

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра метрологии и стандартизации

## ***ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ***

Рабочая программа, методические указания  
и контрольные задания  
для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»  
заочной формы обучения

Минск 2008

УДК 621.317  
ББК 32.842  
И 37

С о с т а в и т е л и:

А. П. Белошицкий, С. В. Ляльков, О. И. Минченко

**Измерения** в телекоммуникациях : рабочая программа, метод. указания и контрольные задания для студ. спец. I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций» заоч. формы обуч. / сост. А. П. Белошицкий, С. В. Ляльков, О. И. Минченко. – Минск : БГУИР, 2008. – 23 с.

Приведена рабочая программа дисциплины, даны методические указания по ее изучению, представлены варианты контрольных заданий.

**УДК 621.317**  
**ББК 32.842**

© Белошицкий А. П. Ляльков С. В.,  
Минченко О. И., составление, 2008  
© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2008

## ВВЕДЕНИЕ

Значение дисциплины «Измерения в телекоммуникациях» (ИвТК) при подготовке инженеров по телекоммуникациям непрерывно возрастает в соответствии с возрастанием роли различных систем телекоммуникаций во всех сферах деятельности государства и повседневной жизни людей. Исходя из этого необходимо более эффективно использовать новейшие достижения науки и техники для обеспечения полного удовлетворения потребности предприятий, организаций и населения в услугах связи, развитии единой автоматизированной сети связи. Дисциплина ИвТК обеспечивает базовую подготовку инженеров по телекоммуникациям в области метрологии и измерений в ТК, которая должна быть востребованной во время всего периода обучения.

Целью изучения данной дисциплины является приобретение студентами знаний и навыков в области метрологии, радиоизмерений и специальных измерений в отрасли телекоммуникаций, а также умение практически применять полученные знания для повышения качественных показателей продукции телекоммуникаций.

Основные задачи изучения настоящей дисциплины определяются квалификационной характеристикой и требованиями к подготовке инженеров по телекоммуникациям, вытекающими из ее роли в системе непрерывной подготовки специалиста.

В результате изучения дисциплины студенты должны

**ЗНАТЬ:**

- основные принципы, методы и средства измерений электрических величин в широком диапазоне частот и широких пределах значений измеряемых величин, а также специальные методы измерений в технике телекоммуникаций;

- основы метрологического обеспечения разработки, производства, эксплуатации и качества сетей, устройств и систем телекоммуникаций;

- конкретные типы современных отечественных электро- и радиоизмерительных приборов, установок и систем общего и специального назначения.

**УМЕТЬ:**

- технически и метрологически правильно выбирать метод измерения и измерительную аппаратуру;

- метрологически правильно выполнять измерения, оценивать полученную точность и оформлять результаты измерений в соответствии с действующими стандартами;

- осуществлять контроль и диагностику параметров аппаратуры систем и сетей телекоммуникаций, показателей их качества, устанавливать их соответствие действующим нормам;

- эксплуатировать современную электро- и радиоизмерительную аппаратуру в процессе разработки, производства и эксплуатации сетей, устройств и систем телекоммуникаций.

## ИМЕТЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ:

- о международных организациях по метрологии и их деятельности;
- об эталонах единиц электрических величин, о государственной системе обеспечения единства электрорадиоизмерений и измерений в системах телекоммуникаций, а также качества продукции;
- об электро-, радио- и телекоммуникационной аппаратуре пятого поколения, разрабатываемой в настоящее время на основе достижений современной электроники и вычислительной техники.

### **Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины**

Дисциплина ИвТК методически тесно связана с другими дисциплинами специальности I-45 01 03.

Материал программы дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении следующих дисциплин: высшая математика; физика; теория вероятности и математическая статистика; основы теории электрических цепей; электронные приборы и устройства; метрология, стандартизация и сертификация; теория электросвязи; цифровые и микропроцессорные устройства; функциональные устройства телекоммуникаций; направляющие системы телекоммуникаций.

С другой стороны, знания, полученные при изучении данной дисциплины, должны эффективно использоваться студентами и наращиваться при изучении специальных и профилирующих дисциплин, при курсовом и дипломном проектировании.

В соответствии с учебным планом дисциплины предусмотрено 6 часов лекционных занятий, 2 часа практических занятий, выполнение контрольного задания, лабораторных работ общим объемом 8 часов, выполняемых в экзаменационную сессию.

Изучение дисциплины завершается сдачей экзамена, к которому студенты допускаются только при условии успешного выполнения контрольного задания, двух четырехчасовых лабораторных работ и их защиты. На экзамене кроме вопросов по программе могут быть заданы вопросы по методике решения задач контрольного задания.

Основной формой изучения дисциплины является самостоятельная работа с рекомендованной литературой. Материал дисциплины следует изучать по темам в порядке, установленном в данной рабочей программе. При этом рекомендуется руководствоваться методическими указаниями к изучаемой теме, а также следующей, общей для большинства тем методикой: вначале прорабатывается теоретический материал по указанной в конце каждой темы литературе, уделяется основное внимание сущности изучаемого вопроса и методике вывода искомых математических выражений; затем следует изучить обобщенную структурную схему измерительных приборов, связав назначение и особенности всех основных элементов с полученными математическими

выражениями, и наконец, надлежит изучить конкретные виды измерительных приборов и устройство их основных функциональных узлов. Особое внимание необходимо уделить определению основной погрешности изучаемых приборов и ее составляющим, влиянию на величину основной погрешности параметров функциональных узлов, входящих в состав измерительного прибора, а также возможным путям уменьшения указанной погрешности.

Не рекомендуется приступать к изучению новой темы до полного усвоения предыдущих тем. Качество изучения материала следует контролировать путем ответов на вопросы для самопроверки, помещенные в конце каждой темы. При затруднениях в ответах необходимо повторно проработать соответствующий материал. После проработки темы следует решить соответствующие задачи контрольного задания.

Изучение материала рекомендуется сопровождать составлением краткого конспекта, фиксируя в нем основные сведения по указанной теме. Записи в конспект целесообразно делать только после того, как материал изучен и полностью понят. В конспект можно помещать вопросы для самопроверки и краткие ответы на них. Составление полноценного конспекта способствует качественному усвоению дисциплины, а его наличие позволяет в краткий срок восстановить в памяти основные положения и вопросы дисциплины, не прибегая к помощи учебников.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Метрология и электроизмерения в телекоммуникационных системах : учебник для вузов / Р. С. Сигов [и др.]; под ред. В. И. Нефедова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2005.
- 2 Метрология и электроизмерения в телекоммуникационных системах : учебник для вузов / В. И. Нефедов [и др.]; под ред. В. И. Нефедова. – М. : Высш. шк., 2001.
- 3 Бакланов, И. Г. Технологии измерений в современных телекоммуникациях / И. Г. Бакланов. – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998.
- 4 Метрология, стандартизация и измерения в технике связи : учеб. пособие для вузов / под ред. Б. П. Хромого. – М. : Радио и связь, 1986.
- 5 Мейзда, Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений / Ф. Мейзда. – М. : Мир, 1990.
- 6 Елизаров, А. С. Электрорадиоизмерения : учебник для вузов / А. С. Елизаров. – Минск : Высш. шк., 1986.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЕ ИЗУЧЕНИЮ

## Раздел 1 ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СЕТЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

### Тема 1.1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗМЕРЕНИЙ В СЕТЯХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Общие сведения, цели и задачи измерений в сетях телекоммуникаций. Основные измеряемые параметры и характеристики сетей и систем ТК и их компонентов. Классификация измерительных технологий в современных ТК. [3, с. 4–10; 4, с. 297–298, 343–356].

#### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо уяснить цели и задачи измерений в сетях ТК, их назначение и необходимость, обратить внимание на многообразие проводимых измерений и контролируемых параметров. Особое внимание следует обратить на эксплуатационные измерения различных элементов, устройств и в целом сетей и систем ТК.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Назовите основные цели измерений в сетях ТК. 2 Какие требования предъявляются к сигналам и трактам сетей ТК? 3 Какие параметры характеризуют каналы и тракты сетей ТК? 4 Когда и с какой целью проводят измерения параметров и характеристик сетей и систем ТК? 5 Какие параметры нормируются в канале тональной частоты? 6 Какие контрольные измерения проводят в сетях ТК? 7 Дайте характеристику оперативных измерений.

### Тема 1.2 АНАЛИЗ СИГНАЛОВ

Анализ спектра сигналов. Общие сведения и краткая характеристика методов и способов анализа спектра. Фильтровые и цифровые анализаторы спектра. Основные параметры и область применения анализаторов спектра. Анализаторы гармоник (селективные вольтметры).

Измерение параметров модуляции. Основные виды модуляции и измеряемые параметры. Измерение коэффициента амплитудной модуляции, девиации частоты и индекса частотной модуляции.

Измерение нелинейных искажений сигналов. Коэффициент гармоник как основная количественная характеристика нелинейных искажений. Спектральный и интегральный методы измерения коэффициента гармоник гармонических сигналов.

[1 с. 287–308; 2, с. 264–273; 4, с. 232–242, 278–286; 5, с. 236–257; 6, с. 80, 81, 202–220].

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение вопросов анализа спектра сигналов целесообразно начать с повторения терминологии и основных положений спектрального анализа, после чего следует приступить к детальному изучению существующих методов анализа спектра сигналов, принципа действия и структурных схем фильтровых и цифровых анализаторов спектра, а также анализаторов гармоник (селективных вольтметров).

Следующим этапом является изучение методов измерения параметров модулированных колебаний. Вначале необходимо детально разобраться с основными видами модуляции и получить четкое представление об измеряемых параметрах модулированных колебаний. Затем изучить методы и средства измерения нелинейных искажений гармонических сигналов.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Какие методы анализа спектра и способы его проведения вы знаете? Охарактеризуйте каждый из них. 2 Как производится измерение спектральных характеристик сигналов с помощью анализаторов спектра? 3 Укажите основные особенности построения фильтровых анализаторов спектра. 4 Приведите структурные схемы фильтровых анализатора спектра последовательного и параллельного действия и поясните принцип их действия. Какими основными параметрами они характеризуются? 5 На чем основан принцип действия цифровых анализаторов спектра? Приведите структурную схему цифрового анализатора спектра и укажите область применения таких анализаторов. 6 Для решения каких измерительных задач используются анализаторы гармоник (селективные вольтметры)? 7 Приведите структурные схемы таких анализаторов для диапазонов низких и высоких частот. 8 Какие методы измерения коэффициента амплитудной модуляции вы знаете? Охарактеризуйте каждый из них. 9 Приведите структурную схему модулометра, реализующего метод двух вольтметров. 10 Какие методы измерения девиации частоты вы знаете? Охарактеризуйте каждый из них. 11 Приведите структурную схему девиометра, реализующую метод частотного детектирования. 12 Какими параметрами характеризуются нелинейные искажения? 13 Какие методы измерения нелинейных искажений вы знаете? 14 Приведите структурные схемы измерителей нелинейных искажений гармонических сигналов и охарактеризуйте особенности их работы.

### Тема 1.3 ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Общие сведения, основные вероятностные характеристики случайных сигналов и их оценки. Измерение среднего значения, средней мощности и дисперсий стационарных эргодических сигналов. Анализ распределения вероятностей этих сигналов. Измерение корреляционных функций. Цифровые измерители характеристик случайных сигналов, особенности их работы.

[1, с. 352–374; 2, с. 287–305; 4, с. 237–254; 6, с. 221–229].

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо уяснить физическую сущность основных вероятностных характеристик случайных сигналов и методы их оценки, обратить внимание на методы измерения одномерной плотности вероятности и корреляционной функции случайных сигналов. Необходимо также знать структурные схемы измерителей характеристик случайных сигналов, назначение основных функциональных узлов, достоинства и недостатки различных схем измерителей вероятностных характеристик, основные источники погрешностей.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Дайте определение и поясните сущность основных вероятностных характеристик случайных сигналов. 2 Какие существуют методы измерения этих характеристик? 3 Каким образом и с помощью каких средств может производиться измерение среднего значения, средней мощности и дисперсии случайных сигналов? 4 Приведите структурную схему и поясните принцип действия измерителя одномерной плотности вероятности. 5 Каким образом измеряются корреляционные функции случайных сигналов? 6 Перечислите и поясните основные причины возникновения погрешностей измерения каждой из рассмотренных вероятностных характеристик случайных сигналов.

### Тема 1.4 ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПОМЕХ

Общие сведения и классификация методов и приборов для измерения напряженности поля и помех. Радиопомехи и нормы на них. Понятие об электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Основные методы измерений. Индикаторы поля. Измерители напряженности поля и измерительные приемники. Измерение псофометрического напряжения помех. Псофометр.

[1, с. 280–286; 4, с. 331–343].

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале изучения данной темы необходимо получить четкое представление об измеряемых параметрах и понять классификацию методов и приборов для измерения напряженности поля и помех. Затем следует перейти к детальному изучению методов измерения, принципа действия и структурных схем перечисленных приборов. В заключение изучения темы необходимо обратить внимание на область применения рассмотренных приборов и познакомиться с их основными техническими и метрологическими характеристиками.



## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Что понимают под помехой? Приведите классификацию помех. 2 Дайте определение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. 3 Какими параметрами характеризуется интенсивность электромагнитного поля и как эти параметры связаны между собой? 4 Какие методы измерения напряженности электромагнитного поля используются на практике? Охарактеризуйте эти методы. 5 Приведите структурную схему измерительного приемника и опишите алгоритм процесса измерения напряженности поля с его помощью. 6 Что понимают под психофотметрическим напряжением помех? 7 Приведите структурную схему и поясните принцип действия психофотметра. 8 Каким образом измеряются естественные, стационарные и промышленные радиопомехи? 9 Чем отличаются измерители радиопомех от измерителей напряженности поля?

## Раздел 2 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ И СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

### Тема 2.1 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Измерение затуханий четырехполюсников. Виды затуханий: собственное, рабочее и вносимое. Методы измерения затуханий и усиления четырехполюсников.

Измерение группового времени запаздывания. Методы и средства измерений.

[3, с. 55–56; 4, с. 226–227, 298–309].

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале изучения темы необходимо четко уяснить смысл и усвоить определения трех видов затуханий: собственного, рабочего и вносимого. Научиться выводить основные математические соотношения для определения этих параметров. После этого следует перейти к изучению сущности методов измерения затухания и усиления четырехполюсников, обратив особое внимание на особенности технической реализации следующих методов: известного генератора,  $Z$  и сравнения.

Следующим этапом является изучение методов и средств измерения группового времени запаздывания (ГВЗ). Вначале необходимо познакомиться с математическими выражениями для абсолютного и относительного ГВЗ. Затем изучить методы и средства измерения ГВЗ.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Что понимается под терминами «затухание» и «усиление» четырехполюсника? 2 Дайте определение и поясните физический смысл собственного, рабочего и вносимого затухания. Приведите основные

математические соотношения, описывающие эти параметры. 3 Что такое абсолютный уровень напряжения? 4 С помощью каких приборов определяются уровни напряжения? 5 Какие методы используются для измерения рабочего затухания? Поясните сущность этих методов, приведите схемы, с помощью которых реализуются эти методы, укажите их достоинства и недостатки и область применения. 6 Каким образом можно автоматизировать процесс измерения частотных характеристик рабочего затухания? 7 Какие виды искажений можно оценить с помощью ГВЗ? 8 Приведите формулы для абсолютного и относительного ГВЗ. 9 Какие методы используются для измерения ГВЗ? 10 Охарактеризуйте методику измерения ГВЗ по фазовой характеристике. 11 Приведите структурную схему измерителя ГВЗ, реализующую метод Найквиста.

## Тема 2.2 ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ И ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Методы измерения расстояния до мест повреждения на линиях связи и их особенности. Импульсный метод измерения. Импульсные рефлектометры с зондирующим импульсом и единичным перепадом напряжения.

Параметры и характеристики импульсных рефлектометров. Методики измерений с использованием импульсных рефлектометров. Идентификация неоднородностей линий связи по полученным рефлектограммам.

[3, с. 29–36; 4, с. 313–316; 6, с. 283–287].

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение этой темы необходимо начать с ознакомления с методами определения параметров и характеристик неоднородностей и повреждений в линиях связи. Затем изучить сущность импульсного метода измерения и перейти к детальному изучению структурных схем импульсных рефлектометров и их основных параметров. Особое внимание следует уделить изучению методик измерения с помощью рефлектометров и идентификации неоднородностей линий связи по полученным рефлектограммам.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Какие вы знаете методы определения расстояния до мест повреждения на линиях связи? 2 Поясните сущность импульсного метода измерения. 3 Что понимается под коэффициентом укорочения электромагнитной волны и как он используется при определении расстояния до неоднородностей? 4 Когда используются импульсные рефлектометры с зондирующим видеоимпульсом, а когда с перепадом напряжения? 5 Как определяется расстояние до неоднородности с помощью импульсного рефлектометра? 6 От каких параметров зависит максимальная дальность действия рефлектометра? 7 Дайте определение разрешающей способности рефлектометра и поясните, от чего она зависит.

## Тема 2.3 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПЕЙ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПОСТОЯННЫМИ

Общие сведения и классификация приборов для измерения параметров цепей с сосредоточенными постоянными.

Измерение параметров двухполюсников. Магнитоэлектрические и электронные омметры. Мостовые измерители параметров двухполюсников. Основы теории и классификация измерительных мостов. Измерительные мосты постоянного и переменного токов. Резонансные измерители параметров двухполюсников контурного и генераторного типов.

Измерители параметров четырехполюсников. Измерители амплитудно-частотных и амплитудных характеристик четырехполюсников. Измерители коэффициента шума.

[1, с. 308–334; 2, с. 264–273; 4, с. 243–264; 5, с. 147–166, 322–342; 6, с. 242–268].

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале изучения темы необходимо обратить внимание на определение основных параметров двухполюсников и четырехполюсников с сосредоточенными постоянными. Затем вопросы темы следует изучать в последовательности их перечисления. При этом необходимо изучить сущность методов измерения параметров цепей, принципы построения, структурные и функциональные схемы измерителей параметров двухполюсников и четырехполюсников. Следует обратить внимание на вопросы автоматизации измерений параметров цепей. В результате изучения темы необходимо получить четкое представление о принципе действия, схемах и особенностях устройства мостов постоянного и переменного токов, резонансных измерителей параметров двухполюсников, измерителей амплитудно-частотных и амплитудных характеристик четырехполюсников, а также измерителей коэффициента шума. Уметь выводить основные расчетные соотношения для определения основных параметров. В заключение изучения темы необходимо обратить внимание на источники погрешностей рассмотренных приборов, изучить их основные технические и метрологические характеристики.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Перечислите измеряемые параметры цепей с сосредоточенными постоянными. Дайте их определение. 2 Перечислите и поясните сущность методов измерения параметров двухполюсников и четырехполюсников. 3 Приведите схемы и поясните принцип действия магнитоэлектрических омметров. 4 Какой принцип положен в основу работы электронного омметра? 5 Приведите схему и поясните принцип действия мостовых измерителей параметров двухполюсников. Сформулируйте основные правила построения мостовых схем. 6 Выведите обобщенное условие равновесия моста переменного тока. 7 Приведите схемы и условия равновесия мостов постоянного и переменного токов. Укажите области их применения, источники

погрешностей и основные метрологические характеристики. 8 Поясните сущность резонансного метода измерения параметров двухполюсников. Укажите его достоинства и недостатки, перечислите источники погрешностей резонансных измерителей и укажите способы их уменьшения. 9 Приведите структурные схемы, поясните принцип действия и основные различия измерителей амплитудно-частотных и амплитудных характеристик четырехполюсников. 10 На основе каких методов реализуются измерители коэффициента шума четырехполюсников? В чем заключается сущность модуляционного метода измерения?

## Тема 2.4 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Характеристики и параметры сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств и линий связи. Анализ методов и средств измерений и их классификация.

Обобщенная структурно-функциональная схема измерителя параметров устройств СВЧ. Типы СВЧ измерительных трактов и их компоненты.

Измерительные линии. Принцип действия, методики измерений и параметры. Панорамные измерители коэффициентов отражения и передачи. Принцип действия, методики измерений и параметры. Измерители S-параметров гомодинного и гетеродинного типа.

[1, с. 335–351; 2, с. 274–279; 4, с. 292–341; 6, с. 269–287].

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В начале изучения темы необходимо обратить внимание на измеряемые параметры СВЧ-цепей и особенно четко уяснить физический смысл S-параметров. Затем следует рассмотреть классификацию методов и приборов для измерения параметров СВЧ-цепей и перейти к детальному изучению структурных схем, принципа действия и основных характеристик этих приборов. Особое внимание следует уделить изучению особенностей применения каждого из рассмотренных приборов и основных источников погрешностей, а также путей и методов повышения их технических и метрологических характеристик, включая вопросы автоматизации измерений.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 С помощью каких параметров может быть охарактеризовано распределение поля в волноводе? Перечислите эти параметры и дайте определение каждого из них. 2 Дайте определение и поясните физический смысл S-параметров. 3 Какие виды измерений могут быть выполнены с помощью измерительной линии? Как с ее помощью можно измерить полное сопротивление нагрузки? 4 На чем основан принцип работы панорамных измерителей коэффициентов отражения и передачи? Приведите структурные схемы измерителей. 5 Какие источники погрешностей панорамных измерителей коэффициентов отражения и передачи вы знаете? 6 Приведите структурные схемы измерителей S-

параметров гетеродинного и гомодинного типов, поясните принцип их действия. Укажите основные различия между гомодинными и гетеродинными методами измерения S-параметров.

## Тема 2.5 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Измеряемые параметры оптических кабелей. Классификация методов и приборов для измерения параметров оптических кабелей.

Метод обратного рассеяния. Оптический рефлектометр с регистрацией формы отраженного сигнала. Измерение затухания оптических кабелей методом обратного рассеяния. Измерение дисперсии методом обратного рассеяния.

Измерение уровней оптических сигналов. Оптические измерители мощности. Измерения затухания оптических кабелей с использованием методов измерения разностей уровней оптических сигналов, обламывания и вносимых потерь.

[3, с. 12–28; 5, с. 472–506].

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение этой темы необходимо начать с ознакомления с основными понятиями оптоэлектроники и ее терминологией, обратив особое внимание на принцип действия волоконных световодов и их основные характеристики. Затем следует изучить методы и средства измерений затухания, полосы пропускания и дисперсии оптических кабелей. Особое внимание следует уделить изучению особенностей применения каждого из рассматриваемых методов.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Какими параметрами характеризуются оптические кабели? 2 Какие принципы обуславливают потери мощности сигнала при его распространении по оптическому кабелю? 3 Перечислите основные методы измерения затухания оптических кабелей. 4 Поясните сущность метода обратного рассеяния. 5 Поясните принцип действия оптического рефлектометра и приведите его структурную схему. 6 Что понимается под дисперсией сигнала и какие причины обуславливают ее появление в оптических кабелях? 7 Как измерить дисперсию сигнала в оптическом кабеле методом обратного рассеяния? 8 Приведите схему оптического измерителя мощности и поясните принцип ее действия. 9 Охарактеризуйте методы измерения затухания, в которых используются оптические измерители мощности.

## Тема 2.6 КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ И СИСТЕМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

Общая характеристика и классификация методов и приборов, используемых при тестировании компонентов цифровых сетей и систем телекоммуникаций.

Логический анализ. Принципы построения, классификация, особенности и области применения, параметры логических анализаторов.

Сигнатурный анализ. Принцип и схема формирования сигнатуры из тест-последовательности. Сигнатурные анализаторы. Особенности и области применения.

[5, с. 429–457].

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо твердо усвоить сущность и области применения следующих методов тестирования цифровых систем: программной автодиагностики, статического тестирования, логического и сигнатурного анализа. Затем следует перейти к изучению принципов построения структурных схем логических и сигнатурных анализаторов, обратив внимание на особенности работы анализаторов логических состояний и временных диаграмм, а также принципы формирования сигнатуры. В заключение изучения темы необходимо познакомиться с примерами технической реализации и использования логических и сигнатурных анализаторов и их техническими характеристиками.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Какими причинами обусловлена сложность использования традиционных измерительных приборов (осциллографов, вольтметров и др.) при тестировании цифровых схем и систем? 2 В чем заключается сущность программной автодиагностики? 3 В каких случаях используют метод статического тестирования? 4 Охарактеризуйте принцип работы логических анализаторов, приведите их классификацию и структурные схемы их использования. 5 Приведите структурную схему логического анализатора, поясните принцип действия и основные различия анализаторов логических состояний и анализаторов временных диаграмм. 6 Охарактеризуйте сущность сигнатурного анализа. 7 Что понимается под термином «сигнатура»? 8 Поясните принцип формирования сигнатуры. 9 Как формируется тест-последовательность? 10 Приведите структурную схему сигнатурного анализатора и поясните принцип ее действия.

## Раздел 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

### Тема 3.1 Основные направления и принципы автоматизации измерений

Основные направления и принципы автоматизации радиоизмерений. Применение микропроцессоров в радиоизмерительных приборах.

Измерительно-вычислительные комплексы (ИВК). Информационно-измерительные системы (ИИС). Примеры реализации.

Агрегатирование средств измерений. Общие принципы построения агрегатных комплексов средств измерений. Примеры реализации в радиоизмерительной технике. Общие сведения об интерфейсах агрегатных комплексов средств измерений. Особенности реализации последовательного связного интерфейса RS-232C и параллельного интерфейса IEEE-488 (КОП).

[1, с. 374–403; 2, с. 346–353; 6, с. 288–308].

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

При изучении данной темы необходимо твердо уяснить основные направления и принципы автоматизации радиоизмерений, их характерные особенности и возможные практические реализации. Следует изучить принципы построения информационно-измерительных систем и измерительно-вычислительных комплексов, назначение и взаимосвязь их основных блоков. Необходимо также обратить внимание на особенности построения измерительных приборов с микропроцессорами, их основные преимущества перед обычными радиоизмерительными приборами. Кроме того, следует изучить общие принципы построения агрегатных комплексов средств измерений и основные разновидности интерфейсов.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1 Перечислите основные направления автоматизации радиоизмерений и дайте их характеристику. 2 Дайте сравнительную оценку различным направлениям автоматизации измерений. 3 Перечислите основные признаки полной автоматизации измерений и охарактеризуйте каждый из них. 4 Каковы основные цели использования микропроцессоров в радиоизмерительных приборах? На решение каких задач направлено применение микропроцессоров в приборах? 5 Дайте определение и перечислите основные принципы построения ИВК и ИИС. 6 Приведите классификацию, типовые структурные схемы и перечислите основные характеристики ИИС и ИВК. 7 Приведите структурные схемы и охарактеризуйте основные разновидности интерфейсов. 8 Укажите основные принципы построения агрегатных комплексов средств измерений. Приведите примеры их практической реализации.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Выполнение контрольного задания является одной из важнейших частей самостоятельной работы студентов. Оно способствует успешному усвоению материала, приобретению практических навыков подготовки к измерениям, обработки и оформления результатов, облегчает подготовку к экзамену по дисциплине. Поэтому выполнению контрольного задания должно быть уделено большое внимание. Для более детальной проработки вопросов учебной дисциплины рекомендуется также решить другие задачи, не вошедшие в индивидуальное задание.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

Контрольное задание состоит из 6 задач. Номера задач для индивидуального задания определяются по двум последним цифрам шифра студента. Номер варианта соответствует последней цифре шифра. Задачи не своего варианта не засчитываются, а работа возвращается студенту без проверки.

Приступать к решению задачи следует только после полной проработки соответствующей и предыдущих тем. Условия задач должны быть записаны в тетради с контрольными решениями полностью. Решения и ответы на поставленные вопросы должны **быть обоснованными** и по возможности краткими, содержать необходимый иллюстративный материал (схемы, чертежи, графики) и выполняться в строгом соответствии с действующими стандартами.

Задачи следует решать **в общем виде** и только затем подставлять числовые значения в стандартных единицах физических величин. Недостающие данные (если это необходимо) следует задавать самим в общем виде или в пределах реальных значений. **Обязательно** следует приводить пояснения хода решения задач. Задачи, представленные без пояснений, могут быть не зачтены. При решении задач с большим объемом вычислений рекомендуется использовать ПЭВМ. Программу следует составлять на языке высокого уровня, а ее распечатку приложить к контрольной работе. При этом следует предусмотреть вывод на печать основных результатов промежуточных и окончательных вычислений, а также дать пояснения к алгоритму и привести основные расчетные соотношения. Решения задач должны заканчиваться четко сформулированными выводами.

Контрольное задание должно выполняться в отдельной тетради, на обложке которой должно быть указано наименование учебной дисциплины, номер контрольной работы, фамилия и инициалы студента, номер шифра и группа. Если студент желает, чтобы проверенное задание было выслано ему почтой, следует указать почтовый адрес и индекс отделения связи.

### ЗАДАЧИ

1 Определить время (продолжительность) анализа спектра фильтровым анализатором параллельного действия, если полоса пропускания одиночного полосового фильтра  $\Delta f$  (таблица 1). Привести схему анализатора, пояснить принцип действия.

2 Определить число каналов фильтрового анализатора спектра параллельного действия, если полоса пропускания одиночного полосового фильтра  $\Delta f$ , а ширина исследуемого спектра  $\Delta F$  (см. таблицу 1). Привести схему анализатора, пояснить принцип действия.

3 С какой разрешающей способностью может быть произведен анализ спектра видеоимпульсов длительностью  $\tau$ , если максимально допустимое время анализа гетеродинным анализатором спектра  $T$  (см. таблицу 1)? Привести



схему анализатора, пояснить принцип действия.

4 При измерении коэффициента амплитудной модуляции  $M$  с помощью осциллографа получены значения  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  (см. таблицу 1). Определить значение  $M$ . Описать алгоритмы двух осциллографических методик измерения  $M$ . Привести графическое изображение фигур, которые получаются на экране осциллографа при использовании этих двух методик.

Таблица 1

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta f$ , Гц	100	200	300	300	400	100	200	300	400	100
$\Delta F$ , кГц	5	10	15	9	12	8	20	30	40	100
$\tau$ , мс	0,2	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,2
$T$ , мс	50	100	20	30	40	50	60	70	80	90
$U_{\max}$ , мВ	200	300	400	500	600	700	800	900	100	800
$U_{\min}$ , мВ	100	200	300	400	500	100	400	200	50	100

5 С помощью девиометра измерено значение девиации частоты  $\Delta f$  частотно-модулированного сигнала. Определить индекс частотной модуляции  $\beta$ , если частота модулирующего сигнала  $F$  (таблица 2). Привести схему девиометра, пояснить принцип действия.

6 С помощью измерителя нелинейных искажений, реализующего интегральный метод, в режиме «Калибровка» получено показание вольтметра  $U_K$ , а в режиме «Измерение» –  $U_{\text{и}}$  (см. таблицу 2). Определить значение коэффициента гармоник  $K_G$ . Привести схему измерителя, пояснить принцип действия.

Таблица 2

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta f$ , кГц	100	200	300	400	500	600	700	800	900	450
$F$ , кГц	10	25	15	20	25	30	35	40	45	90
$U_K$ , мВ	100	200	300	400	500	600	700	800	900	50
$U_{\text{и}}$ , мВ	20	40	15	8	10	200	35	40	180	2

В задачах 7, 8 определить сопротивление резистора  $R_x$ , включенного в плечо уравновешенного измерительного моста постоянного тока, и оценить относительную погрешность из-за подключающих проводов.

7 Параметры элементов моста выбрать из таблицы 3, сопротивление подключающих проводов принять равным 0,3 Ом. Указать условия получения максимальной чувствительности моста и описать методику проведения измерений с его помощью.

Таблица 3

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_2$ , Ом	200	100	500	150	250	350	450	300	550	600
$R_3$ , кОм	3,0	2,0	4,0	1,0	1,5	2,1	3,8	7,3	8,1	4,9
$R_4$ , кОм	1,5	5,2	2,1	3,0	2,0	3,7	7,1	5,2	2,1	9,1
$C_0$ , нФ	15	47	18	82	56	22	33	8,2	7,5	22

8 Параметры элементов моста выбрать из таблицы 4, сопротивление подключающих проводов принять равным 0,1 Ом. Перечислить основные источники погрешности таких мостов и указать пути их уменьшения.

Таблица 4

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_2$ , Ом	100	830	1300	2700	560	3600	330	4700	620	4100
$R_3$ , кОм	8,2	2,2	3,3	4,7	7,5	2,7	1,5	5,1	2,0	1,0
$R_4$ , кОм	5,1	12	18	15	9,1	22	2,7	24	7,5	16
$C_0$ , нФ	2,2	15	12	5,1	3,3	33	4	18	56	82

В задачах 9...16 необходимо по типу измеряемого элемента выбрать схему моста, записать для нее условие равновесия, получить из него выражения для  $C_x$ ,  $R_x$ , или  $L_x$ ,  $R_x$ ,  $Q$  и определить их. При этом измеряемый реальный элемент заменить соответствующей эквивалентной схемой, трансформировав при необходимости схему моста. На окончательной схеме показать в виде переменных элементы (резисторы, конденсаторы и т.д.), которыми его следует уравнивать, чтобы обеспечить прямой отсчет заданных в условии величин. Частота питающего напряжения 1 кГц.

9 Конденсатор с малыми потерями. Параметры элементов моста даны в таблице 3. Прямой отсчет  $C_x$  и  $\text{tg}\delta$ .

10 Конденсатор с большими потерями. Параметры элементов моста даны в таблице 3. Прямой отсчет  $C_x$  и  $R_x$ .

11 Конденсатор с малыми потерями. Параметры элементов моста даны в таблице 4. Прямой отсчет  $C_x$  и  $R_x$ .

12 Конденсатор с большими потерями. Параметры элементов моста даны в таблице 4. Прямой отсчет  $C_x$  и  $\text{tg}\delta$ .

13 Катушка индуктивности с малой добротностью. Параметры элементов моста даны в таблице 3. Прямой отсчет  $L_x$  и  $Q$ .

14 Катушка индуктивности с большой добротностью. Параметры элементов моста даны в таблице 3. Прямой отсчет  $L_x$  и  $R_x$ .

15 Катушка индуктивности с малой добротностью. Параметры элементов моста даны в таблице 4. Прямой отсчет  $L_x$  и  $R_x$ .

16 Катушка индуктивности с большой добротностью. Параметры

элементов моста даны в таблице 4. Прямой отсчет  $L_x$  и  $Q$ .

17 При измерении собственной емкости  $C_L$  катушки индуктивности Q-метром получены резонансы на частотах  $f_1$  и  $f_2$  при значениях емкости образцового конденсатора  $C_1$  и  $C_2$  соответственно (таблица 5). Определить  $C_L$ , оценить погрешность ее измерения (погрешность отсчета по шкале частот  $\pm 10$  Гц, по шкале образцового конденсатора  $\pm 0,5$  пФ) и описать методику измерения.

Таблица 5

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_1$ , пФ	420	350	310	273	430	229	420	210	190	230
$C_2$ , пФ	53	49	75	59	33	63	27	39	36	59
$f_1$ , Гц	898	1430	2200	3670	530	3780	320	2890	4350	5440
$f_2$ , кГц	2,41	3,59	4,25	6,52	1,75	6,93	1,22	6,54	9,67	9,64
$f_3$ , кГц	2,05	2,98	3,91	5,96	1,33	5,82	0,93	4,96	7,53	8,96
$Q_1$	100	80	120	150	70	95	50	85	110	140
$Q_2$	40	36	55	72	15	20	17	27	46	64

18 Решить задачу 17, если резонансы получены на частотах  $f_1$  и  $f_3$  (см. таблицу 5), при тех же емкостях образцового конденсатора.

19 При измерении емкости  $C_x$  с помощью Q-метра получены два значения емкости образцового конденсатора  $C_1$  и  $C_2$  (см. таблицу 5). Определить  $C_x$ , если один измеряемый конденсатор включался последовательно с образцовым, а второй – параллельно с ним при тех же отсчетах. Привести схемы измерения для обоих вариантов включения, указать, в каких случаях используются эти варианты.

20 Определить добротность катушки индуктивности, если значения емкости образцового конденсатора при настройке контура (изменением этой емкости) на уровне 0,707 от резонанса были  $C'_1 = 3C_2$  и  $C'_2 = C_1$  (см. таблицу 5). Привести функциональную схему Q-метра и пояснить принцип ее действия.

21 Определить полное сопротивление двухполюсника  $Z_x$  и его составляющие  $R$  и  $X$  на частоте  $f_1$ , если до подключения двухполюсника к Q-метру получены значения емкости образцового конденсатора  $C_1$  и добротности  $Q_1$ , а при его подключении к Q-метру (параллельно образцовому конденсатору Q-метра) получены значения  $C_2$  и  $Q_2$  (см. таблицу 5). Определить также характер реактивности.

22 Решить задачу 21 при условии, что двухполюсник включен последовательно с образцовой ёмкостью.

23 При перемещении зонда вдоль щели измерительной линии получены максимальный  $\alpha_{\max}$  и минимальный  $\alpha_{\min}$  отсчеты (таблица б) по шкале стрелочного индикатора. Определить КСВН и модуль коэффициента отражения при квадратичной характеристике детектора СВЧ.

24 Решить задачу 23 при условии, что характеристика детектора СВЧ

линейна.

25 При измерении полного сопротивления двухполюсника СВЧ с помощью измерительной линии минимальное и максимальное показания стрелочного индикатора (при перемещении зонда вдоль щели) были равны  $\alpha_{\max}$  и  $\alpha_{\min}$ . Расстояние между соседними узлами равно  $l$ , а расстояние между условным концом измерительной линии и первым узлом (в сторону генератора)  $\Delta l$  (см. таблицу 6). Приняв волновое сопротивление тракта 50 Ом, определить полное сопротивление двухполюсника при квадратичной характеристике детектора СВЧ.

Таблица 6

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_{\max}$ , дел	81	64	63	75	22	28	31	67	89	91
$\alpha_{\min}$ , дел	25	16	31	51	17	19	21	43	28	35
$l$ , мм	220	100	150	200	250	300	50	40	30	20
$\Delta l$ , мм	80	60	70	80	90	100	20	15	10	5
$U_1$ , мВ	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$U_2$ , мВ	3	7	11	15	19	23	27	31	35	39
$\Gamma$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,55
$\delta_{\Gamma}$ , %	10	2,0	5,0	3,0	5,0	2,0	3,0	8,0	15	1,0

26 Решить задачу 25 при условии, что волновое сопротивление тракта равно 75 Ом и характеристика детектора СВЧ линейна.

27 Определить КСВН двухполюсника и ослабление четырехполюсника (в децибелах) при измерении их с помощью рефлектометра, если на выходах квадратичных детекторов СВЧ первого и второго направленных ответвителей после проведения этих измерений получены напряжения  $U_1$  и  $U_2$  (см. таблицу 6). Привести структурные схемы рефлектометров при измерении КСВН и ослабления. Пояснить суть калибровки рефлектометра.

28 Определить погрешность измерения КСВН двухполюсника с помощью рефлектометра, если погрешность измерения модуля коэффициента отражения  $\Gamma$  равна  $\delta_{\Gamma}$  (см. таблицу 6).

29 Описать известные методы измерения вероятностных характеристик случайных сигналов в соответствии с вариантом задания (таблица 7). Привести схему измерителя и пояснить принцип ее работы.

Таблица 7

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Измеряемая характеристика	$m_x$ и $P_x$	$F_x$	$f_x$	$R_x$	$R_{xy}$	$f_x$	$R_x$	$F_x$	$R_{xy}$	$P_x$ и $D_x$

30 Определить рабочее затухание  $\alpha_p$  четырехполюсника, если параметры генератора и нагрузки имеют значения, приведенные в таблице 8. Привести

схему измерения  $\alpha_p$  методом, указанным в таблице 8, пояснить ее работу, указать основные источники погрешностей.

31 Определить рабочее усиление  $K_p$  четырехполосника для указанных в таблице 8 значений параметров генератора и нагрузки, приняв  $Z_\Gamma = Z_H$ ;  $E_\Gamma = U_H$ ;  $Z_H = Z_\Gamma$ ;  $U_H = E_\Gamma$ .

Таблица 8

Параметры	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E_\Gamma, В$	18	11	3,4	6,5	26	18	24	8,0	4,5	15
$Z_\Gamma, Ом$	600	50	75	15	5	10	75	15	600	50
$U_H, В$	0,3	4,2	1,3	2,0	9,3	5,1	11	1,8	0,6	4,8
$Z_H, Ом$	520	50	88	50	12	45	62	10	800	150
Метод измерения	Известного генератора	Метод Z	Сравнения	Метод Z	Сравнения	Известного генератора	Сравнения	Известного генератора	Метод Z	Известного генератора

32 Получить сигнатуру из тест-последовательности, приведенной в таблице 9. Длину тест-последовательности  $N$  (число бит в ней) выбрать по предпоследней цифре шифра, а порядковый номер первого бита тест-последовательности  $I$  по последней цифре шифра из таблицы 10. Привести схему, поясняющую принцип формирования сигнатуры из тест-последовательности.

Таблица 9

Порядковый номер бита I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Значение бита	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1
Порядковый номер бита I	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Значение бита	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0

Таблица 10

Параметр	Предпоследняя цифра для N, последняя – для I									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	16	17	10	18	19	20	14	12	19	20
I	1	2	8	3	10	1	5	8	2	5

33 Определить напряженность электрического поля  $E$  в месте расположения измерительной антенны с эффективной площадью  $S$ , если мощность, измеренная на согласованной нагрузке антенны, составила  $P$  (таблица 11). Охарактеризовать основные методы измерения напряженности электрического поля.

34 Определить напряженность поля  $E$  радиопередатчика в точке расположения индикатора поля, если действующая высота рамочной антенны индикатора  $h_d$ , ее добротность  $Q$ , а показания вольтметра  $U$  (см. таблицу 11). Привести схему индикатора поля и описать сущность метода измерения, положенного в основу работы этого прибора.

Таблица 11

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S, \text{ см}^2$	900	800	1000	1200	700	600	500	400	800	900
$P, \text{ мкВт}$	0,1	0,2	1,0	0,8	0,5	0,03	0,01	0,4	0,6	0,3
$h_d, \text{ м}$	10	8	15	12	9	7	12	8	10	12
$Q$	30	40	50	60	70	20	30	20	5	25
$U, \text{ мкВ}$	70	100	90	150	200	180	300	250	180	270
$\alpha_{\text{вх}}, \text{ дБ}$	10	5	20	15	10	25	30	20	5	25
$\alpha_{\text{п.ч}}, \text{ дБ}$	20	25	10	5	20	15	10	5	15	15
$K$	80	70	60	50	40	90	100	80	30	70

35 В процессе измерения напряженности поля  $E$  с помощью измерителя напряженности поля получены следующие значения (см. таблицу 11): показания вольтметра  $U$ , коэффициенты ослабления входного аттенюатора  $\alpha_{\text{вх}}$ , аттенюатора промежуточной частоты  $\alpha_{\text{п.ч}}$ , коэффициент усиления измерительного приемника  $K$ . Определить напряженность поля  $E$ , если в процессе измерения была использована измерительная антенна с действующей высотой  $h_d$ . Привести схему измерителя и описать алгоритм процесса измерения  $E$ .

Учебное издание

## ИЗМЕРЕНИЯ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Рабочая программа, методические указания  
и контрольные задания  
для студентов специальности I-45 01 03 «Сети телекоммуникаций»  
заочной формы обучения

Составители:

**Белошицкий** Анатолий Павлович  
**Ляльков** Святослав Владимирович  
**Минченко** Ольга Игоревна

Редактор М. В. Тезина  
Корректор Е. Н. Батурчик

---

Подписано в печать 14.01.2008.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,51.
Уч.-изд. л. 1,3.	Тираж 120 экз.	Заказ 334.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.  
220013, Минск, П. Бровки, 6