

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению расчетно-графического задания по
дисциплине **“ПРИЕМ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ”**
для студентов дневной формы обучения
направления 6.050901 — “Радиотехника”

Севастополь
2012

Методические указания к выполнению расчетно-графического задания по дисциплине “Приём и обработка сигналов” для студентов дневной формы обучения направления 6.050901 — “Радиотехника” / СевНТУ; сост. С.Р. Зиборов. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. — 28 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам дневной формы обучения при выполнении и оформлении индивидуального расчетно-графического задания по дисциплине “Приём и обработка сигналов”.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники (протокол № ____ от _____ 2012 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний для студентов

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Савочкин А. А.

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций, доктор техн. наук, профессор Гимпелевич Ю. Б.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель расчётно-графического задания	4
2. Содержание и правила оформления РГЗ	4
3. Выполнение и защита РГЗ	5
4. Расчётно-графическое задание	6
4.1. Задача № 1	6
4.2. Задача № 2	8
4.3. Задача № 3	10
4.4. Задача № 4	12
4.5. Задача № 5	14
4.6. Задача № 6	17
4.7. Задача № 7	19
4.8. Задача № 8	21
Библиографический список	24
Приложение А Перечень используемых сокращений	25
Приложение Б Образец титульного листа	26

1. ЦЕЛЬ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Выполнение расчётно-графического задания (РГЗ) является самостоятельной работой студента при изучении первой части дисциплины “Приём и обработка сигналов” и имеют своей целью:

- систематизацию, закрепление и углубление теоретических знаний по изучаемой дисциплине;
- освоение методов расчета параметров радиоприёмника;
- развитие навыков расчета каскадов радиоприемника.

2. СОДЕРЖАНИЕ И ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РГЗ

Расчетно-графическое задание **состоит из восьми задач**. Индивидуальные варианты исходных данных для решения задач выбираются из таблиц в соответствии с порядковым номером фамилии студента в списке группы.

Задание оформляется в соответствии с требованиями кафедры к оформлению текстовых документов [1] на листах белой бумаги стандартного формата А4 (210х297 мм). Текст пишется разборчивым почерком с одной стороны листа чёрной, синей или фиолетовой пастой, либо набирается на персональном компьютере и затем печатается на принтере. При использовании компьютера текста набирается шрифтом размером 12 или 14 через 1,5 интервала и выравнивается по ширине строки. Каждый абзац текста должен начинаться с красной строки, имеющей отступ 10 мм.

Титульный лист выполняется в соответствии с образцом (см. приложение А) с обязательным указанием номера варианта выполняемого задания.

Решение каждой задачи оформляется в виде раздела работы, который рекомендуется начинать с нового листа. Заголовки разделов следует писать в виде слова “**Задача №...**” с указанием номера задачи и выравнивать по центру строки без абзацного отступа. Перед решением каждой задачи необходимо сформулировать ее условие и указать исходные данные для расчета в соответствии с выполняемым вариантом. В конце работы следует привести **перечень ссылок**, упоминаемых в тексте.

Терминология и определения, используемые в работе, должны соответствовать установленным стандартам и общепринятым нормам научно-технической литературы.

При выполнении расчетов перед каждой формулой приводятся необходимые пояснения. При постановке знаков препинания следует помнить, что формулы являются такими же частями предложения, как и слова. Формулы вписываются в текст с выравниванием по центру. Необходимо тщательно и разборчиво вписывать в формулы индексы и показатели степени. Формулы приводятся в буквенном виде, а затем с подставленными числовыми значениями величин. Результаты расчетов следует округлять до третьей значащей цифры, например $R \approx 12,3 \text{ Ом}$, $L \approx 0,0502 \text{ мкГн}$, $f = 134 \text{ кГц}$ и т. п.

При компьютерном наборе формул следует пользоваться редакторами формул (*Equation* или *MathType*), совместимыми с программой *Microsoft Word*. **Не допускается** вставлять в текст расчетные формулы, скопированные из программ

типа *Mathcad*, *Matlab* и т.п., поскольку в них, как правило, содержатся символы, недопустимые для использования в текстовых документах.

Числовые значения величин необходимо подставлять в формулы в основных единицах. Формулы, на которые делаются ссылки в дальнейшем тексте, нумеруют арабскими цифрами. Номер формулы записывается справа от формулы в круглых скобках с выравниванием последней скобки по правой кромке текста. **Формулы, на которые ссылки в дальнейшем тексте не делаются, не нумеруются.**

Ссылка на литературу, из которой заимствован метод расчета или расчётная формула, указывается в виде номера в квадратных скобках, под которым данный литературный источник упоминается в перечне ссылок, например, [2].

Таблицы и рисунки выполняются простым карандашом или чёрной пастой либо набираются на персональном компьютере.

Нумерация страниц, включая рисунки, таблицы и приложения, выполняется по порядку, начиная с титульного листа до последней страницы без пропусков, повторений и литерных добавлений. Первой страницей считается титульный лист, на котором цифра “1” не ставится. В верхнем правом углу страницы, следующей за титульным листом, проставляется цифра “2” и т.д.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ И ЗАЩИТА РГЗ

Расчетно-графическое задание выполняется студентами в седьмом семестре. **Первые четыре задачи** должны быть выполнены и сданы ведущему преподавателю до даты проведения первой модульной контрольной. **Последние четыре задачи** должны быть выполнены до даты проведения второй модульной контрольной.

Норма времени на выполнение каждой задачи 0,5...1 час. Содержание и последовательность задач соответствуют содержанию и последовательности тем, излагаемых на лекциях по дисциплине “Приём и обработка сигналов”.

На протяжении семестра ведущим преподавателем проводятся консультации с целью разъяснения вопросов, вызвавших затруднения при решении задач.

Во время защиты студент в течение 2...3 минут должен ответить на вопросы преподавателя по существу решенных задач.

4. РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

4.1. Задача № 1

Определить шумовую температуру T_A и коэффициент полезного действия η_A приёмной антенны в полосе частот Π , если известны шумовые температуры антенны T_Σ , обусловленная внешними помехами, физическая температура антенны T , сопротивление излучения R_Σ и сопротивление потерь R_Π антенны.

Рассчитать мощность и эффективную ЭДС шума на входе приёмника, имеющего коэффициент шума N , если фидер имеет коэффициент передачи K_Φ и согласован с антенной и входной цепью приёмника. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Исходные данные к задаче 1

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Π , кГц	0,2	$5 \cdot 10^4$	0,05	4	0,1	1,5	6	300	$4 \cdot 10^3$	0,5
T_Σ , К	1200	120	2000	650	1500	800	200	150	150	900
T , К	240	280	293	275	260	280	310	250	240	300
R_Σ , Ом	320	100	250	75	60	280	150	270	360	110
R_Π , Ом	12	9	14	8	5	4	15	6	10	3
K_Φ	0,2	0,6	0,1	0,5	0,8	0,7	0,4	0,3	0,9	0,1
N	2,2	3	1,4	1,8	1,5	2	1,6	4,5	1,7	1,6

Продолжение таблицы 4.1

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Π , кГц	$2 \cdot 10^4$	0,8	200	$6 \cdot 10^3$	50	3	10	180	12	8
T_Σ , К	160	1800	250	100	100	400	200	120	600	900
T , К	230	290	260	230	310	280	270	260	250	240
R_Σ , Ом	80	30	50	100	35	270	240	120	60	80
R_Π , Ом	6	2	7	11	1,5	8	8	5	6	4
K_Φ	0,3	0,2	0,8	0,3	0,1	0,5	0,4	0,7	0,2	0,9
N	4	6	2,5	1,5	5	3,5	4	2	1,8	3

Продолжение таблицы 4.1

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
П, кГц	4	100	10	200	6	10	3	22	$3 \cdot 10^4$	0,1
T_{Σ} , К	1800	200	900	150	900	1000	2000	500	110	1500
T , К	300	280	245	260	280	240	310	320	240	220
R_{Σ} , Ом	250	120	140	50	75	90	150	180	80	100
R_{Π} , Ом	12	2	15	12	4	8	7	10	5	3
K_{Φ}	0,75	0,3	0,9	0,1	0,7	0,6	0,8	0,2	0,4	1
N	4,5	8	7	2,5	4	2	6	3	5	2,5

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Помехи радиоприему”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 23...24], [3, стр. 25...26], [4, стр. — 104...105].

Коэффициент полезного действия приёмной антенны определяется соотношением

$$\eta = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_{\Pi}}.$$

Эквивалентная шумовая температура приёмной антенны может быть рассчитана по формуле

$$T_A = T_{\Sigma} + T(1 - \eta).$$

Мощность шумов на входе приёмника определяется соотношением

$$P_{\text{ш вх}} = kT_0 \Pi \left(\frac{N}{K_{\Phi}} + \frac{T_A}{T_0} - 1 \right),$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град — постоянная Больцмана; $T_0 = 290$ К — стандартная температура.

Эффективная ЭДС шумов на входе приёмника рассчитывается по формуле

$$E_{\text{ш}} = \sqrt{P_{\text{ш вх}} R_A}.$$

где $R_A = R_{\Sigma} + R_{\Pi}$ — эквивалентное сопротивление антенны.

4.2. Задача № 2

Определить входное сопротивление, коэффициент шума и шумовую температуру линейного тракта приёмника (рис. 4.1), подключённого к антенно-фидерному тракту с выходным сопротивлением $R_{\text{ф}} = 75 \text{ Ом}$. Значения коэффициентов передачи по мощности K_{pi} , коэффициентов шума N_i и коэффициентов рассогласования γ_i каскадов приёмника приведены в таблице 4.2.

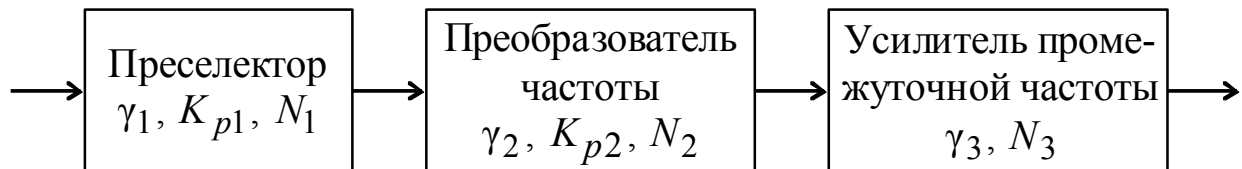


Рис. 4.1 — Структурная схема линейного тракта приёмника

Таблица 4.2 — Исходные данные задаче 2

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
γ_1	0,8	0,1	0,4	0,2	0,6	0,3	0,9	1	0,7	0,5
K_{p1}	0,5	20	4	0,4	1,5	10	2,5	15	0,8	5
N_1	1,5	1,8	2	1,6	3	2,5	1,6	2,1	1,9	3
γ_2	1	0,6	0,9	0,5	0,1	0,4	0,3	0,8	0,2	0,7
K_{p2}	4	0,8	12	10	6	9	0,5	5	8	3
N_2	8	6	4	2	5	7	4	9	3	6
γ_3	0,3	0,6	0,2	1	0,5	0,9	0,4	0,6	0,8	0,2
N_3	10	12	18	11	9	25	3	30	2	8

Продолжение таблицы 4.2

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
γ_1	0,3	0,8	0,4	0,2	0,9	0,1	0,5	0,7	0,6	0,1
K_{p1}	8	2	1,5	3	5	18	6	4	12	3
N_1	2,4	1,8	2	1,5	4	5	3,2	1,6	1,3	3
γ_2	0,8	0,3	0,5	0,1	0,7	0,2	0,9	1	0,4	0,6
K_{p2}	10	4	6	7	1,2	5	3	0,8	2	8
N_2	12	2	5	2,5	1,6	3	2	2,4	6	4
γ_3	0,7	0,2	0,4	0,8	0,1	0,6	0,9	0,5	0,3	0,1
N_3	15	5	12	2	11	8	10	18	22	7

Продолжение таблицы 4.2

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
γ_1	0,4	0,2	0,3	0,5	0,8	0,1	0,6	0,9	0,7	0,2
K_{p1}	0,5	14	1,7	5	0,2	4	2	10	7	0,9
N_1	1,8	5	2	1,2	1,4	2,2	3	1,3	3,5	1,5
γ_2	0,2	0,4	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,6	0,2	0,8
K_{p2}	10	6,5	1,8	0,3	4	2	8	3	5	0,6
N_2	2	3	1,5	4	2,8	1,6	3	5	1,8	1,5
γ_3	0,2	0,6	0,8	0,3	0,7	0,9	0,1	0,5	0,4	0,2
N_3	4	15	1,5	6	5,5	6	13	10	3	2

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Помехи радиоприему”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 26...37, 46...48], [3, стр. 26...32], [4, стр. 104...108].

Для расчёта входного сопротивления линейного тракта приёмника $R_{вх}$ следует воспользоваться соотношением для коэффициента рассогласования преселектора с фидером

$$\gamma_1 = \frac{4 R_{\phi} R_{вх}}{(R_{\phi} + R_{вх})^2}.$$

Решая данное уравнение относительно $R_{вх}$, находим два возможных его значения и выбираем большее значение.

Коэффициент шума и шумовая температура линейного тракта приёмника определяются по формулам:

$$N = N_1 + \frac{1}{\gamma_1} \left(\gamma_2 \frac{N_2 - 1}{K_{p1}} + \gamma_3 \frac{N_3 - 1}{K_{p1} K_{p2}} \right);$$

$$T_{ш} = T_0 (N - 1),$$

где $T_0 = 293 \text{ К}$ — стандартная температура.

4.3. Задача № 3

Приёмник, имеющий шумовую полосу пропускания $\Pi_{\text{ш}}$ и коэффициент шума N , подключен к приемной антенне с помощью фидера, согласованного с антенной и входной цепью приёмника. Фидер имеет коэффициент передачи по напряжению $K_{\text{ф}}$. Приёмная антенна имеет шумовую температуру $T_{\text{А}}$, сопротивление излучения R_{Σ} и сопротивление потерь R_{Π} .

Рассчитайте реальную чувствительность приемника в единицах мощности и напряжения, эффективную шумовую температуру приемника, а также отношение мощности сигнала к мощности шума на входе приемника, полагая, что отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе приемника равно $q_{\text{вых}}$. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 — Исходные данные к задаче 3

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Pi_{\text{ш}}$, кГц	0,2	50	0,5	3	0,3	1,5	6	300	4	0,5
$T_{\text{А}}$, К	500	800	1000	400	1500	300	1800	1100	600	700
R_{Σ} , Ом	200	100	120	75	60	180	150	270	160	130
R_{Π} , Ом	18	10	14	15	5	4	19	20	12	3
$K_{\text{ф}}$	0,2	0,6	0,1	0,5	0,8	0,7	0,4	0,3	0,9	0,1
N	4	80	5	8	25	12	32	300	10	6
$q_{\text{вых}}$	2	4	5	10	3	6	12	2	10	8

Продолжение таблицы 4.3

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\Pi_{\text{ш}}$, кГц	200	18	0,5	60	5	3	80	180	12	8
$T_{\text{А}}$, К	1400	700	300	1100	450	900	800	250	1300	400
R_{Σ} , Ом	80	60	50	100	75	120	140	120	60	80
R_{Π} , Ом	6	3	7	11	2,5	17	8	5	6	4
$K_{\text{ф}}$	0,5	0,2	0,1	0,3	0,6	0,3	0,4	0,7	0,2	0,9
N	110	7	12	35	4	15	70	160	10	60
$q_{\text{вых}}$	2	5	8	2	12	10	3	2	14	12

Продолжение таблицы 4.3

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\Pi_{\text{ш}}, \text{кГц}$	4	100	10	200	6	70	3	22	400	0,1
$T_{\text{А}}, \text{К}$	1400	700	300	1100	450	900	800	250	1300	400
$R_{\Sigma}, \text{Ом}$	150	60	100	50	75	90	150	50	120	80
$R_{\Pi}, \text{Ом}$	12	20	15	1,2	4	8	7	10	5	3
K_{Φ}	0,7	0,3	0,9	0,1	0,5	0,6	0,8	0,4	0,4	0,2
N	3	120	9	220	8	90	30	18	250	10
$q_{\text{ВЫХ}}$	10	4	16	3	10	3	12	8	2	8

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Помехи радиоприему”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [5, стр. 25...26, 32...33], [6, стр. 104...108], [7, стр. 122...124].

Эффективная чувствительность приемника по мощности определяется по формуле

$$P_{\text{А}} = kT_0 \Pi_{\text{ш}} q_{\text{ВЫХ}} \left(\frac{N}{K_{\Phi}} + \frac{T_{\text{А}}}{T_0} - 1 \right),$$

а по напряжению — по формуле

$$E_{\text{А}} = \sqrt{P_{\text{А}} R_{\text{А}}},$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град — постоянная Больцмана; $T_0 = 290$ К — стандартная температура; $R_{\text{А}} = R_{\Sigma} + R_{\Pi}$ — эквивалентное сопротивление антенны.

Эффективная шумовая температура приемника рассчитывается по формуле

$$T_{\text{ш}} = (N - 1)T_0.$$

Отношение мощности сигнала к мощности шума на входе приемник определяется по формуле

$$q_{\text{ВХ}} = q_{\text{ВЫХ}} \left[1 + (N - 1) \frac{T_{\text{А}}}{T_0} \right].$$

4.4. Задача № 4

Одноконтурная входная цепь супергетеродинного приёмника, имеющего промежуточную частоту $f_{\text{пр}}$, перестраивается в частотном диапазоне от $f_{\text{сmin}}$ до $f_{\text{сmax}}$. Составить электрическую схему входной цепи вместе с антенной. Рассчитать и построить нормированные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) входной цепи при ее настройке на крайние частоты диапазона, полагая эквивалентную добротность контура равной $Q_3 = 100$. Рассчитать на крайних частотах диапазона полосу пропускания, коэффициент прямоугольности на уровне $\gamma = 0,1$, а также частотную избирательность входной цепи по прямому, зеркальному и соседнему каналам. При расчете положить, что расстройка по соседнему каналу составляет $\Delta f_{\text{ск}}$.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 — Исходные данные задаче 5

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{\text{сmin}}$, МГц	16	2	60	0,3	80	1,5	0,2	60	10	140
$f_{\text{сmax}}$, МГц	38	6	80	1	110	4	0,5	150	25	300
$f_{\text{пр}}$, МГц	45	20	6	0,5	10	0,5	0,15	12	75	35
$\Delta f_{\text{ск}}$, кГц	20	10	40	10	250	10	10	30	10	10
вид связи с антенной	BE1	АТ	BE2	К	Тр	BE1	BE2	АТ	К	Тр
вид связи с УРЧ	BE2	Тр	АТ	BE1	Тр	АТ	BE1	Тр	АТ	BE1
настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н

Продолжение таблицы 4.4

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$f_{\text{сmin}}$, МГц	3	0,7	90	0,3	8	15	2	60	12	5
$f_{\text{сmax}}$, МГц	10	2	200	0,8	16	20	3	100	30	12
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,4	0,5	40	0,2	2,5	30	0,3	15	85	40
$\Delta f_{\text{ск}}$, кГц	10	10	800	10	10	10	10	250	10	10
вид связи с антенной	АТ	BE1	BE2	Тр	К	АТ	BE1	Тр	АТ	К
вид связи с УРЧ	Тр	Тр	АТ	BE2	Тр	АТ	Тр	АТ	Тр	АТ
настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н

Продолжение таблицы 4.4

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$f_{c\min}$, МГц	0,6	250	6	20	0,3	15	140	3,5	12	55
$f_{c\max}$, МГц	1,5	400	15	50	0,8	35	250	8	22	75
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,12	120	0,5	3	0,2	1,5	30	1,2	50	10
$\Delta f_{\text{ск}}$, кГц	10	10	800	10	10	10	10	250	10	10
вид связи с антенной	BE2	BE1	Тр	К	BE1	К	Тр	А	К	Тр
вид связи с УРЧ	АТ	Тр	BE2	АТ	Тр	АТ	Тр	BE2	АТ	Тр
настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н

Примечание. В таблице приняты следующие сокращенные обозначения: BE1 — внешнеёмкостная связь; BE2 — внутриёмкостная связь; АТ — автотрансформаторная связь; Тр — трансформаторная связь; К — комбинированная связь; В — верхняя настройка гетеродина; Н — нижняя настройка гетеродина.

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Входные цепи”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 30...31, 54...60], [3, стр. 34...36, 39...52], [5, стр. 34...35, 45...46, 70...84].

При составлении электрической схемы входной цепи необходимо предусмотреть элементы, позволяющие выполнять ее настройку на заданную частоту (конденсатор переменной ёмкости или варикап), а также подстройку резонансной частоты (подстроечный конденсатор и катушка индуктивности с сердечником) в небольших пределах.

Расчет нормированной АЧХ входной цепи, настроенной на частоту f_c , следует выполнять по формуле

$$\gamma = \frac{f_c}{f} \sqrt{1 + Q_0^2 \left(\frac{f}{f_c} - \frac{f_c}{f} \right)^2},$$

где f — произвольная частота.

Прямой канал называется сигнал промежуточной частоты $f_{\text{пр}}$. Частота зеркального канала определяется по формуле $f_{\text{зк}} = f_c \pm 2f_{\text{пр}}$, в которой знак плюс соответствует верхней, а знак минус — нижней настройке гетеродина. Частота соседнего канала равна $f_{\text{ск}} = f_c + \Delta f_{\text{ск}}$.

Коэффициент прямоугольности АЧХ на заданном уровне γ_i определяется по формуле

$$K_{\text{пр}} = \Pi \gamma_i / \Pi_{0,7},$$

где $\Pi \gamma_i$ и $\Pi_{0,7}$ — полосы пропускания входной цепи на уровне γ_i и 0,7 соответственно.

4.5. Задача № 5

Одноконтурный транзисторный каскад УРЧ собран по схеме с общим эмиттером и настроен на частоту f_c . Транзистор и нагрузка подключены к контуру частично с коэффициентами включения m и n соответственно. Составить электрическую схему каскада. Используя исходные данные, приведенные в таблице 4.5, рассчитать собственные параметры LC -контура, отмеченные в таблице 4.6 прочерком, и также полосу пропускания и резонансный коэффициент усиления каскада. При расчете принять, что выходная проводимость транзистора $Y_{22} = 0,2/R_0$, а проводимость нагрузки $g_H = 2/R_0$, где R_0 — собственное резонансное сопротивление LC -контура. Выбрать тип транзистора и определить коэффициент устойчивого усиления каскада.

Таблица 4.5 — Исходные данные к задаче 5

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_c , МГц	2	60	—	0,6	250	—	30	0,3	—	4
L , мкГн	—	1,5	0,5	—	0,3	0,2	—	200	0,4	—
C , пФ	130	—	4	450	—	0,5	18	—	9	110
Q	—	—	28	—	—	110	—	—	64	—
r , Ом	—	22	—	—	8	—	—	25	—	—
R_0 , кОм	20	—	—	16	—	—	35	—	—	11
S , мСм	4	16	12	2	6	5	3	30	7	2,5
m	0,2	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,5	0,4	0,7	0,6
n	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,3	0,8	0,7	0,6	0,8
вид транзистора	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$

Продолжение таблицы 4.5

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
f_c , МГц	160	—	10	0,3	—	0,1	460	—	1,5	8
L , мкГн	0,3	25	—	90	1,2	—	0,1	2	—	12
C , пФ	—	41	62	—	18	6000	—	34	140	—
Q	—	87	—	—	64	—	—	84	—	—
r , Ом	7	—	—	2	—	—	8	—	—	6
R_0 , кОм	—	—	12	—	—	5	—	—	45	—
S , мСм	4	2,5	16	20	12	35	18	22	8	15
m	0,6	0,4	0,5	0,6	0,2	0,5	0,4	0,3	0,7	0,3
n	0,2	0,5	0,7	0,4	0,6	0,8	0,6	0,2	0,9	0,5
вид транзистора	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$	$n-p-n$	$p-n-p$

Продолжение таблицы 4.5

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
f_c , МГц	—	3	0,8	—	80	200	—	50	15	—
L , мкГн	4	—	80	1,5	—	0,3	0,5	—	5,1	60
C , пФ	25	90	—	27	5,5	—	3,5	9	—	400
Q	67	—	—	79	—	—	25	—	—	54
r , Ом	—	—	12	—	—	2,5	—	—	—	—
R_0 , кОм	—	35	—	—	31	—	—	15	—	—
S , мСм	22	14	8	25	6	4	20	12	18	32
m	0,1	0,2	0,7	0,3	0,5	0,4	0,6	0,2	0,3	0,1
n	0,8	0,4	0,6	0,5	0,9	0,7	0,3	0,8	0,6	0,5
вид транзистора	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>	<i>n-p-n</i>	<i>p-n-p</i>

Примечание. В таблице 4.5 приняты следующие обозначения параметров LC -контура: L , C — индуктивность и ёмкость; Q — собственная добротность; r — сопротивление потерь; R_0 — собственное резонансное сопротивление.

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Усилители радиочастоты”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 30...31, 77...78], [3, стр. 60...66], [4, стр. 20...24], [5, стр. 99...106, 119...120].

При составлении электрической схемы усилительного каскада следует обратить внимание на правильное включение элементов, обеспечивающих его режим работы по постоянному току. При этом возможно построение схемы как с одним, так и с двумя источниками питания. Необходимо предусмотреть в схеме элементы, позволяющие выполнять настройку каскада УРЧ на заданную частоту (конденсатор переменной ёмкости или варикап), а также подстройку его резонансной частоты (подстроечный конденсатор и катушка индуктивности с сердечником) в небольших пределах.

Параметры параллельного ненагруженного LC -контура:

— резонансная частота

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}};$$

— собственное резонансное сопротивление

$$R_0 = Q\rho = rQ^2,$$

где $\rho = 2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ — волновое сопротивление контура.

Параметры параллельного LC -контура нагруженного, выходным сопротивлением транзистора и сопротивлением нагрузки усилительного каскада:

— эквивалентное резонансное сопротивление

$$R_э = \frac{1}{m^2 Y_{22} + g_0 + n^2 g_n}.$$

— эквивалентную добротность

$$Q_э = \frac{R_э}{\rho};$$

— полоса пропускания на уровне -3 дБ

$$\Pi = \frac{f_0}{Q_э}.$$

Резонансный коэффициент усиления усилительного каскада рассчитывается по формуле

$$K_0 = mnSR_э.$$

Пользуясь справочной литературой, следует выбрать для каскадов УРЧ тип маломощного транзистора и рассчитать его прямую и обратную передаточные проводимости [5] (стр. 26..27):

$$|Y_{21э}| = \frac{h_{21э}}{h_{11э}(1 + h_{21э})\sqrt{1 + (f/f_s)^2}};$$

$$|Y_{12э}| \approx 2\pi f C_k,$$

где $h_{21э} \approx \beta_0$ — коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером; $h_{11э} \approx r_э + \frac{r_б}{h_{21э}}$ — входное сопротивление транзистора в схеме с общей базой; $f_s = r_э f_{гр} / r_б$ — граничная частота крутизны транзистора в схеме с общим эмиттером; $f_{гр}$ — граничная частота транзистора; $r_б = 3\tau_k / C_k$ — сопротивление базы транзистора; C_k — емкость коллекторного перехода; τ_k — постоянная времени цепи внутренней обратной связи транзистора; $r_э \approx (10...15)$ Ом — сопротивление эмиттерного перехода.

Коэффициент устойчивого усиления каскада с общим эмиттером определяется по следующей формуле

$$K_{уст} \approx 0,45 \sqrt{\frac{|Y_{21}|}{|Y_{12}|}}.$$

4.6. Задача № 6

Составить электрическую схему диодного смесителя и определить его внутренние и внешние параметры в режиме согласования с внешними устройствами, если вольтамперная характеристика диода аппроксимирована функцией $i = I_S (e^{au} - 1)$, а напряжение гетеродина имеет амплитуду $U_{mГ}$. Исходные данные для расчёта смесителя приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 — Исходные данные к задаче 6

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_S, A	10^{-8}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-5}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-11}	10^{-9}
$a, 1/B$	30	25	34	20	30	23	32	28	31	35
$U_{mГ}, B$	120	60	80	150	70	100	60	100	50	70

Продолжение таблицы 4.6

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I_S, A	10^{-5}	10^{-4}	10^{-9}	10^{-11}	10^{-5}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-4}	10^{-7}	10^{-10}
$a, 1/B$	31	28	36	33	25	30	38	26	24	32
$U_{mГ}, mB$	130	50	70	150	80	140	60	120	90	110

Продолжение таблицы 4.6

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
I_S, A	10^{-10}	10^{-8}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-5}	10^{-10}	10^{-8}
$a, 1/B$	36	28	32	34	25	30	35	24	31	25
$U_{mГ}, B$	130	80	120	90	110	60	80	100	110	70

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Преобразователи частоты”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, 160...167], [3, стр. 122...126], [4, стр. 50...51], [5, стр. 199...201].

Внутренними параметрами смесителя называют его Y -параметры. Смесительный диод в первом приближении рассматривают как симметричную активную нелинейную проводимость, которая изменяется периодически под действием напряжения гетеродина.

Крутизна преобразования диодного смесителя определяется по формуле

$$S_{\text{пр}} = g_{21\text{пр}} = g_{12\text{пр}} \approx I_s a I_1(aU_{\text{мг}})$$

где $I_1(aU_{\text{мг}})$ — модифицированная функция Бесселя первого порядка от мнимого аргумента $aU_{\text{мг}}$.

Входная и выходная проводимости диодного смесителя одинаковы и рассчитываются по формуле

$$g_{\text{пр}} = g_{11\text{пр}} = g_{22\text{пр}} \approx I_s a I_0(aU_{\text{мг}}),$$

где $I_0(aU_{\text{мг}})$ — модифицированная функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента $aU_{\text{мг}}$.

К внешним параметрам смесителя относят коэффициенты передачи прямого и обратного преобразования частоты, коэффициент передачи по мощности, а также входную и выходную проводимости смесителя.

В режиме согласования проводимость нагрузки $g_{\text{н}}$ смесителя равна его характеристической проводимости $g_{\text{х}}$

$$g_{\text{н}} = g_{\text{х}} = \sqrt{g_{\text{пр}}^2 - S_{\text{пр}}^2}.$$

При этом диодный смеситель имеет одинаковые коэффициенты прямого и обратного преобразования по напряжению

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{обр}} = \frac{S_{\text{пр}}}{g_{\text{пр}} + g_{\text{н}}},$$

а также равные входную и выходную проводимости $g_{\text{вх}} = g_{\text{вых}} = g_{\text{н}}$.

Коэффициент передачи по мощности смесителя определяется выражением

$$K_p = K_{\text{пр}}^2.$$

4.7. Задача № 7

Супергетеродинный приемник принимает сигналы в частотном диапазоне от $f_{c \min}$ до $f_{c \max}$ и имеет промежуточную частоту $f_{\text{пр}}$. Гетеродин приемника построен по схеме LC -автогенератора и перестраивается с помощью конденсатора переменной емкости.

Составьте электрическую схему и поясните назначение и принцип действия гетеродина. Укажите причины, вызывающие нестабильность частоты гетеродина.

Рассчитайте максимально возможное отклонение промежуточной частоты от заданного значения, а также среднеквадратическую нестабильности промежуточной частоты при настройке приемника на крайние частоты диапазона, если нестабильность емкости и индуктивности колебательного LC -контура гетеродина δ_C и δ_L соответственно. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 — Исходные данные к задаче 7

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{c \min}$, МГц	8	2	30	0,3	35	1,5	0,2	50	20	17
$f_{c \max}$, МГц	25	6	80	1	110	4	0,5	150	60	50
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,6	0,3	6	0,2	10	0,5	0,15	12	35	75
Настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
δ_C	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$9 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
δ_L	$9 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$

Продолжение таблицы 4.7

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{c \min}$, МГц	3	0,6	7	0,3	5	1,6	1	40	12	4
$f_{c \max}$, МГц	10	2	20	0,8	16	5	3	120	30	12
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,4	0,5	40	0,2	0,5	1	0,3	15	10	0,5
Настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
δ_C	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$7 \cdot 10^{-4}$
δ_L	$8 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$

Продолжение таблицы 4.7

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_{c \min}$, МГц	1,5	30	5	6	0,3	12	8	4	8	22
$f_{c \max}$, МГц	1,5	100	15	18	0,8	35	25	9	22	65
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,14	50	0,5	3	0,2	1,5	30	0,4	0,6	11
Настройка гетеродина	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н
δ_C	$9 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
δ_L	10^{-3}	$4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$

Примечание. В таблице 2.5 приняты следующие обозначения параметров: В — верхняя настройка гетеродина; Н — нижняя настройка гетеродина.

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Преобразователи частоты”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [3, стр. 107...108, 132...138], [5, 192].

Частота гетеродина определяются по формуле $f_{\Gamma} = f_c \pm f_{\text{пр}}$, где знак плюс соответствует верхней настройке гетеродина, а знак минус — нижней настройке гетеродина. Подставляя в эту формулу значения частоты сигнала и промежуточной частоты, заданные в таблице 2.5, определяем минимальную и максимальную частоты настройки гетеродина.

Максимально возможное отклонение промежуточной частоты от заданного значения, обусловленные изменением емкости и индуктивности LC -контура гетеродина, равно максимально возможному отклонению частоты гетеродина

$$\Delta_{\text{пр max}} = \Delta_{\Gamma \text{ max}} = \frac{f_{\Gamma}}{2} (\delta_C + \delta_L).$$

В случае верхней настройки гетеродина Среднеквадратическая нестабильность промежуточной частоты определяется по формуле

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{1}{2} \left(\frac{f_c}{f_{\text{пр}}} \pm 1 \right) \sqrt{\delta_C^2 + \delta_L^2},$$

где знак плюс соответствует верхней настройке гетеродина, а знак минус — нижней настройке гетеродина.

Используя выше приведенные формулы необходимо рассчитать требуемые по заданию нестабильности частоты при настройке приемника на минимальную, и максимальную частоты, заданные в таблице 4.7.

4.8. Задача № 8

На входе последовательного диодного амплитудного детектора действует амплитудно-модулированный сигнал с несущей частотой $f_{\text{пр}}$. Максимальная частота в спектре модулирующего сигнала равна F_{max} , средняя амплитуда модулированного сигнала — U_m , а коэффициент модуляции — m . Крутизна вольтамперной характеристики диода — S . Сопротивление цепи нагрузки детектора — R_H .

Составьте электрическую схему выходного каскада УПЧ, нагруженного последовательным диодным амплитудным детектором. Полагая режим детектирования линейным, рассчитайте входное сопротивление детектора, постоянную составляющую и амплитуду переменной составляющей выходного напряжения детектора. Определите ёмкость цепи нагрузки детектора, а также коэффициент частотных искажений на максимальной частоте модулирующих колебаний. Исходные данные для расчета приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 — Исходные данные к задаче 8

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_m , В	1,2	1,5	0,8	1,6	1,1	2	1,7	1	0,8	1,4
S , мСм	12	50	30	70	10	20	25	100	15	80
R_H , кОм	80	25	60	20	120	70	45	15	80	10
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,5	1	0,15	1,2	11	5	0,1	2	15	40
F_{max} , кГц	6	0,5	3	5	2	3,5	0,2	4	8	1,5
m	0,3	0,1	0,4	0,2	0,5	0,45	0,35	0,15	0,45	0,25

Продолжение таблицы 4.8

Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_m , В	1,2	1,7	1	0,6	1,3	0,9	1,5	1,8	1,4	2
S , мСм	35	40	20	50	18	30	15	100	25	20
R_H , кОм	40	25	70	20	85	45	90	12	70	55
$f_{\text{пр}}$, МГц	0,7	3	1	20	15	2,5	1,5	10	12	0,4
F_{max} , кГц	2,5	8	3	0,18	5	4,5	0,3	0,6	4	3,5
m	0,5	0,45	0,3	0,15	0,25	0,05	0,35	0,1	0,4	0,2

Продолжение таблицы 4.8

Параметр	Номер варианта									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U_m , В	1,5	1,8	0,7	1,6	0,9	1,1	1,2	1,4	1,3	1
S , мСм	120	30	70	10	80	15	25	110	20	65
R_H , кОм	10	50	20	140	20	85	60	12	80	25
$f_{пр}$, МГц	35	0,3	1,2	8	20	1	14	2,5	6	65
F_{max} , кГц	8	3,5	0,6	4	2,5	0,2	5	3	1,5	6
m	0,15	0,5	0,2	0,3	0,25	0,45	0,25	0,1	0,4	0,35

Указания к решению задачи

Задача соответствует теме “Амплитудные детекторы”, для изучения которой рекомендуется следующая литература: [2, стр. 176...180], [3, стр. 178...180, 192...194], [5, стр. 205...207, 222...229].

Рассчитываем угол отсечки тока диода

$$\theta \approx 3 \sqrt{\frac{3\pi}{SR}}.$$

Определяем коэффициент передачи детектора

$$K_d = \cos \theta.$$

Находим амплитуду переменной составляющей выходного напряжения детектора

$$U_{m\Omega} \approx K_d m U_m,$$

Входное сопротивление детектора определяется по формуле

$$R_{вх} \approx R_H / 2.$$

Определяем постоянную составляющую выходного напряжения детектора

$$U_0 = \frac{SR_H U_m (\sin \theta - \theta \cos \theta)}{\pi}.$$

В соответствии с условие (1.12) рассчитываем емкость цепи нагрузки детектора

$$C_H \approx \frac{1}{2\pi R_H \sqrt{f_{пр} F_{max}}}.$$

Находим сопротивление диода при работе с отсечкой тока

$$R_{ид} \approx \frac{\pi}{S\theta}.$$

Коэффициент частотных искажений на максимальной частоте модулирующих колебаний определяется по формуле

$$M_H = \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi F_{max} C_H R_{ид} R_H}{R_{ид} + R_H} \right)^2}.$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по оформлению текстовых работ для студентов дневной и заочной форм обучения направления 6.050901 — “Радиотехника” / СевНТУ. — сост. В. Г. Слезкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. — 20 с.
2. Онищук А.Г. Радиоприемные устройства: учеб. Пособие / А.Г. Онищук, И.И. Забеньков, А.М. Амелина. — Минск: Новое знание, 2007. — 240 с.
3. Радиоприемные устройства / А. Г. Зюко, Ю. Ф. Коробов, Г.И. Левитан и др.; Под ред. А. Г. Зюко. — М.: Связь, 1975. — 400 с.
4. Сборник задач и упражнений по курсу “Радиоприемные устройства”: Учебное пособие для вузов / Ю. Н. Антонов-Антипов, В. П. Васильев, И. В. Комаров и др.; Под ред. В. И. Сифорова. — М.: Радио и связь, 1984. — 224 с.
5. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств / М. К. Белкин, В. Т. Белинский, Ю. Л. Мазор, Р. М. Терещук. — К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. — 472 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АТ — автотрансформаторная связь
АЧХ — амплитудно-частотная характеристика
ВЕ1 — внешнеёмкостная связь
ВЕ2 — внутриёмкостная связь;
ЗК — зеркальный канал
ИС — интегральная схема
К — комбинированная связь
РГЗ — расчётно-графическое задание
Т — трансформаторная связь
УПЧ — усилитель промежуточной частоты
УРЧ — усилитель радиочастоты
ЭДС — электродвижущая сила

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Образец титульного листа

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
по дисциплине “Приём и обработки сигналов”
Вариант № _____

Выполнил: студент гр. _____

(фамилия, имя, отчество)

Защитил с оценкой _____

Руководитель: _____

(должность)

(фамилия, инициалы)

Севастополь
20__ г.

Заказ № _____ от “ _____ ” _____ 2012 г. Тираж _____ экз.
Изд-во СевНТУ