышать 50 нс. Так, при длительности импульса порядка 50 нс спектральная характеристика имеет первый нуль на частоте около 25 МГц.

Для выполнения расчетов требуется провести два калибровочных измерения: в режиме холостого хода и при согласованной нагрузке. Эти измерения нужны для определения внутреннего сопротивления импульсного генератора. При отключенной нагрузке $Z_X(\omega)$ напряжение в точке анализа будет равно напряжению холостого хода $U_{XX}(\omega)$ генератора. При подключении согласованной нагрузки $Z_X = Z_C = 50 \text{ Ом}$ получим напряжение на согласованной нагрузке $U_C(\omega)$.

Подробное изложение материала по измерению параметров электрических цепей импульсным методом приведено в учебно-методическом пособии

[2.2, стр. 10...13]. Там же рассмотрены достоинства и ограничения, присущие данному методу.

При изучении материала по этой теме следует обратить внимание на то, что данному методу присуща частотная зависимость погрешности измерений, обусловленная неравномерностью спектральной характеристики тестового сигнала. В конечном итоге это накладывает определенные требования на выбор формы и длительности тестового сигнала.

3.11 Измерение частотных и импульсных характеристик электрических цепей импульсным методом

Для комплексного анализа характеристик электрических цепей на современном этапе используются многофункциональные устройства, позволяющие измерять входное сопротивление, коэффициент стоячей волны (КСВ), амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазочастотные характеристики (ФЧХ), например, такие, как измеритель комплексных коэффициентов передач Р4-37. В подобных устройствах для формирования тестового сигнала используют гармонические колебания, частота которых качается в определенном диапазоне частот.

Известны также методы измерения параметров цепей на основе использования импульсного воздействия. Однако обеспечение равномерной спектральной плотности тестового сигнала и плоской амплитудно-частотной характеристики измерительной установки встречает затруднения в области высоких частот. В конечном итоге это приводит к увеличению погрешности измерений на высоких частотах.

Данный метод измерений предполагает измерение параметров сигналов в двух точках линии. Информация об известных параметрах опорного четырехполюсника используется для вычисления характеристик исследуемого устройства. Одним из источников погрешности измерений классическим методом являются эффект отражения от неоднородностей в линии передачи, в частности, в точках подключения кабеля, подводящего энергию тестового сигнала от генератора. Использование импульсного тестового сигнала позволяет упростить решение этой проблемы. С увеличением длины подводящей линии возрастает время распространения сигнала, что позволяет линию связи на эквивалентной схеме полагать элементом фиксированной задержки.

В то же время можно отметить и некоторые недостатки частотных характеристик исследуемых узлов. В области низких частот (в диапазоне от 15 до 80 МГц) коэффициент передачи у согласованной цепи стал более неравномерным, чем у несогласованной цепи. В то же в окрестности частоты порядка 180 МГц появился горб. Эти явления обусловлены конечной величиной добротности LC звеньев, что приводит к необходимости поиска компромиссного варианта.

Подробное изложение материала по измерению параметров электрических цепей импульсным методом приведено в учебно-методическом пособии [2.2, стр. 13...16].

При изучении материала по этой теме следует обратить внимание на возможности и ограничения, присущие данному методу.

3.12 Использование сложных сигналов при анализе цепей

Анализ характеристик цепей путем измерения параметров во временной области получил широкое распространение при построении устройств, предназначенных для решения задач рефлектометрии, диагностики проводных и оптоволоконных каналов связи и т.п. К основным параметрам таких устройств относятся частотный диапазон, динамический диапазон, разрешающая способность измерений, а также разрешающая способность измерения по дальности и максимальная дальность обнаружения неоднородности.

Два последних параметра имеют большое значение в задачах обнаружения положения неоднородности в проводном канале связи. Для уменьшения погрешности измерений данных параметров повышают чувствительность прибора либо увеличивают энергетику зондирующего сигнала. В «классической» рефлектометрии используют импульсы прямоугольной, колоколообразной или иной формы, база которых близка к единице (под базой сигнала понимают произведение эффективной длительности на эффективную ширину его спектра). Увеличение энергетики таких сигналов решается зачастую путем увеличения их длительности, что в свою очередь приводит к потере разрешающей способности по дальности. Для простых сигналов, база которых близка к единице, эти параметры связаны однозначно и не допускают одновременного повышения чувствительности и разрешающей способности измерений. Сложные сигналы при большой длительности имеют широкий спектр и соответствующей обработкой позволяют добиться сжатия во временной области. В конечном итоге это позволяет повысить как чувствительность измерений, так и разрешающую способность.

В число вопросов проектирования векторного импульсного измерителя характеристик цепей Р4-И-01 [2.4] входили задачи как формирования тестового сигнала, удовлетворяющего заданным требованиям, так и обработки откликов этого сигнала на выводах исследуемых цепей. Для решения этих задач использованы приемы синтеза сверхширокополосных зондирующих сигналов, а также их последующей оптимальной обработки. К тестовому сигналу, помимо обеспечения относительно большой длительности сигнала при ограниченной ширине спектра, были предъявлены два противоречивых требования: большая ширина основного лепестка спектра по уровню -3 дБ при малых уровнях боковых лепестков сигнала [265].

В конечном итоге, задача синтеза сигнала была разделена на две:

- 1) синтез цифрового фильтра нижних частот с заданной полосой пропускания и ограниченным уровнем боковых лепестков импульсной характеристики;
- 2) формирование закона фазовой манипуляции сигнала и решение задачи согласованной фильтрации (сжатия) сигнала.

Задача синтеза цифрового фильтра с заданным характером амплитудно-частотной и импульсной характеристик является классической задачей цифровой обработки сигналов и решена с использованием аппарата весовых (оконных) функций.

Основными параметрами синтеза фильтра стали: нормированная ширина полосы пропускания не менее 0,33 и уровень боковых лепестков импульсной характеристики относительно максимума менее 30 дБ.

Подробное изложение материала по использованию сложных сигналов при анализе цепей приведено в учебно-методическом пособии [2.2, стр. 16...20]. Показано, что увеличение длительности сложного сигнала при неизменности его спектральной характеристики позволяет получить пропорциональное увеличение энергетики измерений характеристик этого сигнала. В конечном итоге изложенная методика синтеза и обработки сигнала позволяет улучшить технические характеристики прибора, реализующего метод измерения цепей во временной области

3.13 Принцип действия векторного измерителя цепей

В измерительной технике в настоящее время доминирует направление, основанное на измерении характеристик устройств в частотной области с помощью векторных анализаторов цепей. Принцип действия таких измерителей частотных характеристик основан на воздействии на объект измерения квазигармоническим сигналом с постоянной амплитудой и линейно меняющейся частотой, разделении отраженной и падающей составляющих волн, переносе сигналов на промежуточную частоту с учетом фазы, оцифровке сигнала на промежуточной частоте и вычислении частотных характеристик измеряемого устройства.

В многофункциональных устройствах, кроме того, существуют так называемые программные опции приборов, которые позволяют осуществить измерения характеристик устройств в частотной области с последующим вычислением отклика во временной области. В действительности характер зондирующего сигнала в таких приборах остается квазигармоническим, изменяется лишь обработка, позволяющая отобразить соответствующие характеристики цепей во временной области в привычном для пользователя виде. Такая постановка имеет право на существование, однако, остается справедливой только для линейных и стационарных цепей.

Альтернативой частотному методу является временной (временнo-импульснoй) метод измерения. Данный метод основан на воздействии на исследуемый объект одним или несколькими сверхширокополосными импульсными тестовыми сигналами и анализе откликов объекта на тестовый сигнал (сигналы). Так как спектр тестового сигнала занимает весь исследуемый диапазон, то характеристики объекта во всем диапазоне частот измеряются одновременно.

В качестве преимущества импульсного метода следует отметить также тот факт, что наряду с частотными характеристиками измеряются временные характеристики устройства, которые несут дополнительную информацию о структуре объекта измерения. Форма тестового сигнала может варьироваться в широких пределах, поэтому измеренные характеристики максимально приближенно отражают реальные характеристики устройства в заданном режиме измерения (работы).

Подробное изложение материала по назначению и функциональным возможностям прибора, принципу действия измерителя и его структурная схема приведено в учебно-методическом пособии [2.2, стр. 21...24]. Показано, что для разделения падающих и отраженных волн на входе четырехполюсника при импульсном методе измерения достаточно задержать отраженный от входа четырехполюсника сигнал относительно зондирующего. Также показано, что увеличение длительности сложного сигнала при неизменности его спектральной характеристики позволяет получить пропорциональное увеличение энергетики измерений характеристик этого сигнала. В конечном итоге изложенная методика синтеза и обработки сигнала позволяет улучшить технические характеристики прибора, реализующего метод измерения цепей во временной области.

3.14 Определение параметров матрицы рассеяния

Спектральный состав измеренных сигналов несет в себе информацию, в том числе, и о частотных характеристиках измеряемого четырехполюсника. Для данных спектральных характеристик сигналов были получены соотношения для вычисления комплексных коэффициентов отражения и передачи измеряемого четырехполюсника [2.5].

Так как включение первого измерительного канала на вход измерительного тракта приводит к рассогласованию в точке подключения, спектр сигнала, попадающего на первый канал АЦП, является результатом интерференции падающей волны и волны, отраженной от точки подключения четырехполюсника. Падающая волна на входе исследуемого четырехполюсника связана с падающей волной в точке подключения измерителя 1-го канала соотношением, учитывающим коэффициент прямой передачи части тракта от точки подключения АЦП до точки подключения исследуемого четырехполюсника (измерительного тракта в прямом направлении).

В точке подключения четырехполюсника падающая волна связана с полным сигналом в этой точке соотношением, учитывающим коэффициент отражения четырехполюсника. Более полное соотношение учитывает коэффициент обратной передачи части тракта от точки подключения АЦП первого канала до точки подключения исследуемого четырехполюсника (измерительного тракта в обратном направлении передачи), а также коэффициент отражения, вызванный неоднородностью тракта при подключении четырехполюсника (при прямом направлении передачи).

Таким образом, имея сведения о характеристиках измерительного тракта, становится возможным по результатам одного импульсного воздействия определить входные и проходные частотные характеристики измеряемого четырехполюсника.

Обратим внимание, в данном устройстве коэффициент прямой передачи вычисляется по другому выражению, учитывающему коэффициент отражения четырехполюсника по выходу.

Подробное изложение материала по определению параметров матрицы рассеяния приведено в учебно-методическом пособии [2.2, стр. 24...27]. Там же отмечена неточность приводимого в работе [2.5] соотношения между падаю-

щей волной и полным сигналом, которое справедливо лишь в точке отражения и не может быть перенесено на произвольную точку тракта без соответствующей коррекции. В действительности соотношение между падающей и отраженной волной в точке подключения АЦП определяется еще и потерями части тракта от измерителя до точки отражения. Это привело к ошибочной формуле для определения параметра S_{11} матрицы.

3.15 Режимы калибровки и измерений векторного анализатора цепей

Измерительный тракт может быть представлен в виде двух частей, обеспечивающих подключение входной и выходной цепей измеряемого четырехполюсника к собственно, измерителю характеристик. Характеристики измерительного тракта могут быть известны априорно, или учтены в процессе калибровки.

Для учета параметров частей измерительного тракта в режиме измерения проходной характеристики требуется произвести калибровку на проход при последовательном соединении обеих частей измерительного тракта и измерении зондирующего импульса на входе измерительного тракта и импульса, прошедшего в канал 2. Фактически, в этом режиме исследуемый четырехполюсник исключен, и контролируются параметры только измерительной цепи.

Для измерения входной характеристики четырехполюсника требуется произвести калибровку на отражение, создав на втором конце измерительного части тракта, подключенной к входу четырехполюсника, условие для полного отражения сигнала – холостой ход или короткое замыкание. В результате соответствующих измерений может быть определен калибровочный коэффициент на отражение на конце промежуточного измерительного тракта.

По результатам калибровочных испытаний получают поправочные коэффициенты, которые позволяют уточнить выражения для определения частотных характеристик с помощью подобного измерителя характеристик.

Подробное изложение материала по определению параметров матрицы рассеяния приведено в учебно-методическом пособии [2.2, стр. 27...30]. Там же приведены некоторые результаты экспериментальных исследований цепей с помощью векторного анализатора.

3.16 Динамические характеристики при одночастном входном сигнале

Радиотехнические устройства, содержащие полупроводниковые компоненты, являются нелинейными и их параметры зависят от уровня входного воздействия. Проявление нелинейных свойств проявляется, в первую очередь, в возникновении в спектре выходного сигнала новых спектральных составляющих, которые приводят к искажению приёма и передачи информации. Критерием проявления нелинейных свойств для усилителей и смесителей является динамический диапазон, который определяется как отношение максимальной входной мощности приёмного тракта к минимальной.

Определение динамического диапазона напрямую связано с измерениями нелинейных искажений радиотехнических устройств, из которых строится приёмный тракт. Экспериментальное определение нелинейных искажений производится с помощью анализатора спектра ADVANTEST R3273. Данный анализатор спектра позволяет производить измерения нелинейных искажений от 100 Гц до 26 ГГц в широком динамическом диапазоне (более 100 дБ).

При определении нелинейных искажений усилительных и преобразовательных устройств в качестве тестируемого сигнала в основном используется, одно- и двухчастотный гармонический сигнал. Следует отметить, что расчёт и анализ нелинейных устройств является сложной задачей, которая, во многих случаях, решается с помощью специализированных программ. Одним из таких пакетов является Microwave Office (MWO), предназначенный для проектирования СВЧ устройств.

В общем случае, передаточная функция нелинейного устройства, связывающая входное и выходное напряжения может быть аппроксимирована степенным полиномом. Если входное воздействие является гармоническим, то обычно его называют одночастотным сигналом. По мере роста уровня входного сигнала возрастают и гармоники, поэтому для оценки допустимого уровня гармоник необходимо произвести измерение зависимости выходного сигнала от измерения мощности входного воздействия, с помощью анализатора спектра.

Однако следует отметить, что критерий нелинейных искажений по определению гармоник используется только в широкополосных усилителях, полоса которых превышает октаву. Для более узкополосных усилителей подавление гармоник производится с помощью фильтров. Поэтому более распространённым критерием НИ при одночастотном сигнале является определение сжатия (уменьшения) коэффициента передачи по мощности для основной частоты. При этом усилитель считается линейным, если сжатие коэффициента передачи равняется 1 дБ по сравнению с малосигнальным коэффициентом передачи.

Подробное изложение материала по определению динамических характеристик четырехполюсников одночастотным методом приведено в учебно-методическом пособии [2.1, стр. 41...46]. Там же приведен пример оценки нелинейных искажений одночастотным методом.

Основные характеристики и инструкция по эксплуатации анализатора спектра ADVANTEST R3273 приведены в [2.1, стр. 60...63].

3.17 Динамические характеристики при двухчастотном сигнале

При двухчастотном входном сигнале к входу устройства прикладывается сигнал, состоящий из двух гармонических сигналов.

При двухчастотном воздействии в спектре выходного сигнала, кроме гармоник, возникают интермодуляционные составляющие 2-ого и 3-его порядков. При одинаковых амплитудах гармоник входных колебаний спектр выходного сигнала имеет определенную конфигурацию на оси частот.

Из многообразия спектральных составляющих, возникающих в нелинейных цепях, наиболее опасным видом нелинейных искажений являются интермодуляционные искажения (ИМИ) 3-его порядка с частотами $2f_2 - f_1$ и $2f_1 - f_2$,

которые попадают в спектр первых гармоник. От данного вида нелинейных искажений нельзя отстроиться с помощью избирательных цепей (фильтров), поэтому оценка динамического диапазона приемно-усилительных устройств по критерию ИМИ 3-его порядка является самой важной характеристикой, особенно в системах связи.

Для оценки уровня интермодуляционных искажений и динамического диапазона широко используется так называемая точка IP_3 , которая определяется путём экстраполяции зависимостей выходной мощности основной (первой) гармоники и комбинационной составляющей с частотой $2f_2 - f_1$ и $2f_1 - f_2$.

В логарифмическом масштабе до определённого уровня входного сигнала основные частоты (f_1 и f_2) выходного сигнала изменяются со скоростью 1 дБ на 1 дБ входного воздействия, а ИМИ 3-его порядка со скоростью 3 дБ, что позволяет экстраполировать данную зависимость. При значительных нелинейных режимах работы данные зависимости переходят в насыщение и отклоняются от линейных характеристик. Поэтому данная точка IP_3 является условной, соответствующая равенству мощности интермодуляционных искажений с мощностью первой гармоники, то есть практически эта точка в реальных устройствах никогда не достигается.

Подробное изложение материала по определению динамических характеристик четырехполюсников двухчастотным методом приведено в учебно-методическом пособии [2.1, стр. 47...52]. Там же приведен пример оценки нелинейных искажений одночастотным методом.

3.18 Организации стандартизации в связи

Роль стандартизации в области телекоммуникаций трудно переоценить. Производители оборудования, которое соответствует действующим стандартам, имеют широкий рынок сбыта. Это стимулирует развитие высоких технологий и способствует снижению затрат при производстве продукции. Кроме того, оборудование различных производителей, выполненное по единым стандартам, позволяет организовать связь, в том числе, и международную. Разработкой общих правил, направленных на совместное использование оборудования, и занимаются органы стандартизации.

По диапазону охвата различают стандарты международные, национальные и фирменные. Стандарты различного уровня разрабатывают организации, объединяющие интересы как производителей, так и потребителей. В процессе подготовки стандарта обеспечивается всестороннее его обсуждение и учет мнений всех заинтересованных сторон.

Из международных организаций стандартизации наибольшее значение в области связи имеют следующие: Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization – ISO), Международный союз электросвязи (International Telecommunication Union – ITU).

В Европе вопросами стандартизации в области связи занимаются следующие организации: Европейский институт стандартизации в области телекоммуникаций (European Telecommunications Standards Institute – ETSI), Евро-

пейская конференция почтовых и телекоммуникационных ведомств (Conference of European Post and Telecommunications CEPT)

Значительную роль в развитие средств связи вносит неправительственная организация – институт инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE).

Из национальных организаций, внесших наиболее существенный вклад в развитие средств связи и занимающихся проблемами стандартизации в этой области, следует отметить такие организации: Американский институт национальных стандартов (American National Standards Institute – ANSI), Ассоциация телекоммуникационной промышленности (Telecommunication Industrial Association – TIA), Ассоциация электронной промышленности (Electric Industrial Association – EIA).

В Российской Федерации национальные стандарты во всех областях деятельности разрабатывает Государственный Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации (Госкомстандарт). Работы, связанные с подготовкой стандартов в области связи и контроль их исполнения, осуществляют подразделения министерства связи: департаменты и соответствующие комиссии.

Подробное изложение материала по определению динамических характеристик четырехполюсников двухчастотным методом приведено в учебно-методическом пособии [2.3, стр. 140...142].

3.19 Нормы, правила, стандарты в области связи

Разрабатываемые проекты и эксплуатируемые системы в области инфокоммуникаций должны соответствовать многочисленным требованиям, определенным разнообразной нормативной документацией. В этот перечень входят действующие государственные нормы, правила и стандарты, определяющие технические и организационные аспекты осуществления деятельности организаций, предприятий и объектов отрасли «Связь» по вопросам строительства объектов и сооружений связи, эксплуатации объектов (сооружений) связи, предоставления отдельных видов услуг связи, надзора за связью и информатизацией и др.

При строительстве сооружений связи дополнительно должны быть соблюдены и масса норм и правил Госстроя России, строительные нормы и правила (СНиП), ведомственные нормы технологического проектирования (ВНТП), общестроительные нормы (ОСТН), руководящие документы (РД), правила технической эксплуатации, взрыво- и пожаробезопасности, техники безопасности, и требования экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм.

Примеры норм, правил, стандартов:

ГОСТ Р ИСО/МЭК 27033-1-2011 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Безопасность сетей. Часть 1. Обзор и концепции.

ОСТ 45.155-2001 Аппараты телефонные цифровые. Параметры передачи. Методика измерений.

РД 45.386-2003 Спецификации прикладного протокола интеллектуальной сети для единой сети связи России (INAP-R).

Правовое регулирование в области связи содержат документацию, касающуюся осуществления специализированных видов деятельности предприятий связи (нормативные акты органов государственной власти, федеральных министерств и ведомств (Минсвязь РФ, Главгоссвязьнадзор, ФАПСИ и др.)).

Примеры нормативно-правовых документов:

Приказ ФСТ России от 18.05.2012 N 112-с/1 «Об утверждении тарифов на услуги общедоступной электросвязи для целей эфирного аналогового телевизионного и радиовещания, оказываемые ОАО „Ростелеком“ оператору связи, осуществляющему трансляцию».

Распоряжение Правительства РФ от 05.05.2012 N 722-р «Об обеспечении подвижной радиотелефонной связью автомобильных дорог федерального значения».

Приказ Минкомсвязи России от 21.03.2012 N 91 «О внесении изменений в Регламент Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, утвержденный приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 3 ноября 2009 года N 139».

При подготовке к данному занятию рекомендуется использовать документацию справочно-библиографического отдела библиотеки и ресурсы интернета.

4 РЕКОМЕНДАЦИИ К ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Федеральный государственный образовательный стандарт определил, что выпускник по направлению подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» с квалификацией (степенью) «бакалавр» в соответствии с задачами профессиональной деятельности и целями основной образовательной программы должен обладать определенным набором общекультурных (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций. Причем ряд этих компетенций ориентирован на самостоятельное развитие профессионального и общекультурного уровня:

стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства (ОК-5);

владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-12);

иметь навыки самостоятельной работы на компьютере и в компьютерных сетях; быть способным к компьютерному моделированию устройств, систем и процессов с использованием универсальных пакетов прикладных компьютерных программ (ПК-2);

способностью использовать нормативную и правовую документацию, характерную для области инфокоммуникационных технологий и систем связи (законы РФ, технические регламенты, международные и национальные стандарты, рекомендации МСЭ, стандарты связи, протоколы, терминологию, нормы ЕСКД и т.д., а также документацию по системам качества работы предприятий) (ПК-3);

знать метрологические принципы и владеет навыками инструментальных измерений, используемых в области инфокоммуникационных технологий и систем связи (ПК-4);

готовностью к созданию условий для развития российской инфраструктуры связи, обеспечения ее интеграции с международными сетями связи; готовностью содействовать внедрению перспективных технологий и стандартов (ПК-6);

способностью осуществить приемку и освоение вводимого оборудования в соответствии с действующими нормативами; уметь организовать рабочие места, их техническое оснащение, размещение сооружений, средств и оборудования связи (ПК-7).

При изучении данной дисциплины, так же как и при изучении других дисциплин данного направления подготовки значительный ресурс трудоемкости ориентирован на самостоятельную работу студентов. В данном разделе указаны основные направления самостоятельной работы студентов, используемые при изучении данной дисциплины.

При подготовке к практическим занятиям рекомендуется использовать соответствующие материалы, указанные в перечне литературы. Приветствуется

использование дополнительных источников. Особое внимание следует обратить на вопросы, перечисленные во вводной части каждого практического занятия.

Изучение теоретического материала целесообразно сопровождать знакомством с многочисленной справочной и нормативной документацией: протоколами, рекомендациями и стандартами. Следует иметь в виду, что значительная доля свежей информации по данной тематике может быть представлена на иностранных языках. В соответствии с Государственным образовательным стандартом специалист должен использовать для работы и зарубежные источники информации.

При подготовке к практическим занятиям и в процессе самостоятельного изучения материала рекомендуется использовать документацию справочно-библиографического отдела библиотеки и ресурсы интернета.

5 ЛИТЕРАТУРА

5.1 Основная литература

- 1.1. Попов В.П. Основы теории цепей.- М.: Высш.шк.,2005.-574с.
- 1.2. Атабеков Г.И. Основы теории цепей.- СПб.: Лань,2006.-432с.

5.2 Дополнительная литература

2.1 Дмитриев В.Д. Определение частотных и динамических характеристик ВЧ и СВЧ устройств: Учебно-методическое пособие по дисциплине группового проектного обучения (ГПО). – Томск: ТУСУР, 2007, 65 с.

2.2. Богомоллов С.И. Векторный измеритель Р4-И-01:Методические указания по работе с векторным измерителем Р4-И-01 по технологии группового проектного обучения для студентов радиотехнического факультета, Томск: ТУСУР, 2007, 31 с.

2.3. Богомоллов С. И. Введение в специальность «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2010. 163 с.

2.4. Векторный импульсный измеритель цепей Р4-И-01. Руководство по эксплуатации. Томск. 2006, 65 с.

2.5. Цифровой измерительный комплекс для измерения частотных и импульсных характеристик четырехполюсников/ А. Г. Лоцилов, Э. В. Семенов, Н. Д. Малютин //Известия Томского политехнического университета. - 2006. - Т. 309. № 8.. - С.37-41: ил..

Учебно-методическое пособие

Богомолов С.И.

Расчет элементов и устройств радиосвязи

Методические указания
по проведению практических занятий и
организации самостоятельной работы студентов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров 210700
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Усл. печ. л. _____ Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40