

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКО АВИАЦИИ**

**Кафедра радиотехнических устройств
В.Г. Сергеев**

«Прием и обработка сигналов»

Пособие по выполнению
контрольной работы

*для студентов IV курса
специальности 160905
заочного обучения*

Москва – 2008

1. Цель выполнения контрольной работы

Контрольная работа по дисциплине «Прием и обработка сигналов» выполняется в процессе проработки материалов курса, предусмотренного программой.

Целью выполнения работы является закрепление и углубление знаний по курсу, и применение их для решения инженерных задач. В процессе выполнения контрольного задания совершенствуются навыки расчета радиотехнических схем, обоснования выбора принятых решений. Предполагается умение пользоваться справочной и специальной литературой.

1. Содержание и темы контрольного задания

Темы контрольного задания выбираются по двум последним цифрам номера студенческого билета студента (номера зачетной книжки) из таб. 2.1.

Таблица 2.1.

Цифры номера зачетной книжки	Тема контрольного задания.
00, 10, ...90	Транзисторный усилитель радиочастоты
01, 11, ...91	Усилитель радиочастоты на микросхемах
02, 12, ...92	Цифровой фильтр нижних частот (аналоговый прототип - фильтр Чебышева)
03, 13, ...93	Цифровой фильтр нижних частот (аналоговый прототип - фильтр Баттерворта)
04, 14, ...94	Преобразователь частоты на транзисторах и микросхемах
05, 15, ...95	Диодный преобразователь частоты
06, 16, ...96	Режекторный цифровой фильтр
07, 17, ...97	Полосовой цифровой фильтр
08, 18, ...98	Цифровой фильтр верхних частот
09, 19, ...99	Усилитель промежуточной частоты на транзисторах и микросхемах

Исходные данные для выполнения контрольной работы приведены в табл. 2.2 ...2.11.

Данные для расчета транзисторного усилителя радиочастоты

Таблица 2.2.

Наименование параметров	Варианты заданий					
	00	10	20	30	40	50
Граничные частоты диапазона, МГц						
f_{\min}	66	0,52	98	118	1,6	4,1
f_{\max}	74	1,6	108	136	3,8	8,2
Тип активного прибора (В- выбрать)	2П-305	В	2П306	КП- 307	КТ-3127А	КТ-368А
Эл-т перестройки (В- варикап, ВМ- варик-ая матрица, ПК- переменный конденсатор)	В	ПК	ВМ	ВМ	В	ПК
Ослабление зеркальной помехи, дБ	20	26	22	20	26	30
Промежуточная частота (В- выбрать), МГц	6,8	0,465	10,7	10,7	0,5	В
Входная проводимость следующего каскада, мСм $ g_{11} $	0,025	2,0	0,015	0,02	2,5	2,2

Наименование параметров	Варианты заданий			
	60	70	80	90
Граничные частоты диапазона, МГц				
f_{\min}	12,1	0,2	1,64	5,1
f_{\max}	16,4	0,55	22,8	10,2
Тип активного прибора (В- выбрать)	КП- 350	В	2Т- 355А	В
Элемент перестройки (В- варикап, ВМ- варик-ая матрица, ПК- переменный конденсатор)	В	ПК	ВМ	В
Ослабление зеркальной помехи, дБ	24	26	32	30

Промежуточная частота (В- выбрать), МГц	0,5	В	В	0,5
Входная проводимость следующего каскада, мСм $ g_{11} $	0,01	2,5	3,0	2,4

По приведенным данным необходимо рассчитать однокаскадный одноконтурный УРЧ радиоприемного устройства. При этом требуется:

1. Составить принципиальную схему усилителя радиочастоты и его эквивалентную схему.
2. Рассчитать его основные электрические характеристики (коэффициент усиления, коэффициент устойчивого усиления, полосу пропускания и т.д.) для трех точек рабочего диапазона частот.
3. Построить зависимость резонансного коэффициента усиления УРЧ в рабочем диапазоне частот.
4. Рассчитать элементы схемы, задающие и стабилизирующие рабочую точку транзистора.

**Данные для расчета усилителя радиочастоты
с микросхемой в качестве активного прибора**

Таблица 2.3.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	01	11	21	31	41	51	61	71	81	91
Граничные частоты диапазона, МГц										
f_{\min}	0,3	0,52	25,0	21,45	15,1	118	88	9,5	11,5	22,4
f_{\max}	0,8	1,6	27,8	23,75	17,2	136	108	12,2	14,7	28,2
Тип микросхемы	175 УВ2	228 УВ3	235 УВ1	235 УР8	235 УР3	435 УВ1	435 ХП1	265 УР3	228 УВ1	265 УВ6
Элемент перестройки (В- варикап, VM- варикапная матрица, ПК- переменный конденсатор)	ПК	ПК	В	В	ПК	VM	VM	В	В	В
Ослабление зеркальной помехи, дБ	20	26	24	30	26	24	24	34	30	32
Промежуточная частота (В- выбрать), МГц	0,465	0,465	0,5	В	0,5	10,7	10,7	В	35,5	В
Входная проводимость следующего каскада, мСм g_{11}	0,25	0,32	1,8	1,6	1,0	5,0	4,5	1,0	1,2	1,6

По приведенным данным необходимо рассчитать однокаскадный, одноконтурный усилитель радиочастоты (УРЧ).

1. Составить принципиальную схему УРЧ, раскрыв структуру интегральной микросхемы, указать на какие выводы следует подать питающие напряжения.

2. Определить параметры микросхемы на средней частоте рабочего диапазона частот.

2. Рассчитать электрические характеристики УРЧ на трех частотах рабочего диапазона частот.

4. Построить зависимость резонансного коэффициента усиления УРЧ в рабочем диапазоне частот.

**Данные для расчета цифрового фильтра нижних частот
(аналоговый прототип – фильтр Чебышева)**

Таблица 2.4.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	02	12	22	32	42	52	62	72	82	92
Частота дискретизации, кГц	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
Верхняя граница полосы пропускания, кГц	2,3	3,1	3,4	3,5	4,1	4,5	4,7	5,0	5,2	6,0
Нижняя граница полосы задержания, кГц	4,8	5,2	6,0	7,2	8,0	8,4	10,2	10,0	9,0	9,8
Допустимая неравномерность в полосе пропускания, дБ	6,0	1,0	1,2	0,8	2,0	1,8	1,6	1,8	2,0	2,1
Затухание в полосе задержания, дБ	50	46	48	40	52	56	50	48	36	46

По приведенным данным требуется:

1. Определить порядок фильтра.
2. Найти его передаточную функцию $H(z)$.
3. Рассчитать коэффициенты a_i и b_i фильтра.
4. Нарисовать структурную схему фильтра.
5. Построить АЧХ фильтра.
6. Дать предложения по реализации цифрового фильтра.

**Данные для расчета цифрового фильтра нижних частот
(аналоговый прототип- фильтр Баттерворта)**

Таблица 2.5.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	03	13	23	33	43	53	63	73	83	93
Частота дискретизации, кГц	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Верхняя граница полосы пропускания, кГц	0,15	0,5	1,0	1,2	1,1	1,0	1,2	2,0	3,2	4,2
Нижняя граница полосы задержания, кГц	0,3	1,15	2,1	2,5	2,4	2,2	2,8	4,2	5,8	8,4
Допустимая неравномерность в полосе пропускания, дБ	0,5	1,0	1,2	1,1	1,0	0,25	1,2	1,2	1,4	1,6
Затухание в полосе задержания, дБ	25	20	18	12	16	20	15	12	16	18

По данным, приведенным в таблице 2.5., требуется:

1. Определить порядок фильтра.
2. Найти передаточную функцию фильтра.
3. Рассчитать коэффициенты a_i и b_i рекурсивного цифрового фильтра.
4. Нарисовать структурную схему ЦФ.
5. Построить АЧХ фильтра.
6. Дать рекомендации по реализации данного фильтра (серии микросхем, микропроцессоров и т. д.).

Данные для расчета преобразователя частоты при использовании в качестве нелинейного элемента микросхем и транзисторов

Таблица 2.6.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	04	14	24	34	44	54	64	74	84	94
Граничные частоты диапазона, мГц										
f_{\min}	12,1	6,8	118	64	88	27,2	18,2	108	0,016	44,2
f_{\max}	18,4	12,8	136	72	108	27,8	30,0	118	0,32	-
Тип активного прибора	175 УВ4	219П С1А	2Т- 368А	2П- 307	2П- 306А	228 УВ3	235 ПС1	435 ХА1	525 ПС2	265 УВ3
Промежуточная частота (В – выбрать), мГц	В	0,5	10,7	В	10,7	0,5	0,5	10,7	В	6,8
Избирательность по зеркальному каналу, дБ	36	26	20	42	20	26	24	22	20	24
Тип избирательной системы (В- выбрать)	В	ЭМФ	ПКФ	В	В	ЭМФ	ЭМФ	ПКФ	ФСИ	ФСИ
Коэффициент шума УПЧ, дБ	2,5	2,4	4,0	3,0	3,5	2,8	2,8	3,8	2,2	2,8
Входная проводимость УПЧ, мСм $ g_{11} $	2,2	2,0	3,2	0,025	0,015	2,2	1,8	2,4	0,1	2,1

По приведенным в таблице 2.6. данным необходимо рассчитать смесительный каскад преобразователя частоты РПУ:

1. Синтезировать принципиальную схему преобразователя частоты. Раскрыв структуру интегральной схемы, указать на какие выводы следует подать питающие напряжения.

2. Определить параметры преобразования активного прибора на средней частоте рабочего диапазона частот.

3. Рассчитать основные электрические характеристики преобразователя частоты (коэффициент преобразования, коэффициент шума преобразователя частоты, коэффициенты включения избирательной системы и т.д.).

4. Определить цепи, задающие и стабилизирующие рабочую точку активного прибора.

Данные для расчета диодного преобразователя частоты

Таблица 2.7.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	05	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Длина волны, см	10	3,2	3,2	2,0	3,0	10,2	12	2,4	9,6	1,8
Тип смесителя (О - одноктактный, БС - балансный смеситель, ДБС - двойной балансный смеситель)	БС	ДБС	БС	О	БС	ДБС	ДБС	БС	БС	О
Тип смесительного диода (В – выбрать)	2А-108А	2А-109А	3А-111А	3А-110А	В	Д-408	Д-403Б	1А-106В	2А-108А	В
Промежуточная ч-та (В-выбрать), мГц	В	30	30	90	30	30	В	60	30	В
Избирательность по зеркальному каналу, дБ	16	20	12	14	12	20	20	16	14	12
Коэф-т шума УПЧ, дБ	2,5	3,0	3,0	4,0	3,2	2,8	2,4	4,2	2,8	4,5

По приведенным в таблице 2.7. данным необходимо:

1. Разработать принципиальную схему диодного преобразователя частоты.

2. Рассчитать основные электрические характеристики преобразователя частоты (коэффициент преобразования, входное сопротивление, коэффициент шума ВЧ – головки приемника РЛС с учетом коэффициента шума УПЧ) и элементы контура промежуточной частоты.

3. Дать рекомендации по реализации конструкции диодного преобразователя частоты.

Данные для расчета режекторного цифрового фильтра

Таблица 2.8.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	06	16	26	36	46	56	66	76	86	96
Частота дискретизации, кГц	60	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Полоса задержания (в относительных частотах)										
f_{31}	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,2	0,22	0,23	0,22
f_{32}	0,125	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25
Затухание в полосе задержания, дБ	30	32	26	24	24	21	22	26	24	21
Полоса пропускания (в относительных частотах)										
$f_{п1}$	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,175	0,19	0,2	0,19
$f_{п2}$	0,2	0,22	0,24	0,26	0,25	0,25	0,26	0,29	0,32	0,34
Неравномерность АЧХ в пределах полосы пропускания, дБ	1,8	2,0	2,8	2,0	2,4	2,2	2,4	2,1	2,0	3,0

По приведенным в таблице 2.8. данным необходимо:

1. Выбрать фильтр – прототип и определить порядок фильтр.

2. Найти передаточную функцию фильтра $H(z)$.
3. Рассчитать коэффициенты a_i и b_i рекурсивного режекторного ЦФ.
4. Нарисовать структурную схему ЦФ.
5. Построить АЧХ фильтра.
6. Дать рекомендации по реализации данного ЦФ (серии микросхем, микропроцессоров и т.п.).

Данные для расчета полосового цифрового фильтра

Таблица 2.9.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	07	17	27	37	47	57	67	77	87	97
Частота дискретизации, кГц	60	65	70	70	75	80	85	90	95	100
Нижняя граница полосы пропускания, кГц	20	18	16,8	16	14	18	17,2	16,6	22	24
Верхняя граница полосы пропускания, кГц	30	24,8	34,2	26	24	28	27,4	24	30	28
Неравномерность в полосе пропускания, дБ	1,0	1,2	0,5	0,8	1,1	1,4	1,0	0,5	0,8	0,9
Верхняя граница полосы задержания, кГц	35	32	30	32	36	36	34	40	38	42
Нижняя граница полосы задержания, кГц	15	16	12	12,4	10,2	1,8	12	10,8	16	14,8
Затухание в полосе задержания, дБ	30	40	26	34	26	30	22	44	48	54

По приведенным в таблице 2.9. данным необходимо:

1. Выбрать тип фильтра – прототипа и определить порядок ЦФ.

2. Найти передаточную функцию ЦФ.
3. Рассчитать коэффициенты a_i и b_i рекурсивного полосового ЦФ.
4. Нарисовать структурную схему ЦФ.
5. Построить АЧХ фильтра.
6. Дать рекомендации по реализации данного ЦФ (серии микросхем, микропроцессоров и т.п.).

Данные для расчета цифрового фильтра верхних частот

Таблица 2.10.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	08	18	28	38	48	58	68	78	88	98
Частота дискретизации, кГц	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Частота среза, кГц	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,2
Граничная частота полосы пропускания, кГц	0,1	0,15	0,1	0,2	0,18	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8
Неравномерность АЧХ в полосе пропускания, дБ	1,0	2,0	1,4	2,2	1,8	2,1	2,2	2,4	2,2	2,4
Затухание в полосе задержания, дБ	26	22	16	20	18	22	20	16	20	24

По приведенным в таблице 2.10. данным необходимо:

1. Выбрать тип фильтра – прототипа и определить порядок ЦФ.
2. Найти передаточную функцию фильтра.
3. Рассчитать коэффициенты a_i и b_i рекурсивного фильтра верхних частот.
4. Нарисовать структурную схему ЦФ.
5. Построить АЧХ фильтра.

6. Дать рекомендации по реализации данного ЦФ (серии микросхем, микропроцессоров и т.п.).

**Данные для расчета усилителя промежуточной частоты
радиоприемного устройства**

Таблица 2.11.

Наименование параметров	Варианты заданий									
	09	19	29	39	49	59	69	79	89	99
Промежуточная частота, МГц	0,465	0,5	6,8	10,7	30	60	0,5	0,465	10,7	30
Тип активного прибора (В-выбрать)	В	235-УР9	2П-313	435-УР1	265-УВ3	2Т-368А	В	1Т-322А	235-УР7	В
Полоса пропускания УПЧ, кГц	9	6	150	220	300	1200	6	12	240	420
Избирательность по соседнему каналу, дБ	46	50	26	36	---	---	52	26	46	---
Расстройка по соседнему каналу, кГц	9	6	50	50	---	---	6	9	50	---
Тип избирательной системы (В-выбрать)	В	ЭМФ	В	ПКФ	В	В	ЭМФ	ФСИ	В	В
Резонансный коэффициент усиления	40	200	20	20	10	10	40	20	80	10

По приведенным в таблице 2.11. данным необходимо рассчитать один каскад усилителя промежуточной частоты радиоприемного устройства:

1. Нарисовать принципиальную и эквивалентную схему усилителя.
2. Определить параметры активного прибора на промежуточной частоте.
3. Рассчитать основные электрические характеристики УПЧ (коэффициент усиления, коэффициенты включения избирательной нагрузки и т.д.).

4. Рассчитать цепи, задающие и стабилизирующие рабочую точку активного прибора.

3. Требования к оформлению контрольной работы

Контрольная работа представляется на рецензию в виде пояснительной записки объемом 8...12 страниц текста, написанного на одной стороне стандартной писчей бумаги формата А4 или в тетради с полями не менее 2,5...4,0 см.

Рисунки, графики и схемы должны быть выполнены аккуратно, в удобном масштабе с соблюдением правил ЕСКД.

Вычисления следует выполнить с точностью не хуже, чем до второго знака после запятой.

Рассчитанные значения резисторов и емкостей должны быть округлены и выбраны по стандартным рядам с определением типа резистора или емкости, например, ОМЛТ 0,125-5К6-5% (ГОСТ ВД7113- 71), КД-16-М75-36-5% (ГОСТ7159-64).

4. Методические указания по выполнению контрольной работы

Для расчета функциональных узлов радиоприемных устройств:

УПЧ, УРЧ, смесителей можно воспользоваться литературой [1,2,4,5,6], а для решения задач по цифровым фильтрам [3,7].

Справочные данные на транзисторы, микросхемы можно найти в справочной литературе [8-11]. Некоторые данные на микросхемы приведены в Приложении П.2.

Анализ функциональных узлов радиоприемных устройств лучше выполнять с помощью эквивалентной схемы данного узла, каскада или блока.

Нагрузкой рассчитываемого каскада, в том случае, если она не задана, можно считать каскад на аналогичном активном приборе, например, нагруз-

кой смесителя на биполярном транзисторе 2Т – 368А является первый каскад УПЧ на транзисторе этого же типа.

Ниже, в разделе 4.1, в качестве примера приведена методика расчета усилителя радиочастоты радиоприемного устройства.

Для расчета рекурсивных цифровых фильтров обычно используется метод аналоговых низкочастотных прототипов, в качестве которых чаще всего берут фильтры Баттерворта, Чебышева и эллиптические фильтры.

Фильтры Баттерворта характеризуются тем, что имеют гладкую амплитудную характеристику в полосе пропускания.

Фильтры Чебышева, ценой некоторого ухудшения равномерности АЧХ в полосе прозрачности, обеспечивают более быстрый спад амплитудно-частотной характеристики в полосе задержания.

Передаточные функции рекурсивного цифрового фильтра первого и второго порядков имеют вид:

$$H(z) := \frac{a_0 + a_1 \cdot z^{-1}}{1 + b_1 \cdot z^{-1}} \quad H(z) := \frac{a_0 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2}}{1 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2}}$$

Где z^{-1} , z^{-2} – задержка дискретизированного сигнала на время T (один шаг), $2T$ (два шага).

Чем выше порядок фильтра (степень полинома), тем круче скаты АЧХ от частоты среза до частоты заданного гарантированного подавления (граничной частоты полосы не пропускания). Общее правило при расчете фильтров – выбор минимального порядка фильтра, при котором обеспечиваются заданные характеристики.

Одним из наиболее простых и распространенных методов расчета цифровых фильтров является метод билинейного преобразования, в соответствии с которым в исходном аналоговом фильтре – прототипе $H(p)$ производится замена переменной p на z по формуле билинейного преобразования:

$$p = \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

Полученная после преобразований функция $H(z)$ является системной, по которой строится структурная схема цифрового фильтра. В разделе 4.2. более подробно рассмотрена методика расчета цифровых фильтров.

Для синтеза цифровых фильтров можно использовать программы, имеющиеся в математическом обеспечении Вашей ПЭВМ.

4.1 Расчет каскада усилителя радиочастоты

Рассмотрим в качестве примера методику расчета диапазонного усилителя радиочастоты с двойным автотрансформаторным включением контура. Схема такого усилителя показана на рис. 4.1., а его эквивалентная схема на рис. 4.2.

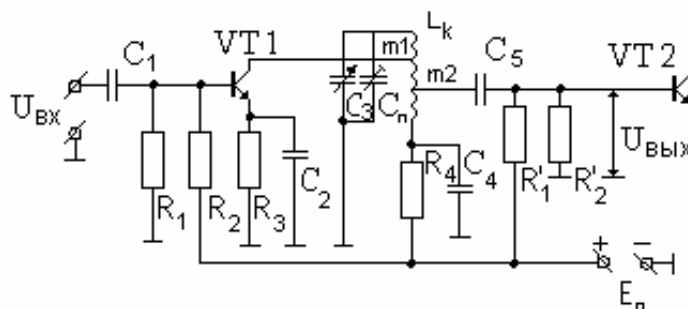


Рис. 4.1. Схема усилителя радиочастоты.

На эквивалентной схеме транзисторы замещаются их эквивалентными проводимостями (в системе Y – параметров).

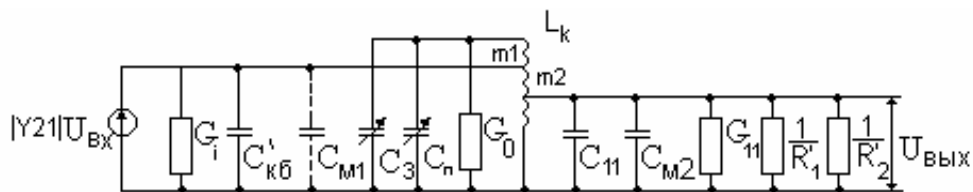


Рис. 4.2. Эквивалентная схема каскада УРЧ.

Транзистор $VT1$ заменен эквивалентным генератором тока с параметрами $|Y_{21}|U_{вх}$, $G_i(G_{22}, G_{вых})$ и $C_{кб}(C_{22}, C_{вых})$.

Транзистор $VT2$ заменен его входной проводимостью $G_{11}(G_{вх})$ и $C_{11}(C_{вх})$.

Через $C_{м1}$ и $C_{м2}$ обозначены емкости монтажа (в большинстве случаев ими можно пренебречь).

Для усилителя радиочастоты данного типа характерна зависимость его резонансного коэффициента усиления K_0 от частоты в пределах рабочего диапазона, причем коэффициент усиления растет с ростом частоты.

Исходными данными для расчета усилителя являются:

- граничные частоты диапазона $f_{c \min} \dots f_{c \max}$;
- полоса пропускания приемника(его линейного тракта – обычно УПЧ) П;
- промежуточная частота РПУ f_0 ;
- избирательность УРЧ по зеркальному каналу $\sigma_{\text{эк}}$;
- собственное (конструктивное) затухание контура d_k .

Иногда к усилителям радиочастоты предъявляются и ряд дополнительных требований, например, требование допустимого коэффициента шума, неравномерности усиления в рабочем диапазоне и т.п.

В общем случае, расчет усилителя радиочастоты начинают с выбора типа активного прибора.

1. Выбирается тип активного прибора и определяются его Y – параметры на трех частотах рабочего диапазона $f_{c \min}$, $f_{c \text{ ср}}$ и $f_{c \max}$. Если $f_{c \max} \leq 0,3 f_s$, то параметры активного прибора практически не будут зависеть от частоты (в пределах рабочего диапазона), и достаточно определить Y – параметры только на средней частоте $f_{c \text{ ср}}$. (Здесь f_s - граничная частота активного прибора по крутизне).

2. Выбирается способ перестройки преселектора: варикапом, варикапной матрицей или конденсатором переменной емкости и оцениваются требуемые значения минимальной и максимальной емкостей элемента перестройки.

Для выбора величин C_{\max} и C_{\min} следует воспользоваться рекомендациями [1, 2, 5] или рекомендациями, приведенными ниже в таблице 4.1.

Таблице 4.1.

Рабочий диапазон, МГц	0,2...0,3	0,3...1,5	1,5... 6,0	6,0...30	30...120
C_{\max} , пФ	500...750	250...500	150...250	50...150	25...50
C_{\min} , пФ	15...25	10...15	8...12	6...10	3...5

3. Вычисляется индуктивность контура L_k (мкГн) по формуле

$$L_k = \frac{2,53 \cdot 10^4 \cdot (k_{\text{пд}} - 1)}{(C_{\text{max}} - C_{\text{min}}) \cdot f_{\text{сmax}}^2}, \quad (4.1)$$

где C_{max} , C_{min} - максимальное и минимальное значение конденсатора переменной емкости (варикапа, варикапной матрицы) в пФ;

$f_{\text{сmax}}$ - максимальная частота рабочего диапазона, МГц;

$k_{\text{пд}} = f_{\text{сmax}} / f_{\text{сmin}}$ - коэффициент перекрытия диапазона по частоте.

4. Из условия обеспечения заданной полосы пропускания линейного тракта приемника (П) и избирательности по зеркальному каналу ($\sigma_{\text{зк}}$) определяется необходимое эквивалентное затухание контура d_3

$$d_{\text{п}} \leq d_3 \leq d_{\text{зк}}. \quad (4.2)$$

Причем

$d_{\text{п}} := \frac{(2...3)\Pi}{f_{\text{сmin}} \cdot \sqrt{n+1} \sqrt{2} - 1}$ - эквивалентное затухание каждого из контуров УРЧ, обеспечивающее требуемую полосу пропускания (n - число каскадов УРЧ, а значит, и число контуров);

$d_{\text{зк}} := \frac{4 \cdot f_0}{f_{\text{сmax}} \cdot \sqrt{n+1} \sqrt{\sigma_{\text{зк}}} - 1}$ - эквивалентное затухание каждого из контуров

УРЧ, обеспечивающее необходимую избирательность по зеркальному каналу.

5. Определяются коэффициенты трансформации m_1 и m_2 из условия обеспечения необходимой полосы пропускания УРЧ, избирательности по зеркальному каналу и обеспечения режима согласования на минимальной частоте рабочего диапазона по формулам:

$$m_1 = \sqrt{\frac{d_3 - d_k}{4 \cdot \pi \cdot f_{\text{сmin}} \cdot L_k \cdot g_{22}}}, \quad m_2 = m_1 \cdot \sqrt{\frac{g_{22}}{g_{11}}}. \quad (4.3)$$

6. Рассчитывают эквивалентное затухание контура УРЧ d_3 на трех частотах рабочего диапазона $f_{\text{сmin}}$, $f_{\text{с ср}}$ и $f_{\text{сmax}}$ по формуле:

$$d_{\text{э}} = d_k + 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{с...}} \cdot L_k \cdot \left[(m_1)^2 \cdot g_{22} + (m_2)^2 \cdot g_{11} + g_m \right] \quad (4.4)$$

Значения $d_{\text{э}}$ должны удовлетворять неравенству п.4.

7. Рассчитывается резонансный коэффициент усиления каскада УРЧ на максимальной частоте рабочего диапазона:

$$k_{0\text{max}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot |Y_{21}| \cdot f_{\text{сmax}} \cdot L_k}{d_{\text{эmax}}} \quad (4.5)$$

8. Оценивается максимальный, устойчивый коэффициент усиления каскада по формуле:

$$k_{0\text{уст}} = (0,35 \dots 0,42) \cdot \sqrt{\frac{|Y_{21}|}{|Y_{12}|}} \quad (4.6)$$

Усилитель устойчив в том случае, если $k_{0\text{уст}} \geq k_{0\text{max}}$. При невыполнении этого условия необходимо принять меры для повышения коэффициента устойчивого усиления [1, 2, 4, 5, 6], например, перейти к расчету каскодной схемы ОЭ- ОБ, сменить тип активного прибора или уменьшить коэффициенты включения m_1 и m_2 .

9. По формуле (4.5) рассчитывают коэффициенты усиления УРЧ $f_{\text{с min}}$ и $f_{\text{с ср}}$ и строят зависимость резонансного коэффициента усиления усилителя радиочастоты в рабочем диапазоне $K_0(f_c)$.

10. Рассчитывают емкость подстроенного конденсатора $C_{\text{п}}$, пФ по формуле:

$$C_{\text{п}} := \frac{C_{\text{п}} - k_{\text{пд}} \cdot C_{\text{min}}}{(k_{\text{пд}})^2 - 1} - C_{\text{р}} \quad (4.7)$$

где $C_{\text{р}} = (m_1)^2 \cdot C_{22} + (m_2)^2 \cdot C_{11} + (m_1)^2 \cdot C_{\text{м1}} + (m_2)^2 \cdot C_{\text{м2}} + C_{\text{L}}$, (C_{L} – емкость катушки L_k).

В заключение рассчитывают элементы, задающие и стабилизирующие рабочую точку активного прибора R_1, R_2, R_3, R_4, C_2 и C_4 [4, 5, 6].

Примеры расчета цепей термостабилизации рабочей точки транзистора приведены в приложении П.1.

Как следует из примера, порядок расчета усилителя радиочастоты на транзисторах и микросхемах по высокой частоте совершенно одинаков. Следует определить лишь соответствующие Y – параметры активного прибора.

Расчет цифровых фильтров

На примере фильтра нижних частот рассмотрим особенности расчета цифровых фильтров.

Для цифрового фильтра нижних частот считаются заданными:

- частота дискретизации f_d ;
- полоса пропускания (или верхняя граница полосы пропускания) f_n ;
- допустимая неравномерность амплитудно – частотной характеристики в полосе пропускания E , дБ;
- нижняя граница полосы задержания f_3 ;
- затухание в полосе задержания A , дБ.

Расчет ЦФНЧ можно проводить в следующем порядке [1, 3, 7].

1. Значения непрерывной частоты пересчитываются в значения «цифровой» частоты по формулам:

$$\lambda_n = 2 \cdot \pi \cdot f_n / f_d - \text{частота (цифровая) полосы пропускания ;} \quad (4.8)$$

$$\lambda_3 = 2 \cdot \pi \cdot f_3 / f_d - \text{частота (цифровая) нижней границы} \\ \text{полосы задержания.} \quad (4.9)$$

2. Определяются значения нормированных частот полос пропускания Ω_n и задержания Ω_3 аналогового низкочастотного прототипа.

Нормированные частоты аналогового фильтра и цифровые частоты ЦФ связаны между собой пересчетными формулами

$$\Omega_n = \frac{\left(\text{tg} \cdot \frac{\lambda_n}{2} \right)}{\left(\text{tg} \cdot \frac{\lambda_3}{2} \right)} = 1 \quad , \quad (4.10)$$

т.е. нормализованный низкочастотный прототип имеет верхнюю частоту полосы пропускания $\Omega_{\Pi}=1$, а

$$\Omega_{\text{з}} = \frac{\left(\text{tg} \cdot \frac{\lambda_{\text{з}}}{2} \right)}{\left(\text{tg} \cdot \frac{\lambda_{\Pi}}{2} \right)} \quad (4.11)$$

3. Определяется порядок фильтров – прототипов

$$N = \frac{\left(\ln(A)^2 - 1 \right) - \left(\ln(E)^2 - 1 \right)}{2 \cdot \ln \Omega_{\text{з}}} \quad (4.12)$$

для фильтра – прототипа Баттерворта и

$$N = \frac{\ln \left(g + \sqrt{g^2 - 1} \right)}{\ln \left(\Omega_{\text{з}} + \sqrt{\Omega_{\text{з}}^2 - 1} \right)} \quad (4.13)$$

для фильтра – прототипа Чебышева.

В формулах (4.12), (4.13) приняты обозначения

$$A = 10^{0,05A(\text{дБ})}, E = 10^{0,05E(\text{дБ})},$$

$$g = \frac{\sqrt{A^2 - 1}}{\xi}, \text{ а } \xi = \sqrt{E^2 - 1},$$

4. Вычисляются значения полюсов S_{pi} фильтров прототипов

$$S_{pi} = \xi^{\frac{1}{N}} \cdot \exp \left(j \cdot \pi \cdot \frac{2 \cdot i + N - 1}{2 \cdot N} \right), \quad (4.14)$$

для фильтра – прототипа Баттерворта

$$S_{pi} := 0.5 \left[\left(\frac{1}{U^{\frac{1}{N}}} - U^{\frac{1}{N}} \right) \cdot \sin \pi \cdot \frac{2 \cdot i - 1}{2 \cdot N} + j \left(\frac{1}{U^{\frac{1}{N}}} - U^{\frac{1}{N}} \right) \cdot \cos \pi \cdot \frac{2 \cdot i - 1}{2 \cdot N} \right], \quad (4.15)$$

для фильтра – прототипа Чебышева.

$$\text{Здесь } U := \xi^{-1} + \sqrt{\xi^{-2} + 1}$$

При четном N все полюсы образуют комплексно – сопряженные пары, а при нечетном N имеется один действительный корень при $i = \frac{N + 1}{2}$

5. Определяются нули Z_{zi} и полюсы Z_{pi} ЦФНЧ путем пересчета полюсов S_{pi} низкочастотного прототипа на Z плоскость.

$$Z_{zi} = -1, \\ Z_{pi} = \frac{1 + \left(\operatorname{tg} \cdot \frac{\lambda_{\pi}}{2} \right) \cdot S_{pi}}{1 - \left(\operatorname{tg} \cdot \frac{\lambda_{\pi}}{2} \right) \cdot S_{pi}}, \text{ для } i=1,2,\dots,N. \quad (4.16)$$

6. По найденным нулям и полюсам записывается передаточная функция ЦФ и производится расчет амплитудно – частотной характеристики фильтра.

Расчет ЦФВЧ производится аналогично, но с некоторым отличием расчетных формул. Так, нормированные частоты полос пропускания и задерживания определяются выражениями:

$$\Omega_{\pi} = \frac{\operatorname{tg} \cdot \frac{\lambda_{\pi}}{2}}{\lambda_{\pi}} = 1, \quad (4.17)$$

$$\Omega_{\sigma} = \frac{\operatorname{tg} \cdot \frac{\lambda_{\pi}}{2}}{\lambda_{\sigma}}. \quad (4.18)$$

Значения же нулей и полюсов ЦФВЧ рассчитываются по формулам:

$$Z_{zi} = 1, \\ Z_{pi} = \frac{1 + \left(\operatorname{ctg} \cdot \frac{\chi_{\pi}}{2} \right) \cdot S_{pi}}{1 - \left(\operatorname{ctg} \cdot \frac{\chi_{\pi}}{2} \right) \cdot S_{pi}}, \text{ для } i=1,2,\dots,N. \quad (4.19)$$

полосовой ЦФ имеет две полосы задерживания $(0, \lambda_{\sigma 1})$ и $(\lambda_{\sigma 2}, \pi)$ и одну полосу пропускания $(\lambda_{\pi 1}, \lambda_{\pi 2})$.

Пересчет аналоговых частот в цифровые выполняется по формулам:

$$\lambda_{\pi 1} = 2 \cdot \pi \cdot f'_{\pi} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{\pi 1}}{f_d}, \quad \lambda_{\pi 2} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{\pi 2}}{f_d}, \quad (4.20)$$

$$\lambda_{\pi 32} = 2 \cdot \pi \cdot f'_{\pi 31} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{\pi 31}}{f_d}, \quad \lambda_{\pi 32} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_{\pi 32}}{f_d} \quad (4.21)$$

Нормированные граничные частоты, соответствующие цифровым частотам, определяются из соотношений:

$$\Omega_{\pi 31} = \left| \frac{\beta - \cos(\lambda_{\pi 31})}{c \cdot \sin(\lambda_{\pi 31})} \right|, \quad \Omega_{\pi 32} := \left| \frac{\beta - \cos(\lambda_{\pi 32})}{c \cdot \sin(\lambda_{\pi 32})} \right|, \quad (4.22)$$

где

$$c = \operatorname{tg} \frac{\lambda_{\pi 2} - \lambda_{\pi 1}}{2}, \quad \text{а} \quad \beta = \frac{\sin(\lambda_{\pi 2} + \lambda_{\pi 1})}{\sin(\lambda_{\pi 2}) + \sin(\lambda_{\pi 1})}.$$

Из двух частот $\Omega_{\pi 31}$ и $\Omega_{\pi 32}$ выбирают меньшую и определяют порядок фильтра – прототипа по формулам (4.12), (4.13).

Значение нулей и полюсов вычисляют по формулам:

$$Z_{\pi i} = (-1)^{i-1}, \quad i=1, 2, \dots, N.$$

$$Z_{\pi z1-1, z_i} = \frac{\beta}{1 - c \cdot S_{\pi i}} + \left[\sqrt{\frac{\beta^2}{(1 - c \cdot S_{\pi i})^2} - \sqrt{\frac{1 + c \cdot S_{\pi i}}{1 - c \cdot S_{\pi i}}}} \right], \quad (4.23)$$

где $S_{\pi i}$ - полюсы фильтров – прототипов, значения которых определяются формулами (4.14), (4.15).

Режекторный ЦФ имеет две полосы пропускания $(0, \lambda_{\pi 1})$ и $(\lambda_{\pi 2}, \pi)$ и одну полосу задерживания $(\lambda_{\pi 31}, \lambda_{\pi 32})$.

Связь между аналоговыми и цифровыми частотами такая же, как и для полосового фильтра (4.20), (4.21).

Нормированные граничные частоты, соответствующие цифровым частотам задерживания, определяются выражениями

$$\Omega_{z1} = \left| \frac{\alpha \cdot \lambda_{z1}}{\beta - \cos(\lambda_{z1})} \right|, \quad \Omega_{z2} = \left| \frac{\alpha \cdot \lambda_{z2}}{\beta - \cos(\lambda_{z2})} \right|. \quad (4.24)$$

Здесь

$$\alpha = \frac{\cos(\lambda_{\pi 1}) - \cos(\lambda_{\pi 2})}{\sin(\lambda_{\pi 1}) + \sin(\lambda_{\pi 2})}, \quad \beta = \frac{\sin(\lambda_{\pi 1} + \lambda_{\pi 2})}{\sin(\lambda_{\pi 1}) + \sin(\lambda_{\pi 2})}$$

Порядок фильтра – прототипа определяется по формулам (4.12), (4.13) для наименьшего значения Ω_{z1} или Ω_{z2} .

Нули и полюсы режекторного ЦФ находятся через нули и полюсы фильтров прототипов (формулы (4.14), (4.15)) из следующих соотношений:

$$Z_{zzi-1.zi} = \beta \pm \sqrt{\beta^2 - 1}, \quad Z_{pzi-1.zi} = -\beta'_i + \sqrt{\beta_i^2 + d_i}$$

$$\text{где } \beta_i = \beta \cdot \frac{S'_{pi}}{1 - S'_{pi}}, \quad d_i = \frac{1 + S'_{pi}}{1 - S'_{pi}}, \quad \text{а } S'_{pi} = \frac{S_{pi}}{\alpha} \text{ для } i=1,2,\dots,N. \quad (4.25)$$

Приложение П1.

Расчет цепей термостабилизации коэффициента усиления резонансных усилителей на биполярных транзисторах

Выбор элементов цепи термостабилизации производится исходя из требования обеспечить необходимый закон изменения тока коллектора с температурой так, чтобы коэффициент усиления менялся незначительно (или в заданных пределах). Условием высокой стабильности коэффициента усиления резонансного каскада при изменении температуры является выполнение равенства [6,12].

$$\frac{\Delta I_k}{I_{ок}} = \frac{\Delta T}{T_0}$$

Каскад с отрицательной обратной связью по постоянному току

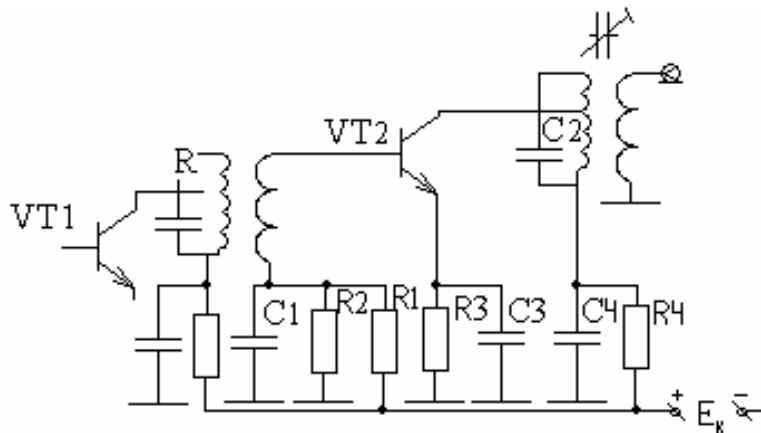


Рис.П1-1. Схема резонансного усилителя.

Исходные данные для расчета:

- 1) диапазон рабочих температур ($T_{\min} \dots T_{\max}$);
- 2) тип активного прибора;
- 3) напряжение источника питания E_k ;
- 4) рабочий режим транзистора $I_{ок}$, $U_{кэ}$;
- 5) обратный ток коллектора $I_{ко}$;
- 6) рабочая частота f_0 ;
- 7) входное сопротивление транзистора на рабочей частоте $r_{11}=1/g_{11}$.

1. Определить изменение обратного тока коллектора $\Delta I_{ко}$ и величину теплового смещения напряжения базы ΔU_B транзистора

$$\Delta I_{ко} = I_{ко} * 2 * ((T_{\max} - T_0) / 10) (Ge), \quad \Delta I_{ко} = I_{ко} * 2 * ((T_{\max} - T_0) / 5) (Si), \quad (\text{П.1-1})$$

$$\Delta U_B = \gamma * (T_{\max} - T_{\min}), \quad \gamma = (1,6 \dots 2,1) \text{ мВ/К.}$$

2. Найти нестабильность коллекторного ΔI_k , необходимого для обеспечения постоянства коэффициента усиления в заданном диапазоне температур:

$$\Delta I_k = I_{ок} * ((T_{\max} - T_{\min}) / T_0). \quad (\text{П.1-2})$$

3. Определить сопротивление резистора в цепи эмиттера R_3

$$R_3 = (\Delta U_B + A * r_{11} * \Delta I_{ко}) / \Delta I_k, \quad (\text{П.1-3})$$

где $A = (10 \dots 20)$ – постоянный коэффициент.

4. Рассчитать сопротивление резистора фильтра R_4 :

$$R4 = ((E_k + \Delta U_{кэ}) / \Delta I_{ок}) * R3 \quad (\text{П.1-4})$$

если $R4 \leq 0$, следует увеличить E_k .

5. Вычислить сопротивление резисторов $R1$ и $R2$:

$$R1 = (A * r_{11} * E_k) / (R3 * \Delta I_{ок}), \quad R2 = (A * r_{11} * E_k) / (E_k - R3 * \Delta I_{ок}). \quad (\text{П.1-5})$$

6. Вычислить емкости конденсаторов $C1, C3, C4$:

$$C1 = C3 \sim (50 / 2 * \pi * f_0 * R3), \quad C4 \sim (50 / 2 * \pi * f_0 * R4), \quad (\text{П.1-6})$$

Каскодная схема ОЭ-ОБ с последовательным питанием транзисторов

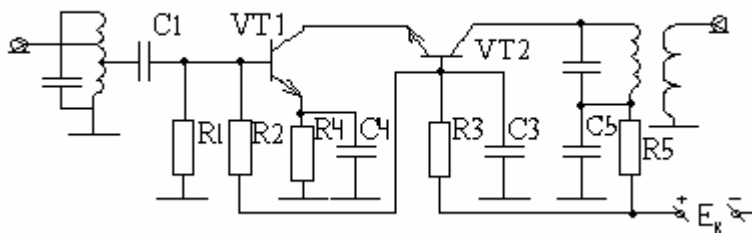


Рис П. 1-2 Каскодная схема резонансного усилителя

Порядок расчета.

1. Полагая транзисторы идентичными, определить изменение обратного тока коллектора $\Delta I_{ок}$ и величину теплового смещения напряжения базы ΔU_B транзисторов по формулам (П. 1 -1).

2. Найти изменение тока коллектора в диапазоне температур, необходимое для обеспечения постоянства коэффициента усиления по формуле (П. 1 -2).

3. Вычислить сопротивление резистора в эмиттерной цепи транзистора $VT1(R4)$ по формуле (П. 1 -3).

4. Рассчитать сопротивление резистора фильтра $R5$:

$$R5 = ((E_k - 2 * U_{кэ}) / I_{ок}) - R4, \quad (\text{П. 1 -7})$$

здесь полагается, что $U_{кэ1} = U_{кэ2}$

Если $R5 \leq 0$, следует увеличить E_k .

5. Найти суммарное сопротивление делителя напряжения базового смещения:

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_5 = (A * r_{11} * E_k^2) / ((2U_{кз} + R_4 * I_{ок})) * R_4 * I_{ок} \quad (\text{П. 1 -8})$$

6. Определить сопротивления резисторов R1, R2 и R3:

$$R_1 = R_0 * (R_4 * (I_{ок} / E_k)), \quad R_2 = R_0 * (U_{эк} / E_k), \quad R_3 = R_0 - R_1 - R_2. \quad (\text{П. 1 -9})$$

7. Рассчитать емкости конденсаторов C3, C4 и C5:

$$C_3 = C_4 \sim 50 / (2 * \pi * f_0 * R_4), \quad C_5 = 50 / (2 * \pi * f_0 * R_5) \quad (\text{П. 1 -10})$$

Каскад широкополосного усилителя радиочастоты на полевом транзисторе

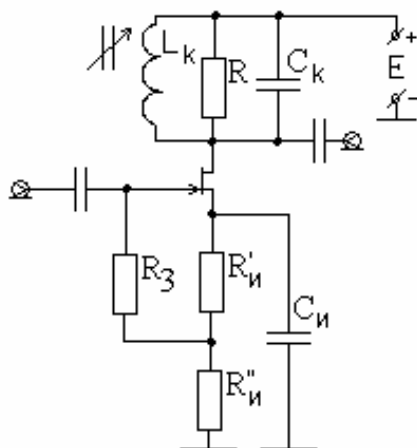


Рис П. 1-3 Схема широкополосного усилителя.

Порядок расчета.

1. Определить изменение тока затвора $\Delta I_{зут}$ и величину теплового смещения напряжения затвора $\Delta U_{зт}$ транзистора:

$$\Delta I_{зут} = I_{0зут} (\exp(a\Delta T_1) - 1), \quad \Delta U_{зт} = [\alpha_T - n * (U_{зотс} - U_{зи}) / 2 * T_0] * (T_{max} - T_{min}), \quad (\text{П. 1 -11})$$

где $a=0,08$ для германиевых и арсенид-галлиевых транзисторов и $a=0,06$ для кремниевых транзисторов;

$n=1,5$ – для канала n - типа и $n=2,3$ – для канала p - типа; $\Delta T_1 = T_{max} - T_c$.

В справочной литературе $I_{0з}$ дается при $T_c=300\text{K}$.

2. Считая допустимым изменение тока стока на (10 – 20)%

$$\Delta I_c / I_c \leq (0,1 \dots 0,2),$$

рассчитать значение резистора в цепи истока:

$$R_{и} = R_{и}' + R_{и}'' \quad , \quad R_{и} \cong |(\Delta I_{зут} * R_3 - \Delta U_{зт}) / \Delta I_c| - 1/S. \quad (\text{П. 1 -12})$$

Если $R_{и}$ меньше, чем требуется для создания напряжения автосмещения

($R_{и*} I_c = U_{зи}$), то следует использовать это большее значение резистора. Стабилизация рабочей точки при этом будет лучше, чем задана в задании.

Если же $R_{и}$ больше, чем требуется для задания рабочей точки, то резистор $R_{и}$ следует реализовать из двух резисторов $R_{и}'$ и $R_{и}''$, см. схему Рис. П. 1-3.

Отрицательное значение резистора $R_{и}$ означает, что в выбранном режиме транзистор не нуждается в цепи стабилизации положения рабочей точки.

Приложение П2.

Ниже в таблице П2-1...П2-3 приведены справочные данные на некоторые типы микросхем.

Таблица П2-1.

Наименование параметра	Тип микросхем			
	175УВ1А	175УВ1Б	175УВ2	175УВЧ
$U_{п}, В$	$6 \pm 10\%$	$6 \pm 10\%$	$6 \pm 10\%$	$6 \pm 10\%$
$I_{п}, мА$	15	15	3	3
$f_{в}, МГц$	45	60	65	150
$S, ма/В, на f_{в}$	-	-	10	10
$S, ма/В, на f=0.1 МГц$	-	-	12,5	12,5
$S(f) на f_{раб}$	12	12	-	-
$R_{вх}, кОм на f=0.1 МГц$	1	1	1	1
$R_{вх}, кОм на f_{в}$	0,6	0,6	0,6	0,2
$R_{вых}, кОм на f=0.1 МГц$	76	75	75	-
$R_{вых}, кОм на f_{в}$	60	60	60	-
$C_{вх}, пФ$	25	20	18	18...20
$C_{вых}, пФ$	8	7	6	6...8
$F_{ш}, дБ$	-	-	6	-

Таблица П2-2.

Наименование параметра	Тип микросхем						
	228УВ 2 228УВ 3	228УВ 3 265УВ 3 265УВ 6	235УВ 1	235УР 3 235УР 9	235УР 7 235УР11	435УВ 1	435 ХП 1
$U_{п1,2}, В$	$\pm 6\pm 10\%$	$\pm 6\pm 10\%$	$+6\pm 10\%$	$+6\pm 10\%$	$+6\pm 10\%$	$+6\pm 10\%$ [12]	$+6\pm 10\%$ [12]
$P_{п}, мВт$ ($I_{п}, мА$)	70	70	20	23	30	2,5[6,5]	3[6,5]
$f_{п}, мГц$	-	-	1	0,12	0,5	0,1	0,2
$S, мА/В(f_1)$	10 (5мГц)	10 (5мГц)	20 (10мГц)	70 (1,6мГц)	10 (1,6мГц)	35[70]- 1 вход 5[9]- 2 вход	15[30] (200 мГц)
$S, мА/В(f_2)$	7,5 (60мГц)	7,5 (60 мГц)	7 (170мГц)	30 (25мГц)	5 (200мГц)	25[50] 200мГц	-
$K_{п}, на f_B$	-	-	200	400	100	500 (1,6мГц)	-
$R_{вх}, кОм(f_1)$	1,2 (0,1мГц)	1,2 (0,1мГц)	0,5 (10мГц)	2,5 (1,6мГц)	25 1,6мГц	1,2- 1вход 0,5- 2вход	1,0 (200 мГц)
$R_{вх}, кОм(f_2)$	400 (60мГц)	400 (60мГц)	200 (170мГц)	500 (25мГц)	400 (20мГц)	-	-
$R_{вых}, кОм$ (f_1)	-	-	35 (10мГц)	17 (1,6мГц)	12 (1,6мГц)	0,075...	15...
$R_{вых}, кОм$ (f_2)	100 (60мГц)	100 (60мГц)	30 (170мГц)	15 (25мГц)	10 (200мГц)	...0,1	...20
$C_{вх}, пФ$	20...22	20...22	20...25	20	20	<15	<20
$C_{вых}, пФ$	8	8	6±3	6±3	4±2	<5	5
$F_{ш}, дБ$	-	5 (265УВ6)	7...10	-	-	12	-

Таблица П2-3.

Наименование параметра	Тип микросхем			
	219 ПС 1А	235 ПС 1 235 ПС 2	435 ХА1	525 ПС 2А 525 ПС 3А
$U_{п}, В$	5,0(8,0) ±10%	6,3±10%	6±10% [12,0]	±15В
$I_{пот}, МА$ ($P_{пот}, мВт$)	2,8	(35)	3,5[8,5]	8
$K_{пр}$	30(50мГц) 80(14мГц) $U_{гет}=0,2...0,25В$			0,1 (0...1,0мГц) $U_c, U_{гет} \leq \pm 10В$
$S_{пр}, МА/В$		4,5 (10мГц) 2,5 (150мГц) ($U_{гет}=100мВ$)	10[30] 0,1...100мГц ($U_{гет}=200...210$)мВ	-
$R_{вх}, кОм$ сигн. входа		1,0(10мГц)	4,0(1мГц) 2,0(100мГц)	2,4
гет.входа		1,5(10мГц)	3,0(1мГц) 0,5(100мГц)	2,4
$C_{вх}, пФ$ сигн. входа		25	<18	25...30
гет. входа		25	16...17	25...30
$R_{вых}, кОм$		20	15...20	10...12
$C_{всх}, пФ$		6	7...8	10...14
Верхние значения частоты, мГц	50	150,0	100,0	1,0

Литература

1. Радиоприемные устройства./ Под ред. А.П. Жуковского. М.: Высшая школа, 1989.
2. Акимов П.С. и др. Сигналы и их обработка в информационных системах. / Учебное пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1994.
3. Л.М. Гольденберг, Б.Д. Матюшкин, М.Н. Поляк. Цифровая обработка сигналов. Справочник. М.: Радио и связи, 1992.
4. Проектирование радиолокационных приемных устройств. Под ред. М.А. Соколова. М.: Высшая школа, 1984.
5. Радиоприемные устройства. Проектирование радиоприемной аппаратуры на интегральных схемах./ Под ред. Л.Г. Барулина. М.: Радио и связь, 1984.
6. Сергеев В.Г. Устройства приема и обработки сигналов. Расчет и проектирование, часть 1, -М.: - МГТУ ГА 2001, часть 2, -М.: МГТУ ГА 2002.
7. Карташев В.Г. Основы теории дискретных сигналов и цифровых фильтров. М.: Высшая школа, 1982.
8. Справочник по интегральным микросхемам (например, под ред. В.В. Тарабина) М.: Энергия. 1985.
9. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам (например, под ред. Н.Н. Горюнова. Полупроводниковые приборы: диода, тиристоры, оптоэлектронные приборы) М.: Энергоатомиздат, 1985.
Полупроводниковые приборы: транзисторы. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1985.
10. Цифровые и аналоговые микросхемы. Справочник./ Под ред. С.В.Якубовского. М.: Радио и связь, 1989.
11. Полупроводниковые приборы. Транзисторы малой мощности. Справочник./ Под ред. А.В. Голомедова. М.: Радио и связь, 1989.
12. Музыка З.М., Пустовалов В.Е., Сеницкий Б.Г. Расчет высокочастотных каскадов радиоприемных устройств на транзисторах. М.: Энергия, 1985.

Содержание

1. Цель выполнения контрольной работы.....	3
2. Содержание и темы контрольного задания.....	3
3. Требования к оформлению контрольной работы.....	15
4. Методические указания по выполнению контрольной работы.....	15
Литература.....	32