

03, март 2016

УДК 621.396.621.53

Разработка преселектора радиовещательного приемника

*Радкевич Д.А., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»*

*Терских М.Г., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»*

*Научный руководитель: Павлов Ю.Н., д.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информационные системы и телекоммуникации»
bauman@bmstu.ru*

Введение

Одним из требований при конструировании приемного устройства является достижение высокого уровня избирательности, т.е. способности радиоприемника выделять из всех различных по частоте приходящих сигналов только те сигналы, на частоту которых он настроен. Так как число передающих радиостанций, воздействующих на антенну радиоприемника, велико, приемник должен обладать способностью во много раз ослаблять прием сигналов тех мешающих станций, которые даже незначительно отличаются по частоте от принимаемой.

Радиоприёмник — устройство для приёма электромагнитных волн радиодиапазона (то есть с длиной волны от нескольких тысяч метров до долей миллиметра) с последующим преобразованием содержащейся в них информации к виду, в котором она могла бы быть использована.

Важную роль в улучшении реальной избирательности сигнала играют преселекторы. Наиболее эффективными являются узкополосные преселекторы, которые способны значительно ослабить сигнал на побочных частотах, т.е. на зеркальной, промежуточной и других частотах, отличающихся от принимаемой, при минимальном ослаблении полезного сигнала. Подобные устройства часто закладывают в схему конкретного приемника.

Разрабатываемый в рамках данной работы преселектор будет рассчитан на два диапазона:

- 64-74 МГц;
- 88-108 МГц.

В полосе пропускания коэффициент передачи сигнала должен составлять 12 дБ, допустимая неравномерность – 3дБ.

При отстройке 3 МГц должно осуществляться ослабление сигнала на 30 дБ, то есть на частотах: 61 МГц и 77 МГц в случае первого диапазона, 85 МГц и 111 МГц в случае второго диапазона.

Идеальные АЧХ выхода преселектора представлен на рис.1.

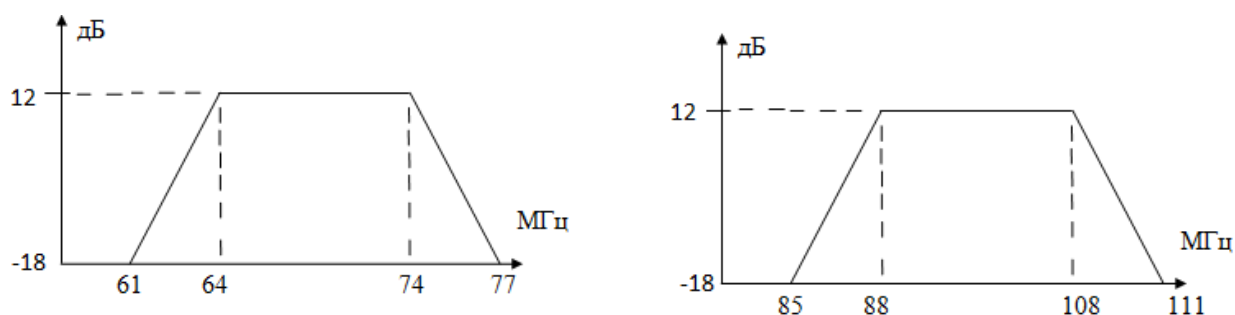


Рис. 1. Идеальные АЧХ преселектора на диапазонах
64-74 МГц и 88-108 МГц соответственно

Выбор нужного диапазона будет осуществляться с помощью логического сигнала LVCMOS 3,3 В, где в качестве уровня «логического нуля» примем первый диапазон частот (64-74 МГц), а в качестве «логической единицы» примем второй диапазон частот (88-108 МГц).

Функциональная схема и выбор элементной базы

Функциональная схема устройства представлена на рис. 3. В дальнейшем последовательно подбираются компоненты и схемотехнические решения для того, чтобы выполнить требования технического задания.

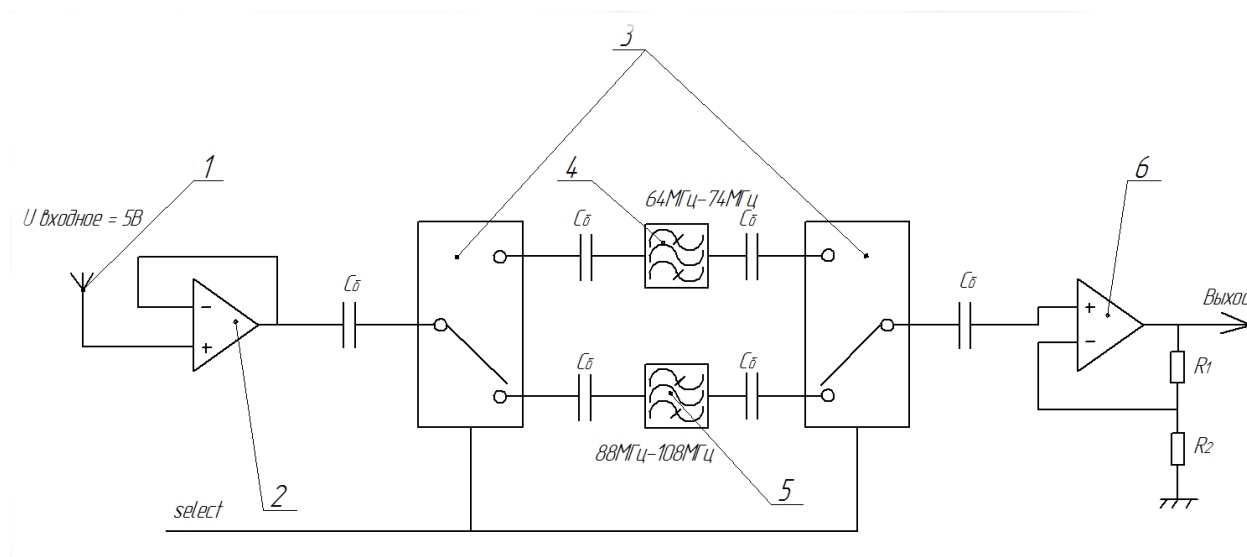


Рис. 2. Функциональная схема преселектора радиовещательного приемника

Цифрами на схеме обозначены:

- 1 – Антенна.
- 2 – Повторитель.
- 3 - ВЧ ключи, управляемые сигналом select.
- 4 - Полосовой фильтр с полосой пропускания 64-74 МГц.
- 5 - Полосовой фильтр с полосой пропускания 88-108 МГц.
- 6 – Усилитель.

SELECT - управляющий логический сигнал LVCMOS 3.3 В.

(Уровень логического "0" соответствует полосе частот 64-74 МГц

Уровень логической "1" соответствует полосе частот 88-108 МГц).

$C_б = 56$ пФ - блокирующие конденсаторы.

Два полосовых фильтра, изображенные на рис.3 будут пассивными, то есть будут аппаратно реализованы с помощью конденсаторов и индуктивностей, расчет и подбор которых будет осуществлен далее.

Далее выберем микросхемы и дадим некоторые пояснения.

Как показано на рис.2 необходимо выбрать два операционных усилителя, один из которых будет выполнять функцию повторителя (рис.3), а другой функцию усилителя (рис.4).

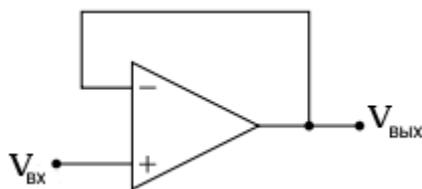


Рис. 3. Повторитель напряжения на ОУ

Повторитель или следящий усилитель (СУ) имеет $K_{ус}=1$ и $U_{ВХ} = U_+ \approx U_- = U_{ВЫХ}$

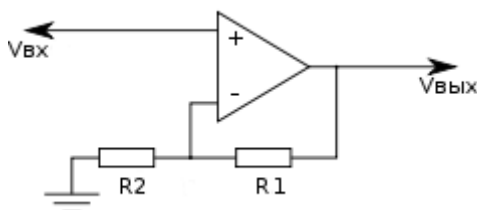


Рис. 4. Неинвертирующий усилитель (НИУ)

$$U_+ \approx U_- ; \quad (1)$$

$$U_{ВХ} = U_{ВЫХ} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}; \quad (2)$$

$$K_{ус} = 1 + \frac{R_1}{R_2}; \quad (3)$$

После выбора нужного диапазона частот, согласно техническому заданию, необходимо усилить сигнал в полосе пропускания до 12 дБ (т.е. усиление в 4 раза). Это усиление выполним с помощью НИУ (рис.4). Номиналы резисторов и соответственно $K_{ус}$ подберем в конструкторской части.

Для выполнения двух функций описанных выше выбираем микросхему ОУ: ADA4857-1.

Так же необходимо выбрать две микросхемы, которые будут осуществлять коммутацию схемы.

Среди продукции японской компании NEC можно найти подходящий ВЧ ключ из серии UPD. Выберем ВЧ ключ UPD5713TK-A.

Синтез полосовых фильтров

Данные:

$$a_{stop} = 30 \text{ дБ} ; \quad (4)$$

$$a_{puls} = 3 \text{ дБ} ; \quad (5)$$

$$R_n = 50 \text{ Ом.} \quad (6)$$

Задача синтеза фильтра состоит в разработке электрической схемы устройства, обладающего требуемыми частотными и временными характеристиками.

В случае синтеза полосно-пропускного фильтра (ППФ) необходимо знать следующие исходные параметры:

a_{stop} — максимально допустимое затухание в полосе пропускания;

a_{puls} — максимально допустимое затухание в полосе задерживания;

$f_{passlow}$ — нижняя граничная частота пропускания;

$f_{passhigh}$ — верхняя граничная частота пропускания;

$f_{stoplow}$ — нижняя граничная частота задерживания;

$f_{stophigh}$ — верхняя граничная частота задерживания.

Процедура проектирования частотно-избирательного фильтра включает в себя два основных этапа:

1) Этап аппроксимации, в ходе которого подбирается передаточная функция, удовлетворяющая заданным требованиям (АЧХ, выделенная из аппроксимирующей передаточной функции, не должна выходить за пределы заданного коридора допусков).

2) Этап реализации, суть которого — в выборе принципа реализации передаточной функции, разработке и расчете конкретной схемы фильтра, обладающего найденной передаточной функцией.

Порядок выполнения первого этапа достаточно хорошо разработан, поставленная задача решается с использованием какого-либо из многочисленных справочников по расчету фильтров. Решение второй задачи в рамках второго этапа многовариантно. Это связано с тем, что известно довольно много принципов и схем, позволяющих реализовать найденную передаточную функцию.

Для реализации аналогового фильтра в рамках данной работы будем использовать лестничную LC-структуру.

Для реализации полосы пропускания 64-74 МГц:

$$f_{passlow} = 64 \text{ МГц;} \quad (7)$$

$$f_{passhigh} = 74 \text{ МГц;} \quad (8)$$

$$f_{stoplow} = 61 \text{ МГц;} \quad (9)$$

$$f_{stophigh} = 77 \text{ МГц.}$$

$$(10)$$

Требования к ФНЧ-прототипу выражаются тремя параметрами: a_{stop} , a_{puls} и граничная частота полосы задерживания Ω_{stop} , которая рассчитывается следующим образом:

$$f_0 = \sqrt{f_{passlow} * f_{passhigh}} = 6,882 * 10^7; \quad (11)$$

$$\Omega_{passhigh} = \frac{f_{passhigh}}{f_0} = 1,075; \quad (12)$$

$$\Omega_{passlow} = \frac{f_{passlow}}{f_0} = 0,93; \quad (13)$$

$$\eta = f_{stoplow} \frac{f_{stophigh}}{f_0^2} = 0,992. \quad (14)$$

Так как $\eta < 1$, то

$$\Omega_{stophigh} = \frac{f_{stophigh}}{f_0} = 1,119; \quad (15)$$

$$\Omega_{stoplow} = \frac{1}{\Omega_{stophigh}} = 0,894; \quad (16)$$

$$\Omega_{stop} = \frac{\Omega_{stophigh} - \Omega_{stoplow}}{\Omega_{passhigh} - \Omega_{passlow}} = 1,54. \quad (17)$$

Теперь по таблице из [1] определяем дополнительное затухание Δa .

Для $a_{puls} = 3$ дБ, $\Delta a = 0$:

$$a_{\Sigma} = a_{stop} + \Delta a = 30. \quad (18)$$

Далее по графику $a_{\Sigma}(\Omega_{stop})$ для эллиптического фильтра из [1] определяем, что порядок ФНЧ-прототипа $n=3$.

Из таблиц [1] для эллиптического фильтра из той же строки, которая использовалась на этапе аппроксимации, выписываем значения нормированных индуктивностей и емкостей, таким образом, получаем ФНЧ-прототип. Схемы фильтра, для которых даны величины элементов, представлены в заголовке каждой таблицы.

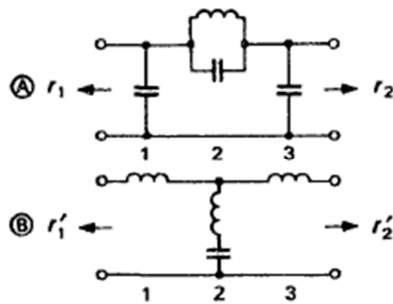


Рис. 5. Два типа схем ФНЧ-прототипов 3 порядка

Будем использовать в качестве схемы ФНЧ-прототипа схему В.

$$L''1=1,945000; \quad (19)$$

$$L''2=0,354682; \quad (20)$$

$$L''3=1,945000; \quad (21)$$

$$C''2=0,787221. \quad (22)$$

При проектировании ППФ необходимо пересчитать значения элементов схемы ФНЧ-прототипа в значения элементов синтезируемого фильтра и нарисовать его схему.

При переходе от ФНЧ-прототипа к ППФ и расчете нормированных элементов будем руководствоваться таблицей, представленной на рис.6.

ФНЧ-прототип	ППФ
	 $t' = \frac{1}{qC}, \quad c' = qC$
	 $t' = qL, \quad c' = \frac{1}{qL}$
	 $c'_+ = qC(1 + \tilde{\alpha}_{\infty-}^2),$ $t'_+ = \frac{1}{c'_+},$ $c'_- = qC(1 + \tilde{\alpha}_{\infty+}^2),$ $t'_- = \frac{1}{c'_-}$
	 $t'_+ = qL(1 + \tilde{\alpha}_{\infty-}^2),$ $c'_+ = \frac{1}{t'_+},$ $t'_- = qL(1 + \tilde{\alpha}_{\infty+}^2),$ $c'_- = \frac{1}{t'_-}$

Рис. 6. Переход от ФНЧ-прототипа к ППФ

Получаем следующую схему ППФ:

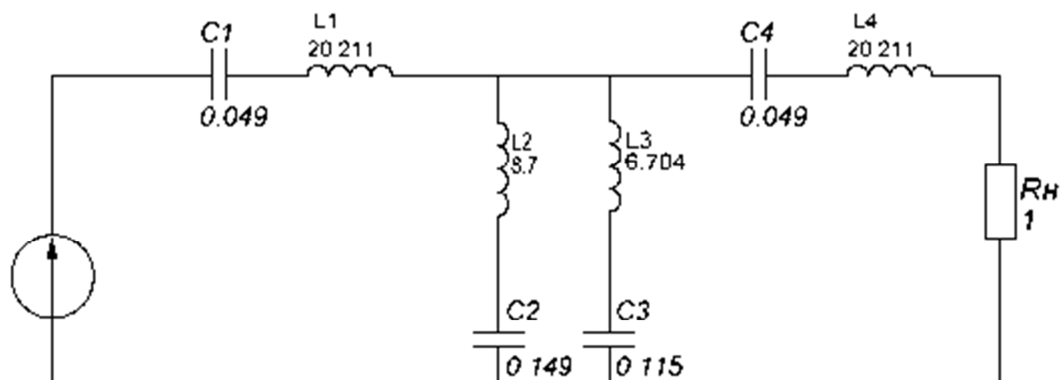


Рис. 7. Схема ППФ с нормированными значениями

Итак, нормированные значения схемы ППФ:

$$C'1=0,49; \quad (23)$$

$$L'1=20,211; \quad (27)$$

$$C'2=0,149; \quad (24)$$

$$L'2=8,7; \quad (28)$$

$$C'3=0,115; \quad (25)$$

$$L'3=6,704; \quad (29)$$

$$C'4=0,49; \quad (26)$$

$$L'4=20,211. \quad (30)$$

Денормируем значения элементов:

$$C1 = \frac{C'1}{2\pi f_0 R_H} = 2,289 \text{ пФ}; \quad (30)$$

$$L1 = \frac{L'1 * R_H}{2\pi f_0} = 2,337 \text{ мкГн}; \quad (34)$$

$$C2 = \frac{C'2}{2\pi f_0 R_H} = 6,9 \text{ пФ}; \quad (31)$$

$$L2 = \frac{L'2 * R_H}{2\pi f_0} = 1,006 \text{ мкГн}; \quad (35)$$

$$C3 = \frac{C'3}{2\pi f_0 R_H} = 5,319 \text{ пФ}; \quad (32)$$

$$L3 = \frac{L'3 * R_H}{2\pi f_0} = 775,2 \text{ нГн}; \quad (36)$$

$$C4 = \frac{C'4}{2\pi f_0 R_H} = 2,289 \text{ пФ}; \quad (33)$$

$$L4 = \frac{L'4 * R_H}{2\pi f_0} = 2,337 \text{ мкГн}. \quad (37)$$

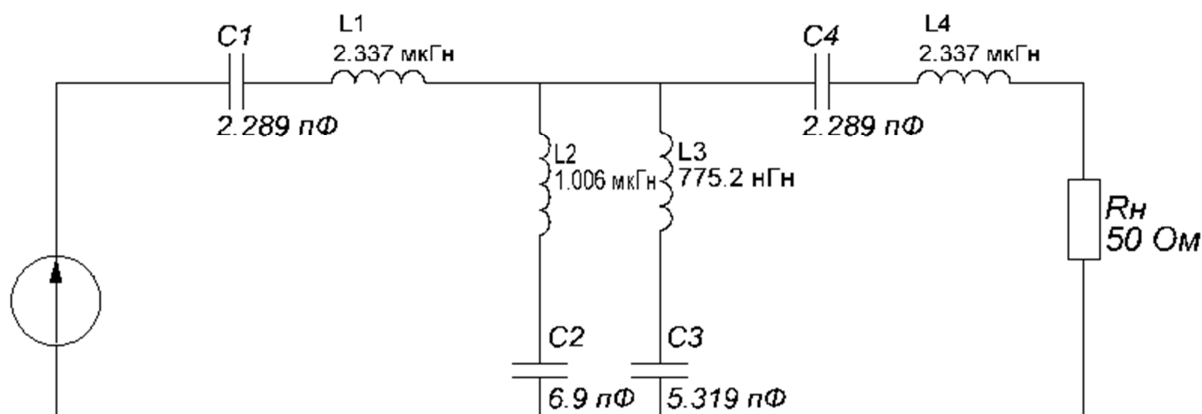


Рис. 8. Схема ППФ

Окончательная схема ППФ показана на рис.8.

Для реализации полосы пропускания 88-108 МГц:

$$f_{passlow} = 88 \text{ МГц}; \quad (38)$$

$$f_{passhigh} = 108 \text{ МГц}; \quad (39)$$

$$\begin{aligned} f_{stoplow} \\ = 85 \text{ МГц}; \end{aligned} \quad (40)$$

$$f_{stophigh} = 111 \text{ МГц}; \quad (41)$$

Требования к ФНЧ-прототипу выражаются тремя параметрами: a_{stop} , a_{puls} и граничная частота полосы задерживания Ω_{stop} , которая рассчитывается следующим образом:

$$f_0 = \sqrt{f_{passlow} * f_{passhigh}} = 9,749 * 10^7; \quad (42)$$

$$\Omega_{passhigh} = \frac{f_{passhigh}}{f_0} = 1,108; \quad (43)$$

$$\Omega_{passlow} = \frac{f_{passlow}}{f_0} = 0,903; \quad (44)$$

$$\eta = f_{stoplow} \frac{f_{stophigh}}{f_0^2} = 0,993. \quad (45)$$

Так как $\eta < 1$, то

$$\Omega_{stophigh} = \frac{f_{stophigh}}{f_0} = 1,139; \quad (46)$$

$$\Omega_{stoplow} = \frac{1}{\Omega_{stophigh}} = 0,878; \quad (47)$$

$$\Omega_{stop} = \frac{\Omega_{stophigh} - \Omega_{stoplow}}{\Omega_{passhigh} - \Omega_{passlow}} = 1,269; \quad (48)$$

Теперь по таблице из [1] определяем дополнительное затухание Δa .

Для $a_{puls} = 3$ дБ , $\Delta a = 0$:

$$a_{\Sigma} = a_{stop} + \Delta a = 30. \quad (49)$$

Далее по графику $a_{\Sigma}(\Omega_{stop})$ для эллиптического фильтра из [1] определяем, что порядок ФНЧ-прототипа $n=4$ случай b.

Из таблиц [1] для эллиптического фильтра из той же строки, которая использовалась на этапе аппроксимации, выписываем значения нормированных индуктивностей и емкостей, таким образом, получаем ФНЧ-прототип. Схемы фильтра, для которых даны величины элементов, представлены в заголовке каждой таблицы.

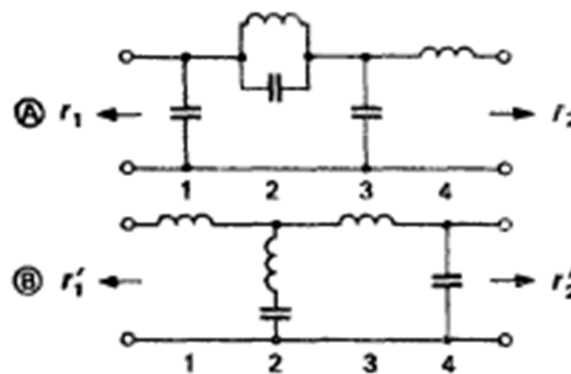


Рис. 9. Два типа схем ФНЧ-прототипов 4 порядка

Будем использовать в качестве схемы ФНЧ-прототипа схему В (рис. 9).

$$L''1=1,353289; \quad (50)$$

$$C''2=1,115702; \quad (53)$$

$$L''2=0,344180; \quad (51)$$

$$C''4=1,629225. \quad (54)$$

$$L''3=1,391638; \quad (52)$$

При проектировании ППФ необходимо пересчитать значения элементов схемы ФНЧ-прототипа в значения элементов синтезируемого фильтра и нарисовать его схему.

При переходе от ФНЧ-прототипа к ППФ и расчете нормированных элементов будем руководствоваться таблицей, представленной на рис.6.

Получаем следующую схему ППФ:

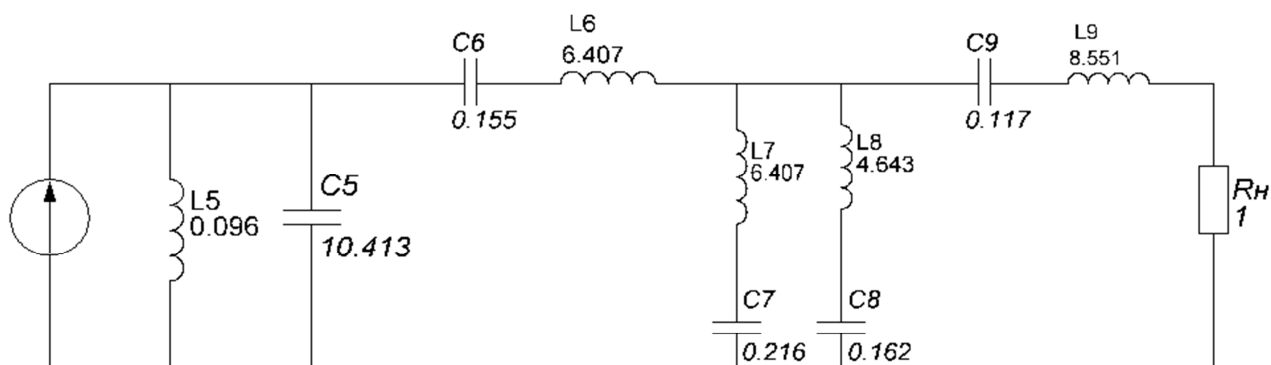


Рис. 10. Схема ППФ с нормированными значениями

Итак, нормированные значения схемы ППФ:

$$C'5=10,413; \quad (55) \qquad L'5=0,096; \quad (60)$$

$$C'6=0,155; \quad (56) \qquad L'6=6,407; \quad (61)$$

$$C'7=0,216; \quad (57) \qquad L'7=6,187; \quad (62)$$

$$C'8=0,162; \quad (58) \qquad L'8=4,643; \quad (63)$$

$$C'9=0,117; \quad (59) \qquad L'9=8,551. \quad (64)$$

Денормируем значения элементов:

$$C5 = \frac{C'5}{2\pi f_0 R_H} = 339,2 \text{ пФ}; \quad (65)$$

$$L5 = \frac{L'5 * R_H}{2\pi f_0} = 7,858 \text{ нГн}; \quad (70)$$

$$C6 = \frac{C'6}{2\pi f_0 R_H} = 5,075 \text{ пФ}; \quad (66)$$

$$L6 = \frac{L'6 * R_H}{2\pi f_0} = 0,5251 \text{ мкГн}; \quad (71)$$

$$C7 = \frac{C'7}{2\pi f_0 R_H} = 7,026 \text{ пФ}; \quad (67)$$

$$L7 = \frac{L'7 * R_H}{2\pi f_0} = 0,5053 \text{ мкГн}; \quad (72)$$

$$C8 = \frac{C'8}{2\pi f_0 R_H} = 5,275 \text{ пФ}; \quad (68)$$

$$L8 = \frac{L'8 * R_H}{2\pi f_0} = 0,3794 \text{ мкГн}; \quad (73)$$

$$C9 = \frac{C'9}{2\pi f_0 R_H} = 3,837 \text{ пФ}; \quad (69)$$

$$L9 = \frac{L'9 * R_H}{2\pi f_0} = 0,6946 \text{ мкГн}. \quad (74)$$

Окончательная схема ППФ показана на рис. 11.

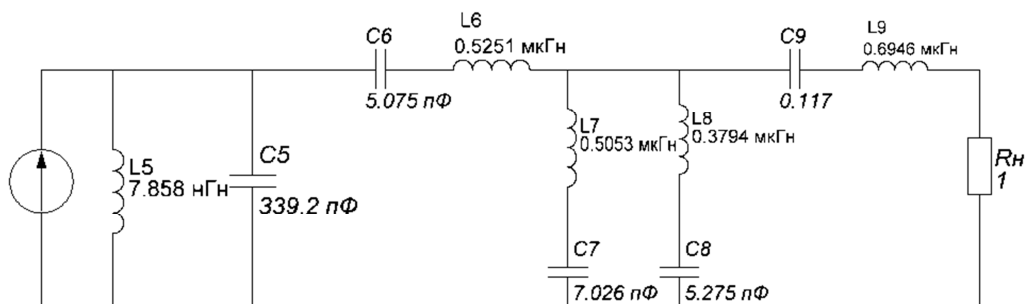


Рис. 11. Схема ППФ

Моделирование схемы и расчет K_{yc}

Проведем моделирование схемы. Номиналы всех элементов выберем из ряда $e192$ (погрешность $\pm 0.5\%$).

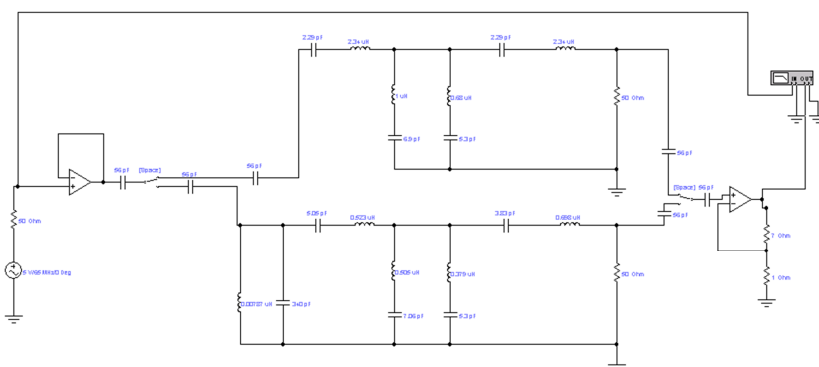


Рис. 12. Преселектор радиовещательного приемника

В ходе моделирования подбираем K_{yc} для ОУ. Согласно техническому заданию, коэффициент передачи в полосе пропускания должен быть - 12 дБ. Причем допускается неравномерность АЧХ в полосе пропускания - 3 дБ.

Поэтому с учетом потерь, которые видны при моделировании отдельно каждого из фильтров, $K_{yc} \approx 7.94$. Следуя рекомендациям, указанным в техническом описании микросхемы ADA4857-1, выберем следующие номиналы резисторов: $R1=700$ Ом и $R2=100$ Ом.

На рис.13 и рис.14 приведены ЛАЧХ преселектора при выборе первого (64-74 МГц) и второго (88-108 МГц) диапазона частот соответственно.

Положения маркеров показывают граничные частоты пропускания и задерживания и соответствующие значения магнитуды на этих частотах. А так же, что бы показать, что неравномерность ЛАЧХ в полосе пропускания соответствует заданным в ТЗ 3 дБ, маркеры показывают максимальные отклонения по амплитуде.

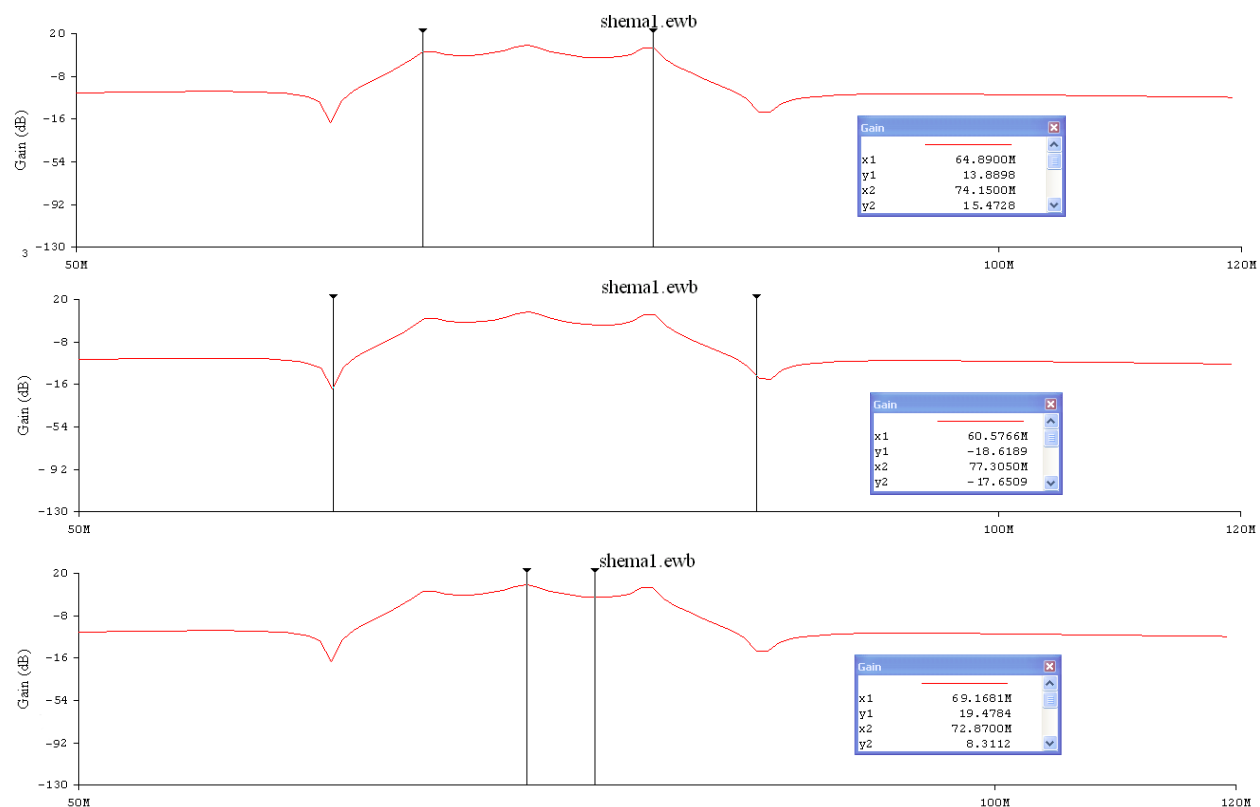


Рис. 13. ЛАЧХ схемы при выборе диапазона 64-74 МГц

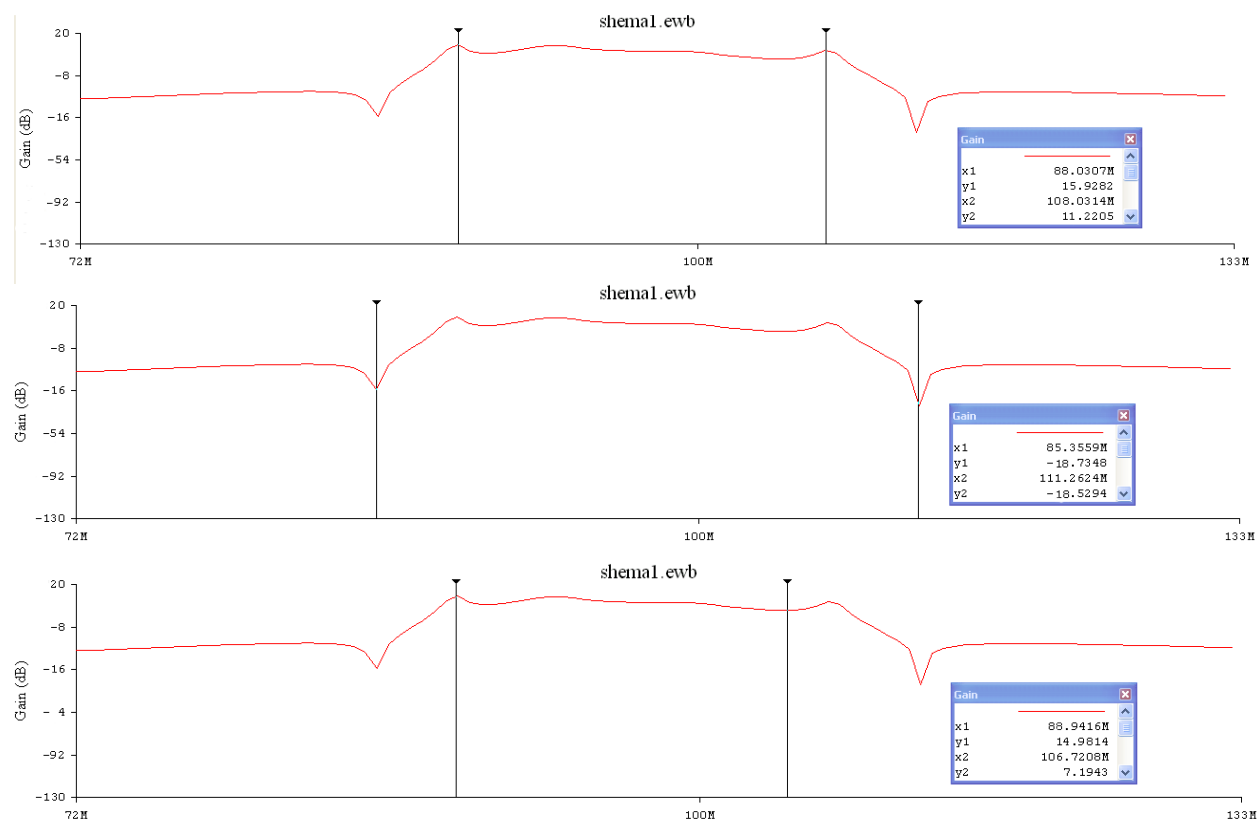


Рис. 14. ЛАЧХ схемы при выборе диапазона 88-108 МГц

Принципиальная схема

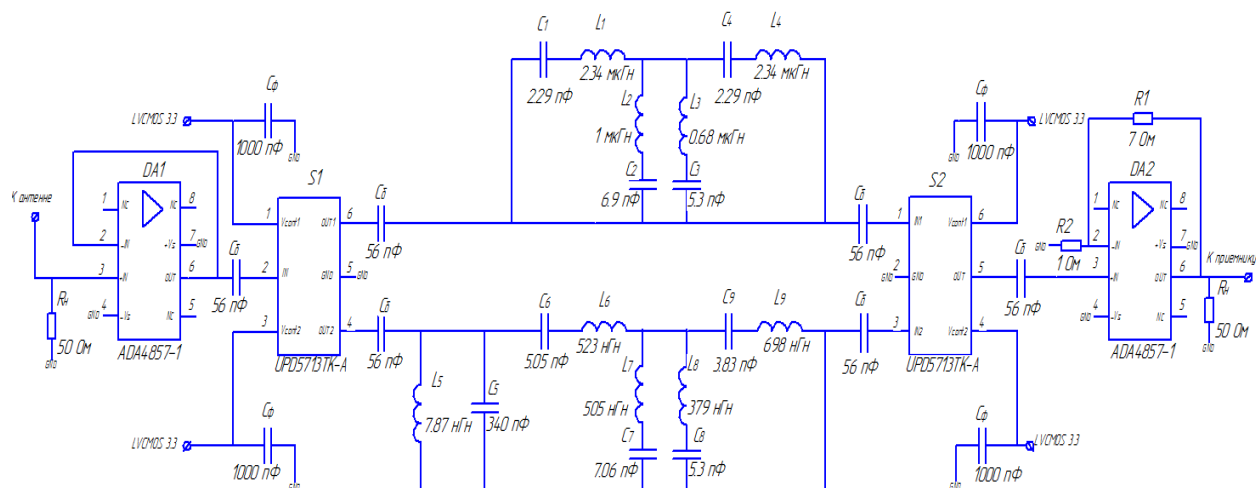


Рис. 15. Преселектор радиовещательного приемника

Выводы

Разработанное устройство действительно усиливает сигнал в соответствующей полосе пропускания до 12 дБ (с допускаемым ТЗ отклонением ± 3 дБ), при этом обеспечивает ослабление при отстройке 3 МГц -30 дБ. Работоспособность схемы с заданными параметрами подтверждается расчетами и гарантиями производителей компонентов (официальная техническая документация).

Список литературы

- [1]. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. М.: Радио и связь, 1983. 752 с.
- [2]. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. В 2 т. Т. 1: пер. с нем. М.: ДМК Пресс, 2008. 832 с. [Halbleiter Schaltungstechnik. Springer, 2008, 1544 p.].
- [3]. Голованов В.В., Яковлев А.О. Проектирование аналоговых и цифровых фильтров. М.: Издательство МАИ, 1993. 55 с.
- [4]. Тронин Ю.В., Гурский О.В. Синтез фильтров: учебное пособие. М.: МАИ, 1990. 76 с.
- [5]. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры М: Мир, 1982. 592 с.
- [6]. Никольский В., Никольская Т. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Либроком, 2012. 546 с.