

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"

Кафедра радиотехники

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по подготовке к электронным коллоквиумам № 1 - 3  
по дисциплине "Радиотехнические цепи и сигналы"  
для студентов специальности 210601.65 "Радиоэлектронные системы и комплексы" и бакалаврантов по направлению подготовки 210400.62 "Радиотехника",  
профилю "Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов" очной формы обучения

Коэффициент модуляции показанного на рисунке АМ-сигнала составляет ...  
Амплитуда несущей до модуляции равна 4 В.

Введите ответ:  
0.5

Принять ответ

Воронеж 2012

Составитель д-р техн. наук А.В. Останков

УДК 621.372.01: 621.396.6

Методические указания по подготовке к электронным коллоквиумам № 1 - 3 по дисциплине "Радиотехнические цепи и сигналы" для студентов специальности 210601.65 "Радиоэлектронные системы и комплексы" и бакалаврантов по направлению подготовки 210400.62 "Радиотехника", профилю "Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов" очной формы обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. А.В. Останков. Воронеж, 2012. 40 с.

Методические указания содержат материал для подготовки к электронным коллоквиумам № 1 "Спектры видеосигналов", № 2 "Модулированные сигналы" и № 3 "Цепи с нелинейными сопротивлениями при гармоническом воздействии" по дисциплине "Радиотехнические цепи и сигналы".

Издание соответствует требованиям ФГОС ВПО по специальности 210601.65 "Радиоэлектронные системы и комплексы", по направлению подготовки бакалавров 210400.62 "Радиотехника", дисциплине "Радиотехнические цепи и сигналы". Методические указания предназначены для студентов третьего курса пятого семестра очной формы обучения.

Указания подготовлены в электронном виде в формате pdf и содержатся в файле "Colloquium\_1-3\_RTCS.pdf".

Ил. 4. Библиогр.: 9 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. В.П. Литвиненко

Ответственный за выпуск зав. кафедрой

канд. техн. наук, доц. Б.В. Матвеев

Издаётся по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012

## Введение

Коллоквиумы по дисциплине "Радиотехнические цепи и сигналы" у студентов третьего курса очной формы обучения проводятся посредством тестирования на компьютере.

Электронный коллоквиум является одной из форм массового контроля знаний студентов, который осуществляет преподаватель после изучения ими важного и большого по объёму раздела учебной дисциплины. По сравнению с традиционными формами проведения (устный диалог "преподаватель - студент", письменная работа) коллоквиум в виде тестирования обладает рядом преимуществ, таких как

- объективность (исключается фактор субъективного подхода со стороны преподавателя);

- валидность (большое количество заданий охватывает весь объём материала того или иного раздела, что позволяет студенту шире проявить свой кругозор и не "провалиться" из-за случайного пробела в знаниях);

- простота (тестовые задания не требуют развернутого ответа или обоснования – достаточно указать или выбрать правильный ответ);

- демократичность (все тестируемые находятся в равных условиях);

- массовость и кратковременность (возможность за определённый установленный промежуток времени охватить контролем большое количество студентов);

- технологичность (проведение коллоквиума в форме тестирования позволяет использовать компьютерную обработку ответов на задания).

Особенностью электронного коллоквиума является жёсткий временной контроль. Поэтому при подготовке к коллоквиумам необходимо уделить внимание психологическому настрою, тренировке решения мини-задач или ответов на мини-вопросы с контролем времени.

## **Технология проведения коллоквиумов**

Коллоквиум проводится в компьютерном классе кафедры радиотехники одновременно у группы студентов.

Преподаватель за две недели до даты коллоквиума объявляет его тему, место и точное время проведения, снабжает студентов электронным вариантом методических указаний (в библиотеке имеется копия электронного варианта указаний) и демонстрационной версией коллоквиума в виде исполняемого файла, с которым возможна работа в домашних условиях.

Студент самостоятельно готовится к коллоквиуму, используя методические указания, лекционный материал и рекомендованную ниже учебную литературу [1-8], а также отрабатывает технологические аспекты сдачи коллоквиума, работая с его демо-версией.

Демо-версия коллоквиума предназначена исключительно для формирования навыков работы с программным средством [9], реализующим электронный коллоквиум. Она полностью соответствует основной версии как по интерфейсу, способам ввода заключений, так и по содержанию заданий, однако, включает лишь малую часть заданий основной базы (не больше десяти). Задания, включённые в демо-версию, относятся к наиболее типовым и дублируют рассматриваемые ниже.

В компьютерном классе сдающему коллоквиум предоставляется индивидуальное рабочее место. Без уважительной причины выходить из компьютерного класса во время сеанса тестирования нельзя. Поэтому прежде чем войти в компьютерный класс подумайте, не забыли ли Вы взять ручку (карандаш), лист бумаги и не возникнет ли у Вас необходимость выйти из класса в течение ближайшего часа.

Студент активирует предоставленное ему программное средство, аналогичное демо-версии, указывает в строке персонализации фамилию, имя, группу (рис. 1) и приступает непосредственно к работе с заданиями.

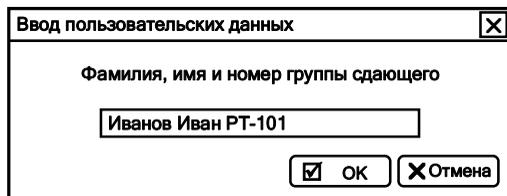


Рис. 1

В рамках коллоквиума сдающему предлагается, как правило, 25 - 30 заданий. Точное число предлагаемых заданий по каждому коллоквиуму приводится ниже. Задания выбираются программой из основной базы, которая может насчитывать от 150 до 250 заданий, по следующему принципу.

База заданий включает в себя 5-6 категорий, объединяющих задания, относящиеся к конкретному подразделу. Ниже по каждому коллоквиуму приводится конкретное число и характеристика подразделов. Число заданий в категории составляет, как правило, от 30 до 50. После активации программа случайным образом выбирает из каждой категории по пять вопросов и последовательно предлагает их сдающему. При этом первые пять заданий относятся к первой категории, задания с номерами 6 - 10 – ко второй категории и т. д. Задания в разных категориях могут отличаться количеством баллов, начисляемых сдающему при правильном ответе.

За каждое правильно решённое задание программа начисляет сдающему от одного до двух баллов ( $S_i$  – "стоимость" задания  $i$ -й категории). При любом раскладе (количестве категорий и заданий) максимальное число баллов, которое может набрать сдающий, составляет точно 50 (пятьдесят!) баллов, что соответствует максимальной оценке за сданный коллоквиум.

В процессе тестирования сдающий может наблюдать в нижнем правом углу окна программы набранное им на текущий момент времени количество баллов (предварительную оценку, рис. 2).

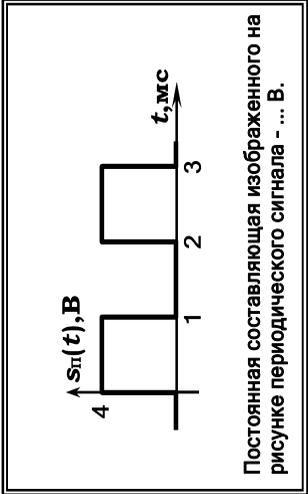
<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 1</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 2</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 3</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 4</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 5</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 6</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 7</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 8</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 9</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 10</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 11</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 12</li> <li><input type="checkbox"/> Вопрос 13</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 14</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 15</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 16</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 17</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 18</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 19</li> <li><input type="checkbox"/> Вопрос 20</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 21</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 22</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 23</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 24</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> Вопрос 25</li> </ul>	 <p>Постоянная составляющая изображенного на рисунке периодического сигнала - ... В.</p>	<p>Введите ответ:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">2</div>
<p> Введите требуемый текст в поле ввода и нажмите "Ответить"</p> <p>Ограничение по времени: _____</p> <p>Этого вопроса теста в целом: _____</p> <p>Пользователь Иванов Иван РТ-101</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Ответить</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Прервать</p>		<p>16:54:19</p>
<p>Вопрос 13 из 30</p>		<p>Предварительная оценка 42</p>

Рис. 2

Каждый коллоквиум жёстко ограничен по времени. Общее время, отводимое на коллоквиум, составляет, как правило, 60 минут. Время, затраченное сдающим к текущему моменту, индицируется в нижней части окна программы тёмной "бегущей змейкой" (рис. 2). Время на решение конкретного задания не ограничено, поэтому имеется возможность использовать время, сэкономленное на более простых заданиях, для решения более сложных заданий. Если время, отведённое на коллоквиум, закончилось, программа самостоятельно завершает свою работу и выдаёт окно с результатами. Баллы за вопросы, на которые студент не успел ответить, не начисляются и считаются нерешёнными (неверно решёнными).

По способам ввода заключений предлагаемые в коллоквиумах задания делятся на три типа.

Первый тип – задания с клавиатурным вводом ответа (рис. 2). Результат решения задания в виде числа указывается в поле ввода ответа, затем нажимается кнопка "Ответить" (последовательность действий указывается в подсказке, приводимой в нижней части окна программы). Вводимое число может быть целым или десятичной дробью (с точкой или запятой в качестве разделителя целой и дробной части). Если результат представляет собой бесконечную десятичную дробь, то в тексте задания оговаривается, с какой точностью указывать ответ. Если же в тексте задания нет информации о том, с каким числом цифр после запятой следует приводить ответ, результат решения задания либо является целым числом, либо конечной десятичной дробью.

Второй тип заданий – с выбором одного правильного ответа из нескольких предлагаемых (рис. 3). При этом из всех предлагаемых программой вариантов решения правильным является только один, остальные абсолютно неверны. Сдающему следует внимательно изучить все предлагаемые варианты, выделить правильный на его взгляд. Выделенный вариант окрашивается в красный цвет. Далее следует нажать кнопку "Отве-



тить". Если часть вариантов решения не доступны для просмотра, следует использовать полосу прокрутки.

Задания третьего типа – с выбором нескольких правильных вариантов ответа. Среди предлагаемых программой вариантов ответа присутствуют два или более правильных. Число правильных вариантов ответа заранее неизвестно. Визуально оформление задания практически ничем не отличается от заданий предыдущего типа, однако, имеется возможность выделения нескольких или даже всех вариантов ответа. Выделение производится синим цветом. Если среди выбранных имеется хотя бы один неверный вариант, задание считается нерешённым, и баллы за него не начисляются. Если выбраны только верные варианты, но их число ( $n'$ ) составляет лишь часть от общего числа ( $n$ ) правильных вариантов, число начисляемых баллов меньше "стоимости" задания ( $\$_i$ ) и составляет  $\$_i \cdot n' / n$ .

Если на задание дан ответ и нажата клавиша "Ответить", то вернуться к этому заданию и при желании исправить ответ невозможно. Поэтому над заданиями коллоквиума следует работать очень внимательно. Если Вы не можете сразу решить задание, то лучше пропустите его.

В ходе тестирования имеется возможность пропускать вопросы. На рис. 2 и 3 видно, что в левой части окна программы имеется поле с номерами предлагаемых заданий. Те задания, на которые уже дан ответ, отмечены "галочкой". Между еще не решёнными заданиями возможен произвольный переход, т. е. пропуск одних заданий и активация других, очередь которых еще не наступила. Следует учесть, что пропущенные задания вновь предъявляются сдающему, и если на них не был дан ответ по истечении времени тестирования, то они засчитываются как задания с неверными ответами. Вновь вернувшееся задание будет того же содержания, но расположение его элементов (вариантов ответа) изменится.

Результат ответа на каждое задание коллоквиума немедленно отображается в виде сообщений "Верно", "Неверно",

"Неточно". Последний тип сообщения выдаётся в случае неполного ответа на задание с выбором нескольких правильных вариантов ответа. Сообщение о результате ответа на задание исчезает с экрана спустя секунду, поэтому принудительно закрывать окно с таким сообщением не стоит. Исправить неверные ответы нельзя.

После ответа на последнее задание коллоквиума или завершения работы программы по истечении отведенного времени на экране появляется стандартное окно с результатами коллоквиума (рис. 4). Несмотря на то, что результаты одновременно записываются в файл, который доступен преподавателю для просмотра, окно с результатами закрывать нельзя, его следует предъявить преподавателю.

Непосредственно при сдаче коллоквиума не разрешается пользоваться конспектами лекций, учебниками, справочниками или любыми другими источниками информации, в том числе мобильными телефонами.

Искусственное прерывание процесса тестирования (принудительное закрытие программы, отключение питания и т. п.) рассматривается как грубое дисциплинарное нарушение.

Результат тестирования	
Пользователь	Иванов Иван РТ-101
Тест	D:\USER\Коллоквиумы\Коллоквиум 1.exe
Общее время тестирования	44 мин 36 сек
Задано вопросов	30
Из них:	26 - правильных ответов 2 - неточных ответа 2 - неверных ответа 6 - пропусков
Итоговый результат	44
Журнал тестирования	OK

Рис. 4

## Коллоквиум № 1

### СПЕКТРЫ ВИДЕОСИГНАЛОВ

#### Теоретические вопросы для проработки

1. Понятие сигнала, видеосигнала, периодического сигнала. Гармонический анализ периодических сигналов. Тригонометрическая, гармоническая и комплексная форма ряда Фурье; связь между ними.

2. Комплексный и гармонический спектры амплитуд и фаз периодического колебания. Частота, амплитуда и начальная фаза составляющих; зависимость от параметров видеосигнала. Постоянная составляющая сигнала. Вариации спектра при изменении параметров видеосигнала.

3. Средняя мощность периодического сигнала и её распределение по спектру. Понятие и критерии оценки практической ширины спектра периодического видеосигнала.

4. Особенности спектров непериодических сигналов. Бессмысленность использования спектра амплитуд для частотного описания непериодического колебания. Понятие комплексной спектральной плотности сигнала, её основные свойства. Спектральная плотность амплитуд сигнала, её физический смысл, связь с комплексным спектром сигнала.

5. Гармонический спектр периодической последовательности прямоугольных импульсов. Огибающая спектра амплитуд. Влияние скважности импульсной последовательности на частоты нулей огибающей. Спектр меандра. Понятие о синтезе (реконструкции) видеосигнала по его спектру. Синтез меандра. Влияние гармоник нижних и верхних частот на форму синтезируемого импульса. Эффект Гиббса. Комплексная спектральная плотность дельта-импульса.

6. Условие представления сигнала интегралом Фурье. Особенности комплексной спектральной плотности неинтег-

рируемых сигналов. Энергетические характеристики непериодических сигналов. Равенство Парсеваля.

7. Основные теоремы о спектрах: теорема сложения, подобия, запаздывания сигнала, теорема об инверсии аргумента, об изменении масштаба времени, теорема смещения спектра сигнала, о дифференцировании и интегрировании сигнала, теорема свёртки. Методика применения.

### **Учебная литература для подготовки**

[1, с. 20-45; 53-54; 152; 174-175; 497; 499-500],

[2, с. 14; 25; 38-55; 57-59; 72-73; 193-194; 203],

[3, с. 42-48; 49-54; 57-66],

[4, с. 5-51],

[5, с. 6-21].

### **Общая характеристика коллоквиума и его заданий**

База заданий коллоквиума разделена на шесть категорий. "Стоимость" заданий 1-й и 2-й категорий – один балл, остальных (3-й, 4-й, 5-й и 6-й) категорий – два балла. Из каждой категории на коллоквиуме предлагается только пять заданий. Общее число заданий в коллоквиуме равно 30-ти. Общее время, отводимое на коллоквиум, составляет 60 минут.

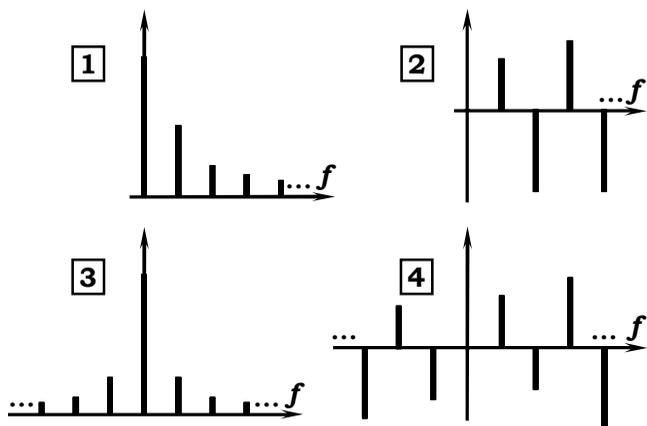
Категории 1 и 2 "Свойства спектров периодических и непериодических видеосигналов" объединяют задания, относящиеся к представленным выше теоретическим вопросам, указанным под номерами 1, 2 и 4. Задания данных категорий требуют лишь освоения основных понятий; для их решения, как правило, нет необходимости проводить численные расчёты. "Стоимость" заданий 1-й и 2-й категорий составляет только один балл.

Ниже приведены примеры заданий категорий 1 и 2.

Задание 1 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Гармонический спектр амплитуд периодического видеосигнала показан на рисунке под номером ...

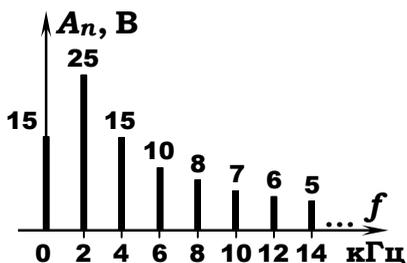


Ответ: ...

Задание 2 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Основная частота периодического сигнала, спектр которого показан на рисунке, составляет ... кГц.

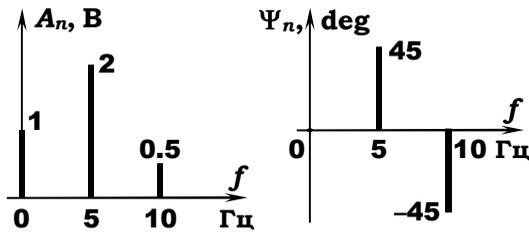


Ответ: ...

**Задание 3** (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

На рисунке ниже изображен гармонический спектр следующего периодического сигнала: ...



Варианты ответа:

- 1)  $2 + \cos(20\pi \cdot t - 45^\circ) - 0.5 \cos(40\pi \cdot t + 45^\circ)$  ;
- 2)  $1 + \cos(10\pi \cdot t - 45^\circ) + 0.5 \cos(20\pi \cdot t + 45^\circ)$  ;
- 3)  $1 + 2 \cos(10\pi \cdot t + 45^\circ) + 0.5 \cos(20\pi \cdot t - 45^\circ)$  ;
- 4)  $0.5 - \cos(10\pi \cdot t - 45^\circ) - \cos(20\pi \cdot t + 45^\circ)$  ;
- 5)  $1 + 2 \cos(5 \cdot t - 45^\circ) + 0.5 \cos(10 \cdot t + 45^\circ)$  .

**Задание 4** (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Размерность спектральной плотности амплитуд одиночного импульса тока – ...

Варианты ответа:

- |                  |                             |
|------------------|-----------------------------|
| 1) А;            | 5) $A^2/c$ ;                |
| 2) В;            | 6) $A \cdot \Gamma_{ц}^2$ ; |
| 3) $A \cdot m$ ; | 7) $A/\Gamma_{ц}$ ;         |
| 4) $A/c$ ;       | 8) $A \cdot B \cdot c$ .    |

Категория 3 включает в себя задания, относящиеся к тем же теоретическим вопросам, что и задания 1-й и 2-й категорий. Однако задания 3-й категории в отличие от предыдущих требуют выполнения численных расчётов.

"Стоимость" заданий 3-й категории составляет два балла. Ниже приведены примеры заданий 3-й категории.

Задание 5 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Расчётное значение коэффициента комплексного ряда Фурье исследуемого видеосигнала указано на рисунке:

$$\dot{C}_{-1} = -100 + j100 \text{ В}$$

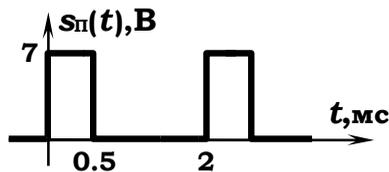
Тогда начальная фаза первой гармоники сигнала составляет ... градусов.

Ответ: ...

Задание 6 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Постоянная составляющая показанного на рисунке периодического сигнала равна ... В.



Ответ: ...

Категория 4 "Спектры типовых видеосигналов" объединяет задания, относящиеся к указанным выше теоретическим вопросам 5 и частично 6 (с акцентом на анализ спектральных характеристик непериодических сигналов).

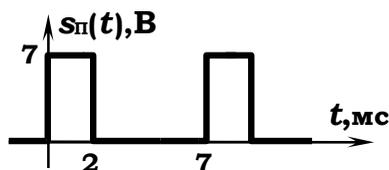
"Стоимость" заданий 4-й категории составляет два балла.

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 4.

Задание 7 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Из спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов со скважностью 3.5 выпадает первой по счёту гармоника с номером ...



Ответ: ...

Задание 8 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Импульсный сигнал описывается функцией  $200 \cdot \text{rect}\left(\frac{t}{\tau}\right)$  В,

где  $\tau = \frac{1}{8}$  мс. Значение его спектральной плотности амплитуд на частоте 4 кГц составляет ... В/кГц. Ответ перед вводом следует округлить до целого значения.

Ответ: ...

Категория 5 "Энергетические характеристики видеосигналов. Ширина спектра видеосигнала" включает практические задания, соответствующие теоретическим вопросам под номерами 3 и 6 (частично).

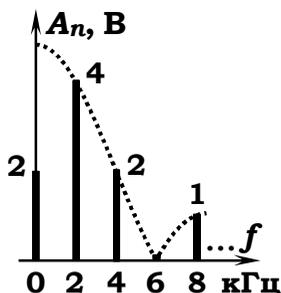
"Стоимость" заданий 5-й категории составляет два балла.

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 5.

Задание 9 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Средняя за период мощность сигнала, определяемая по первым пяти указанным на рисунке гармоническим составляющим в его спектре, равна ... вольт в квадрате.



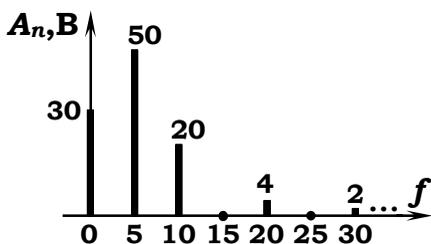
Ответ: ...

Задание 10 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Практическая ширина спектра видеосигнала, оцениваемая по заданному уровню (0.08) от амплитуды первой гармоники, составляет ... кГц.

Ответ: ...

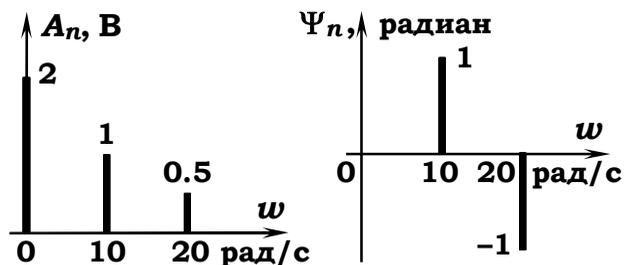


Категория 6 "Теоремы о спектрах" включает практические задания, соответствующие 7-му теоретическому вопросу. "Стоимость" заданий 6-й категории составляет два балла. Ниже приведены примеры типовых заданий категории 6.

Задание 11 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Спектр сигнала  $s(t)$  показан на рисунке. Начальная фаза второй гармоники сигнала  $v(t) = (-2) \cdot s(t)$  будет примерно равна ... градусам.



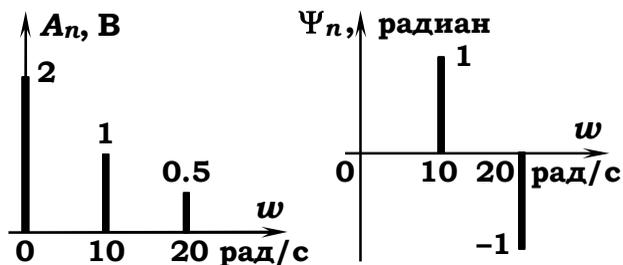
Варианты ответа:

- |             |            |
|-------------|------------|
| 1) $-114$ ; | 4) $123$ ; |
| 2) $-57$ ;  | 5) $179$ . |
| 3) $0$ ;    |            |

Задание 12 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа).

Формулировка задания:

Сигнал  $v(t)$  запаздывает на время 0.1 с относительно сигнала  $s(t)$ , обладающего спектром, показанным на рисунке. Начальная фаза первой гармоники в составе запаздывающего сигнала  $v(t)$  равна ... радиан.



Ответ: ...

В демо-версии коллоквиума, которую можно скачать в лаборатории 216/3, представлены все указанные задания.

При подготовке к коллоквиуму следует иметь в виду, что основная база заданий постоянно обновляется и дополняется.

## Коллоквиум № 2

### МОДУЛИРОВАННЫЕ СИГНАЛЫ

#### Теоретические вопросы для проработки

1. Сущность амплитудной модуляции. Идеальный амплитудный модулятор и его характеристики. Модулирующее, модулируемое и модулированное колебания. Тональная и много-тональная модуляция. Временные диаграммы амплитудно-модулированных (АМ-) колебаний при тональной модуляции и модуляции произвольным периодическим сигналом. Вариации диаграмм при изменении параметров модулирующего и модулируемого колебаний, модулятора. Явление перемодуляции. Идентификация модулирующего колебания по временной диаграмме АМ-колебания.

2. Коэффициент амплитудной модуляции, его физический смысл, методика оценки, практические ограничения. Вариации коэффициента модуляции при изменении параметров модулирующего и модулируемого колебаний, модулятора.

3. Частотные характеристики АМ-колебаний при тональной модуляции и модуляции произвольным периодическим сигналом. Соответствие спектра модулирующего и модулированного колебаний. Практическая ширина спектра АМ-сигнала. Вариации спектра АМ-сигнала при изменении параметров модулирующего и модулируемого колебаний, модулятора.

4. Энергетические характеристики АМ-сигналов. Способы расчета средней за большой интервал времени мощности АМ-колебания. Соотношение между пиковой, средней мощностью и мощностью в режиме "молчания", совокупной мощностью боковых и мощностью несущей. Колебания с балансной и однополосной модуляцией.

5. Сущность частотной модуляции. Идеальный частотный модулятор и его характеристики. Закон изменения мгню-

венной частоты и набега фазы частотно-модулированного (ЧМ-) сигнала. Временные диаграммы ЧМ-сигнала при модуляции многотональным видеосигналом; методика построения. Идентификация модулирующего сигнала по временной диаграмме ЧМ-колебания.

6. Сущность фазовой модуляции. Идеальный фазовый модулятор. Закон изменения набега фазы и мгновенной частоты фазомодулированного (ФМ-) сигнала. Временные диаграммы ФМ-сигнала при модуляции многотональным видеосигналом; методика построения. Идентификация модулирующего сигнала по временной диаграмме ЧМ-колебания. Связь частотной и фазовой модуляций. Угловая модуляция. Энергетические характеристики сигналов с угловой модуляцией.

7. Параметры сигналов с угловой модуляцией: девиация частоты и индекс модуляции ЧМ- и ФМ-сигнала; методика расчёта. Ведущий (основной) параметр сигнала с угловой модуляцией. Вариации девиации частоты и индекса модуляции при изменении параметров модулятора и модулирующего сигнала, модулятора.

8. Гармонический спектр сигнала с угловой тональной модуляцией. Расчет с использованием функций Бесселя. Влияние на спектральные характеристики ЧМ- и ФМ-сигнала параметров модулирующего и модулируемого колебания, модулятора. Практическая ширина спектра ЧМ- и ФМ-сигнала; ее вариации при изменении параметров модулятора и модулирующего сигнала. Методика оценки ширины спектра при многотональной угловой модуляции. Спектр ЧМ-сигнала при модуляции последовательностью пилообразных импульсов.

### **Учебная литература для подготовки**

- [1, с. 72-91], [2, с. 88-108],  
[3, с. 85-101; 104-106], [4, с. 52-85], [5, с. 22-32],  
[6, с. 138-155].

## Общая характеристика коллоквиума и его заданий

База заданий коллоквиума разделена на пять категорий. "Стоимость" заданий каждой категории – два балла. Из каждой категории на коллоквиуме предлагается пять заданий. Общее число заданий в коллоквиуме – 25. Общее время, отводимое на коллоквиум, составляет 60 минут.

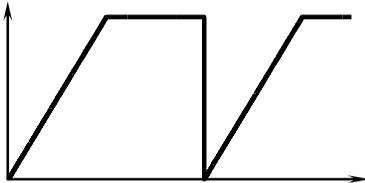
Категория 1 "Временные характеристики АМ-сигналов" объединяет задания, относящиеся к представленным выше теоретическим вопросам 1, 2 и частично 4 (с акцентом на использовании временных характеристик как АМ-сигнала, так и модулирующего колебания).

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 1.

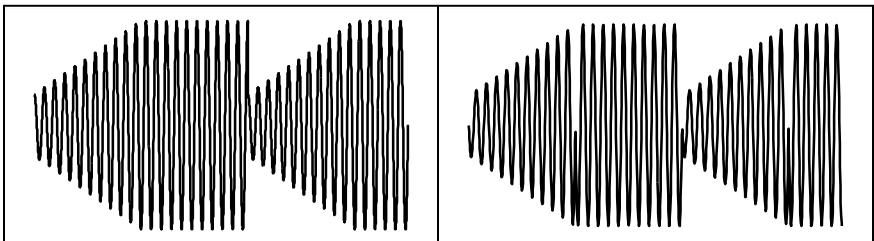
Задание 1 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

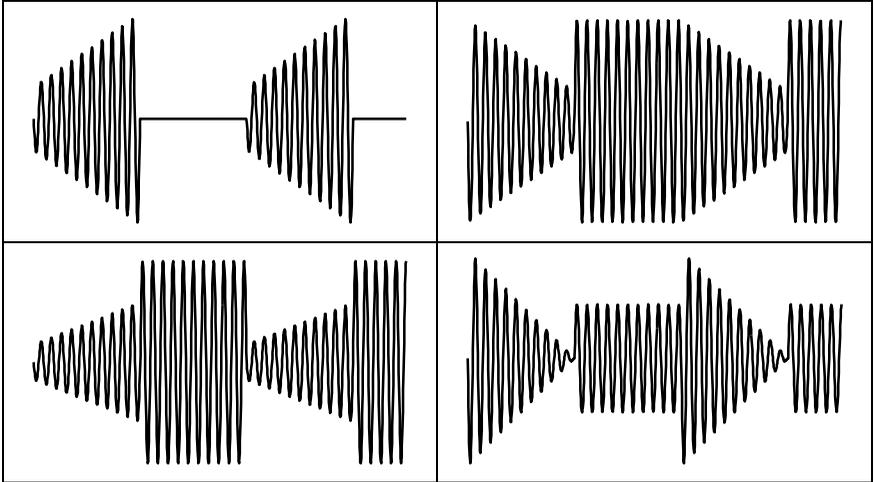
Формулировка задания:

На рисунке изображён информационный сигнал, управляющий амплитудой радиосигнала. Временная диаграмма соответствующего АМ-сигнала показана на рисунке ...



Варианты ответа:

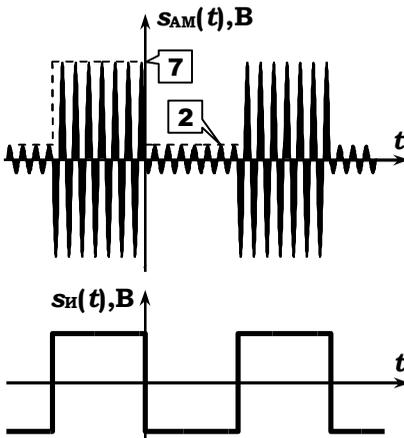




Задание 2 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

На рисунке изображён АМ-сигнал на выходе модулятора. Амплитуда информационного сигнала, управляющего амплитудой радиосигнала, составляет 2.5 В. Крутизна модулятора – ...

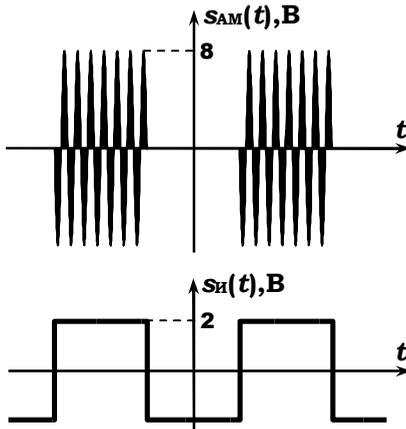


Ответ: ...

Задание 3 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчета).

Формулировка задания:

Ниже показан АМ-сигнал и соответствующий ему информационный сигнал. Если амплитуда несущей на входе модулятора увеличится на 1 В, коэффициент модуляции составит ...



Ответ: ...

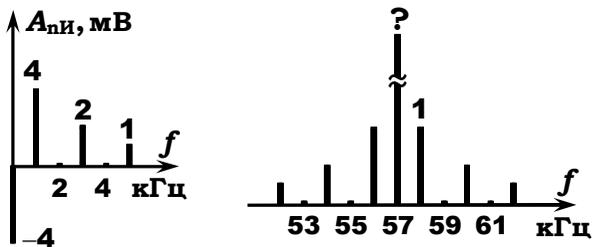
Категория 2 "Частотные характеристики АМ-сигналов" объединяет задания к вопросам 3 и частично 2, 4 (с акцентом на использовании спектральных характеристик АМ-сигнала).

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 2.

Задание 4 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

Гармонические спектры амплитуд колебаний на входе и выходе амплитудного модулятора показаны на рисунке. Амплитуда несущей на входе модулятора 5 В. В гармоническом спектре амплитуд выходного АМ-сигнала амплитуда гармоники с частотой 57 кГц равна ... В.

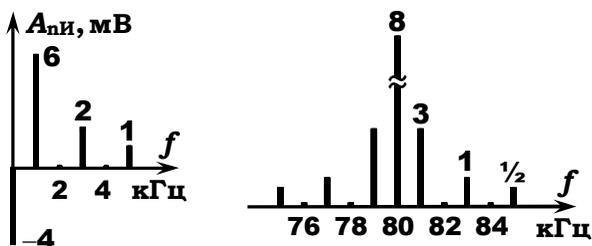


Ответ: ...

**Задание 5** (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

Гармонические спектры сигналов на входе и выходе амплитудного модулятора показаны на рисунке. Частота несущей увеличилась на 6 кГц, период модулирующего сигнала уменьшился в два раза. Тогда амплитуда гармоники АМ-сигнала с частотой 80 кГц станет равной ... В.



Ответ: ...

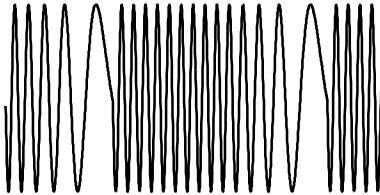
Категория 3 "Временные характеристики ЧМ-сигналов" объединяет задания, относящиеся к представленным выше теоретическим вопросам 5 и частично 7 (с акцентом на использовании временных характеристик ЧМ-сигнала).

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 3.

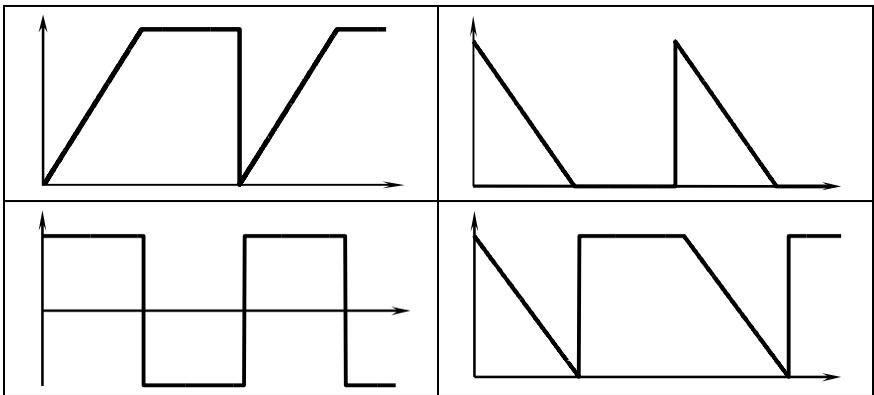
Задание 6 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

На рисунке показан сигнал на выходе идеального частотного модулятора. Управляющий частотой информационный сигнал на входе модулятора изображен на рисунке ...



Варианты ответа:



Задание 7 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

Девияция частоты колебания

$$u(t) = 4 \cdot \cos[2\pi \cdot 10^6 \cdot t - 2.5 \cdot \sin(4 \cdot 10^4 \cdot t + 120^\circ)], \text{ В}$$

составляет ... кГц. Ответ округлить до целого.

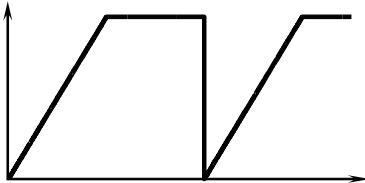
Ответ: ...

Категория 4 "Временные характеристики ФМ-сигналов" объединяет задания к вопросам 6 и частично 7 (с акцентом на использовании временных характеристик ФМ-сигнала).

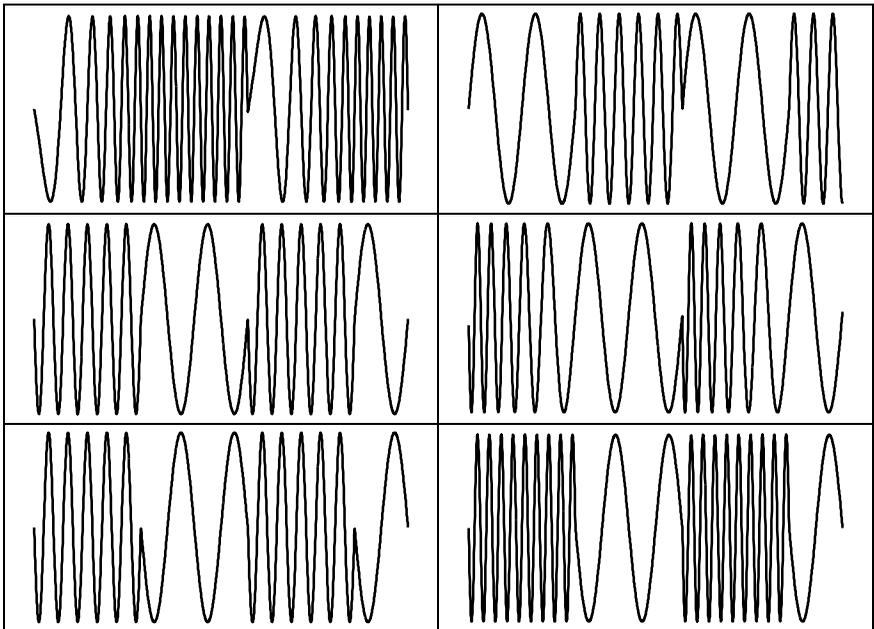
Задание 8 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

На рисунке показан информационный сигнал на входе идеального фазового модулятора. Соответствующее ФМ-колебание показано на рисунке ...



Варианты ответа:



Задание 9 (тип задания – с выбором нескольких правильных вариантов ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Значение девиации частоты ФМ-сигнала зависит от ...

Варианты ответа:

1) крутизны модулятора;	4) амплитуды модулирующего сигнала;
2) частоты модуляции;	5) индекса модуляции;
3) амплитуды несущей;	6) частоты несущего колебания;
7) длительности модулирующего сигнала.	

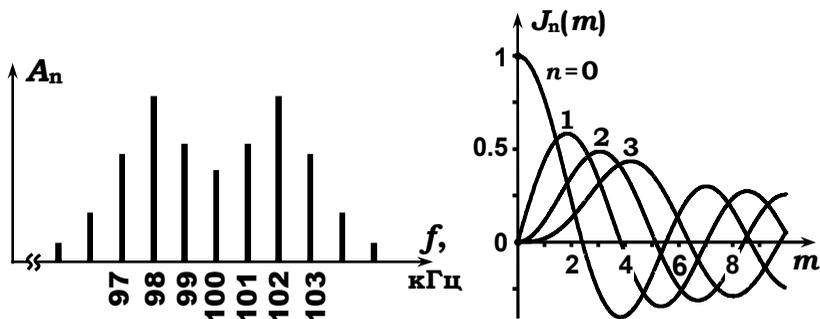
Категория 5 "Частотные характеристики сигналов с угловой модуляцией" объединяет задания к вопросу 8.

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 5.

Задание 10 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Имеется спектр ЧМ-сигнала при тональной модуляции. Индекс модуляции равен 3. При увеличении частоты модуляции вдвое амплитуды гармоник с частотами  $99 \div 101$  кГц ...

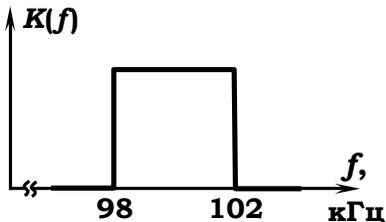


Варианты ответа: уменьшатся; увеличатся; не изменятся.

**Задание 11** (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

На частотный модулятор с крутизной  $15 \cdot 10^3$  рад/(В·с) подается модулирующий сигнал  $0.4 \cdot \cos(2 \cdot 10^3 \cdot t)$ , В и несущее колебание  $4 \cdot \cos(2\pi \cdot 10^5 \cdot t)$ , В. ЧМ-колебание пропускается через идеальный полосовой фильтр с АЧХ, показанной на рисунке. Вызываемые фильтрацией искажения оказываются ...



- Варианты ответа: 1) пренебрежимо малы;  
2) ощутимыми;  
3) таковыми, что полностью искажают сигнал.

**Задание 12** (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

Практическая ширина спектра колебания  $5 \cdot \cos[2\pi \cdot 10^6 \cdot t + 7 \cdot \cos(6\pi \cdot 10^3 \cdot t + 40^\circ)]$ , В составляет ... кГц.

Ответ: ...

В демо-версии коллоквиума, которую можно скачать в лаборатории 216/3, представлены задания под номерами 1, 3 ÷ 11. "Стоимость" каждого задания в демо-версии – пять баллов, в основной версии коллоквиума – два балла.

Основная база заданий постоянно обновляется и дополняется.

## Коллоквиум № 3

# ЦЕПИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

### Теоретические вопросы для проработки

1. Графический способ расчёта отклика нелинейного сопротивления (НС) на гармоническое воздействие. Качественный состав спектра тока НС. Соображения о принципах реализации выпрямителя, нелинейного усилителя, умножителя частоты. Требования, накладываемые на характеристики фильтров таких устройств.

2. Аналитический способ расчёта отклика НС на гармоническое воздействие. Полиномиальная интерполяция ВАХ НС: суть, условия и ограничения применения, методика расчёта (решение системы уравнений, интерполяционная формула Лагранжа) и смысл коэффициентов полинома, описывающего ВАХ в окрестности рабочей точки. Перерасчёт коэффициентов полинома при изменении положения рабочей точки.

3. Расчёт спектра тока НС при описании ВАХ полиномом; формулы для расчёта постоянной составляющей, амплитуд первой, второй и третьей гармоник. Приближённый метод трёх ординат.

4. Полигональная аппроксимация ВАХ НС: суть, условия и ограничения применения, методика аппроксимации. Явление отсечки тока НС при аппроксимации ВАХ кусочно-линейной функцией. Угол отсечки: аналитический расчёт и экспериментальное определение по временной диаграмме тока. Способы управления углом отсечки.

5. Расчёт спектра тока НС с отсечкой. Формулы для постоянной составляющей, амплитуд первой и второй гармоник тока. Коэффициенты Берга «гамма»: смысл, графики. Опти-

мальные углы отсечки для гармоник разных номеров при управлении углом отсечки за счёт изменения смещения рабочей точки. Коэффициенты Берга «альфа»: смысл, графики; оптимальные значения угла отсечки.

6. Электрическая схема нелинейного резонансного усилителя (НРУ). Понятие о динамическом и статическом режимах работы НРУ. Отличие динамической проходной ВАХ транзистора от статической. Классификация режимов работы НРУ по степени напряжённости на выходе: недонапряжённый, критический и перенапряжённый режимы. Краткая характеристика режимов, реализуемые коэффициенты усиления, КПД, уровень нелинейных искажений.

7. Квазилинейный режим работы нелинейного усилителя: условия реализации, допущения при анализе. Понятие колебательной характеристики (КХ) усилителя и её применение для анализа НРУ. Статическая КХ: внешний вид, методика расчёта при полиномиальной и полигональной аппроксимации ВАХ, ограниченность применения. Динамическая КХ: внешний вид, сходство и отличие от статической, методика расчёта в недонапряжённом режиме по статической характеристике, управляющее напряжение и его связь с фактическим. Средняя по первой гармонике крутизна проходной ВАХ транзистора и её зависимость от амплитуды входного воздействия. Квазилинейная схема замещения НРУ в недонапряжённом режиме. Методика расчёта управляющего напряжения и средней по первой гармонике крутизны транзистора. Расчёт коэффициента усиления НРУ на резонансной частоте.

8. Нелинейное усиление АМ-колебаний. Условие, накладываемое на колебательную характеристику резонансного усилителя для обеспечения усиления с минимальными нелинейными искажениями. Желательный вид задействованного участка проходной ВАХ транзистора при полиномиальном описании ВАХ, оптимальный угол отсечки при полигональном описании

ВАХ. Особенности нелинейного усиления колебаний с угловой модуляцией. Наиболее оптимальный режим по степени напряжённости на выходе усилителя.

9. Энергетические характеристики НРУ. КПД: сопоставление достижимых значений в линейном, нелинейном недо-напряжённом и критическом (перенапряжённом) режимах работы. Зависимость КПД от угла отсечки тока. Противоречивость требований обеспечения максимального усиления и КПД в НРУ. Оптимальные значения угла отсечки тока.

### **Учебная литература для подготовки**

[1, с. 311-312; 315-323; 326-332],  
[2, с. 266-278], [3, с. 174-183; 188-194],  
[4, с. 105-143], [7, с. 6-7; 28-45],  
[8, с. 4-28; 142-146].

### **Общая характеристика коллоквиума и его заданий**

База заданий коллоквиума разделена на пять категорий. "Стоимость" заданий каждой категории – два балла. Из каждой категории на коллоквиуме предлагается пять заданий. Общее число заданий в коллоквиуме – 25. Общее время, отводимое на коллоквиум, составляет 60 минут.

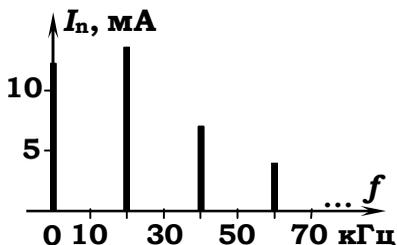
Категория 1 "Принцип нелинейного усиления колебаний. Характеристики нелинейных усилителей" объединяет задания, относящиеся к представленным выше теоретическим вопросам 1, 6 и частично 7, 8 (в части, касающейся основных понятий и физических явлений).

Ниже приведены примеры некоторых типовых заданий 1-й категории.

**Задание 1** (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

При воздействии на нелинейное сопротивление гармонического напряжения спектр тока имеет вид, показанный на рисунке. Для реализации усилителя ток следует пропустить через фильтр, настроенный на частоту ... кГц и обладающий полосой пропускания ... кГц.



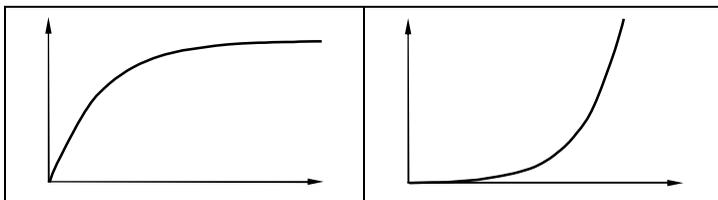
Варианты ответа: 0...45; 20...15; 30...10; 40...20; 50...50.

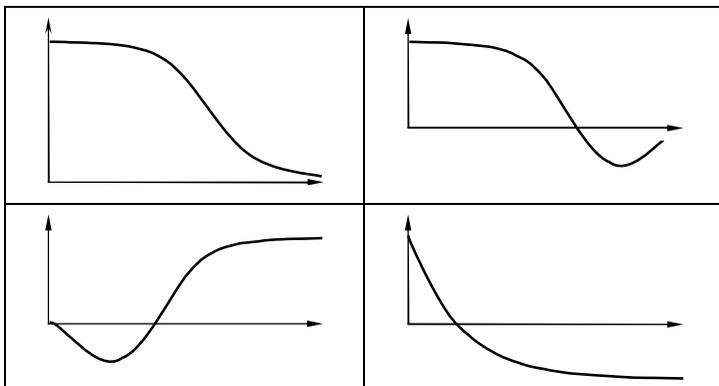
**Задание 2** (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Зависимость средней по первой гармонике крутизны динамической проходной характеристики транзистора, на котором построен нелинейный резонансный усилитель, от амплитуды усиливаемого напряжения показана на рисунке ...

Варианты ответа:





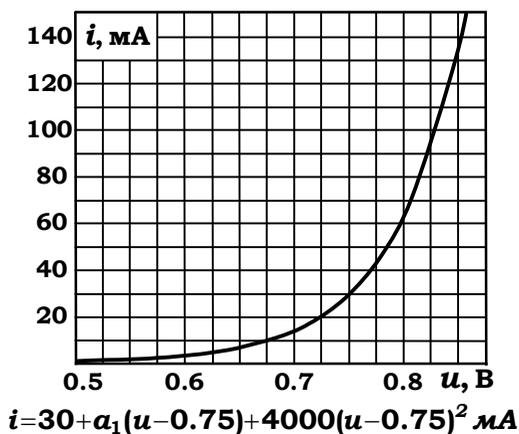
Категория 2 "Расчёт спектральных составляющих отклика нелинейного сопротивления при описании его ВАХ полиномом" объединяет задания к вопросам 2, 3.

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 2.

Задание 3 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

ВАХ нелинейного сопротивления описана в окрестности рабочей точки квадратичным полиномом (см. рисунок).



Неизвестный коэффициент полинома равен ... мА/В.

Варианты ответа: 5; 50; 100; 250; 500; 1000; 2500; 5000.

Задание 4 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

ВАХ транзистора описана в пределах рабочего участка полиномом:

$$i(u) = 100 - 180 \cdot u + 140 \cdot u^2 \text{ мА.}$$

Неизвестный коэффициент  $a_1$  полинома, адаптированного к рабочей точке  $U_0 = 1 \text{ В}$ , равен ... мА/В.

Ответ: ...

Задание 5 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

ВАХ транзистора описана в окрестности рабочей точки квадратичным полиномом:

$$i(u) = 8 + 150 \cdot (u - 0.6) + 1000 \cdot (u - 0.6)^2 \text{ мА.}$$

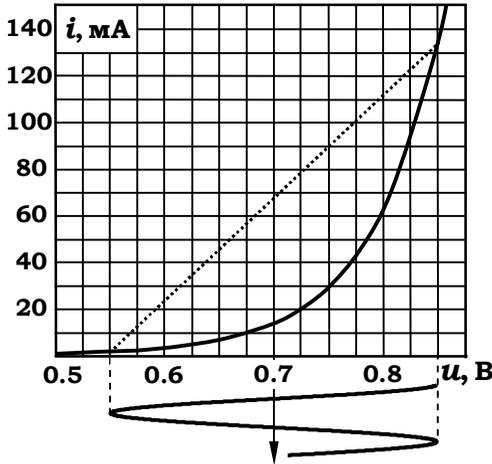
Амплитуда первой гармоники тока при воздействии на транзистор гармонического напряжения амплитудой 100 мВ составит ... мА.

Ответ: ...

Задание 6 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Постоянная составляющая тока нелинейного элемента, найденная методом трёх ординат, составляет ... мА.



Варианты ответа: 14; 26; 35; 42; 65; 70.

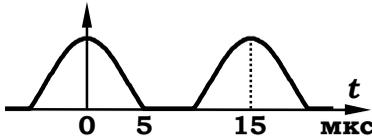
Категория 3 "Отсечка тока нелинейного сопротивления. Расчёт спектральных составляющих отклика при описании ВАХ сопротивления кусочно-линейной функцией" объединяет задания к вопросам 4, 5.

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 3.

Задание 7 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

Временная диаграмма тока нелинейного элемента с отсечкой показана на рисунке.



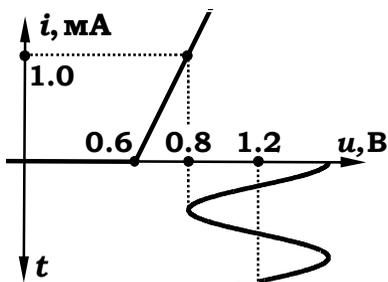
Угол отсечки составляет ... градусов.

Ответ: ...

**Задание 8** (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

При воздействии на нелинейный элемент гармонического напряжения угол отсечки тока составляет ... градусов.

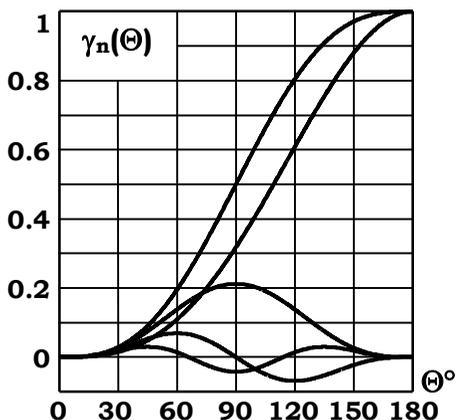


Ответ: ...

**Задание 9** (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Амплитуда первой гармоники тока с отсечкой 120 градусов при крутизне наклонного луча ВАХ 100 мА/В и амплитуде входного напряжения 0.3 В составляет ... мА.



Варианты ответа: 6; 12; 24; 32; 48; 64; 128.

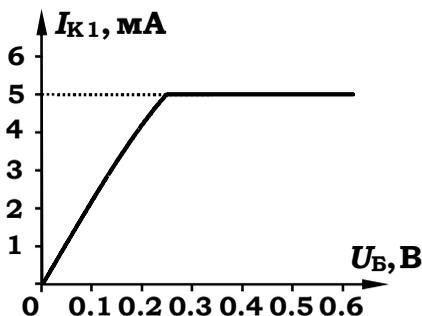
Категория 4 "Анализ нелинейного резонансного усилителя на основе квазилинейной схемы замещения" объединяет задания к 7-му вопросу.

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 4.

Задание 10 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

Коэффициент усиления усилителя, колебательная характеристика которого показана на рисунке, при амплитуде входного напряжения 0.5 В и резонансном сопротивлении контура 1 кОм составляет ...

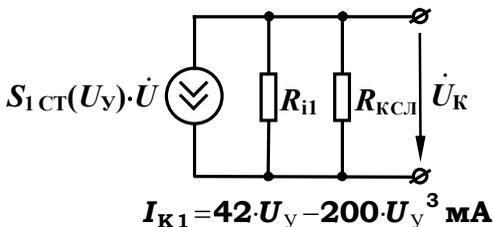


Ответ: ...

Задание 11 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

На рисунке показана квазилинейная схема замещения нелинейного резонансного усилителя, ниже выражение статической колебательной характеристики. При  $U = 0.1$  В и проницаемости транзистора  $D = 0.025$  неизвестный параметр  $R_{1i}$  источника тока равен ... кОм. Использовать для оценки  $S_{1ст}$  негрубое приближение.



Ответ: ...

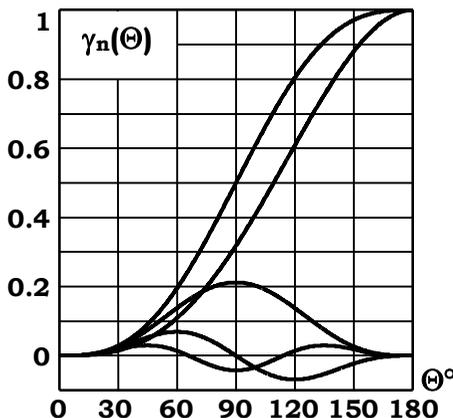
Категория 5 "Энергетические характеристики нелинейного усилителя. Минимизация искажений при нелинейном усилении радиосигналов" объединяет задания к вопросам 8 и 9.

Ниже приведены примеры типовых заданий категории 5.

Задание 12 (тип задания – с клавиатурным вводом числового ответа, требует проведения элементарного расчёта).

Формулировка задания:

Коэффициент полезного действия нелинейного резонансного усилителя, работающего с отсечкой тока  $120^\circ$ , при амплитуде выходного напряжения, равном напряжению питания, составляет ... процентов. Ответ округлить до целого значения.



Ответ: ...

Задание 13 (тип задания – с выбором одного правильного варианта ответа из предлагаемых).

Формулировка задания:

Нелинейные искажения при усилении амплитудно-модулированных сигналов посредством нелинейного резонансного усилителя минимальны при ... задействованном участке проходной ВАХ транзистора.

- Ответ: 1) равномерном;  
2) линейном;  
2) квадратичном;  
3) кубическом.

В демо-версии коллоквиума, которую можно скачать в лаборатории 216/3, представлены все приведенные выше задания – от 1 до 13. "Стоимость" каждого задания в демо-версии, так же как и в основной версии коллоквиума – два балла.

Основная база заданий постоянно обновляется и дополняется.

## Библиографический список

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов / И.С. Гоноровский. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Дрофа, 2006. – 719 с.

2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов по спец. "Радиотехника" / С.И. Баскаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 448 с.

3. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. пособие для вузов / Д.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков и др.; под ред. К.А. Самойло. – М.: Радио и связь, 1982. – 528 с.

4. Останков А.В. Задачник по курсу "Радиотехнические цепи и сигналы": учеб. пособие / А.В. Останков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Воронеж: ВГТУ, 2006. Ч. 1. – 165 с.

5. Токарев А.Б. Характеристики радиотехнических сигналов: учеб. пособие / А.Б. Токарев, А.В. Останков. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2007. – 149 с.

6. Останков А.В. Радиотехнические сигналы и линейные цепи для их обработки: исследование на основе имитационного моделирования: учеб. пособие / А.В. Останков. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. – 161 с.

7. Токарев А.Б. Нелинейные радиотехнические цепи и цепи с переменными параметрами: учеб. пособие / А.Б. Токарев. – Воронеж: ВГТУ, 1999. – 100 с.

8. Останков А.В. Нелинейные радиотехнические цепи: исследование на основе имитационного моделирования: учеб. пособие / А.В. Останков. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. – 158 с.

9. Контрольно-тестовая система (сетевая версия) KTCNet3. URL:[www.soft-5ye.xost.ru](http://www.soft-5ye.xost.ru) (дата обращения: 6.10.2012).

## Содержание

Введение .....	1
Технология проведения коллоквиумов .....	2
Коллоквиум № 1. Спектры видеосигналов .....	9
Коллоквиум № 2. Модулированные сигналы .....	18
Коллоквиум № 3. Цепи с нелинейными сопротивлениями при гармоническом воздействии .....	28
Заключение .....	38
Библиографический список .....	39

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по подготовке к электронным коллоквиумам № 1 - 3  
по дисциплине "Радиотехнические цепи и сигналы"  
для студентов специальности 210601.65 "Радиоэлектронные  
системы и комплексы" и бакалаврантов по направлению  
подготовки 210400.62 "Радиотехника",  
профилю "Радиотехнические средства передачи, приема и  
обработки сигналов" очной формы обучения

Составитель Останков Александр Витальевич

В авторской редакции

Подписано к изданию 25.10.2012.

Уч.-изд. л. 2,4. "С" .

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический  
университет"

394026 Воронеж, Московский просп., 14