

## Экспериментальное исследование усилителя промежуточной частоты

А.Н.Зикий<sup>1</sup>, Г.В.Сперанская<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Южный Федеральный Университет, Таганрог

<sup>1</sup>Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

**Аннотация:** Проведено экспериментальное исследование усилителя промежуточной частоты с полосой пропускания от 25 до 155 МГц и коэффициентом усиления около 40 дБ. Дана функциональная схема и один каскад принципиальной схемы. Имеется краткое описание конструкции. Описана методика эксперимента. Приведены результаты эксперимента: две амплитудно-частотные характеристики и одна амплитудная.

**Ключевые слова:** усилитель промежуточной частоты, эксперимент, амплитудно-частотная характеристика, динамический диапазон, точка компрессии.

Усилители промежуточной частоты (УПЧ) нашли широкое применение в супергетеродинных радиоприёмных устройствах СВЧ [1-4]. Имеется обширная литература по их схемотехнике, расчёту, моделированию и экспериментальному исследованию [1-4]. В то же время вопрос согласования УПЧ с выходом смесителя для минимизации коэффициента шума освещён недостаточно. Описываемое в статье техническое решение позволяет решить задачу минимизации коэффициента шума. Это техническое решение вытекает непосредственно из теории [5], однако экспериментальные результаты не нашли должного отражения в литературе.

К УПЧ предъявляются следующие требования: диапазон рабочих частот 50-150 МГц, коэффициент усиления около 40 дБ, коэффициент шума около 2,5 дБ, входное и выходное сопротивление 50 Ом.

### Схема УПЧ

Функциональная схема УПЧ приведена на рисунке 1. УПЧ состоит из входного каскада на трёх транзисторах КТ382АМ, двух гибридных микросхем WQZ019 и одной интегральной микросхемы МАА723. Особенностью данного УПЧ является его низкий коэффициент шума, который достигнут параллельным включением трёх транзисторов во входном каскаде. Принципиальная схема входного каскада показана на рисунке 2.

Транзисторы КТ382АМ имеют типовое значение коэффициента шума 2,2 дБ на частоте 400 МГц. Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме ОЭ не менее 1,8 ГГц.

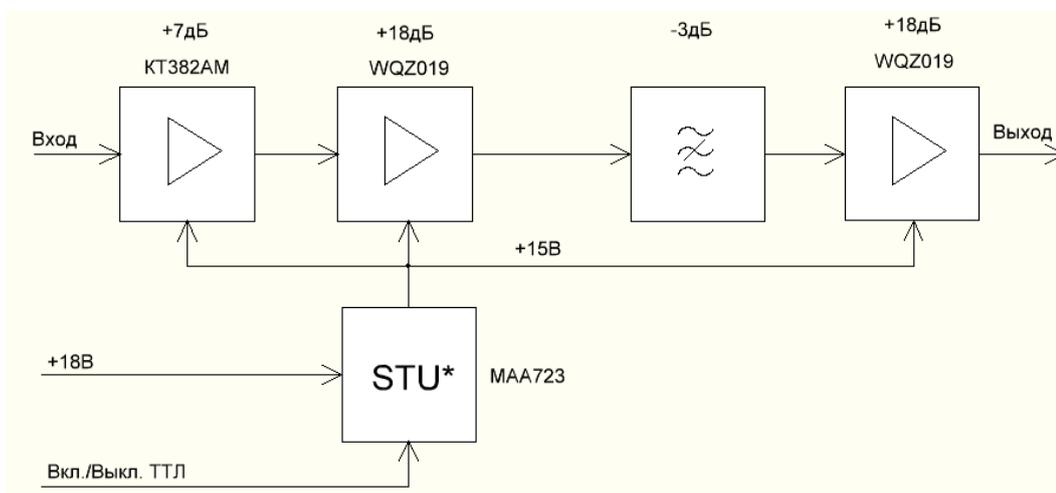


Рис. 1. – Функциональная схема УПЧ

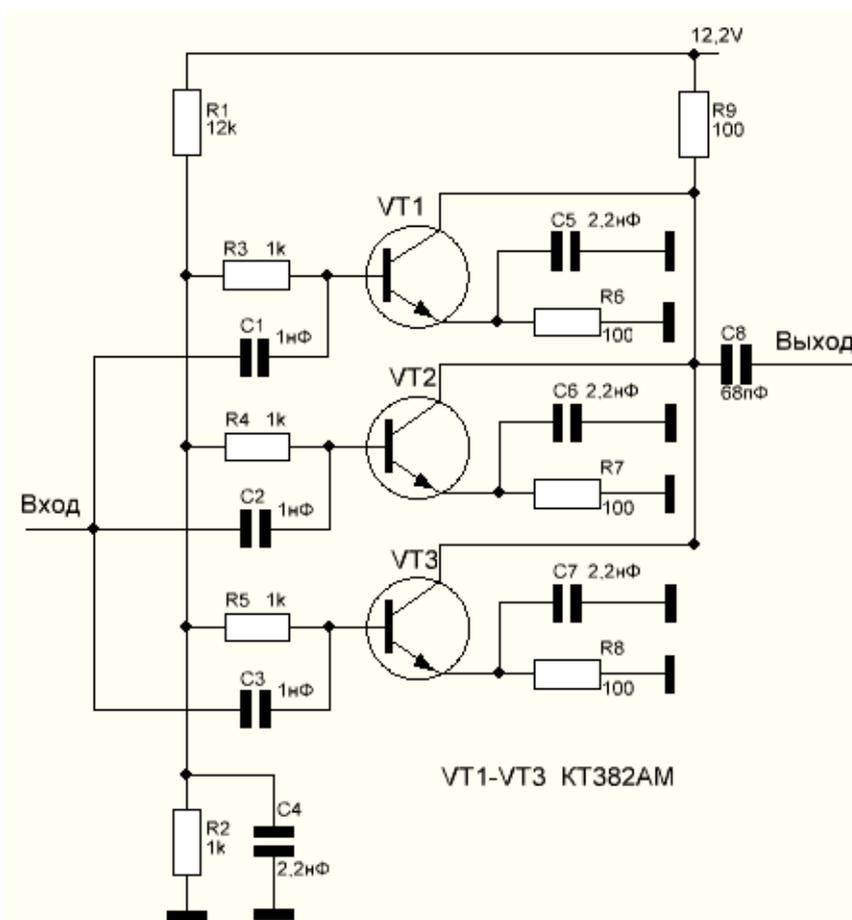


Рис. 2. – Принципиальная схема входного каскада УПЧ

## Конструкция УПЧ

УПЧ собран на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита размером 80x40 мм. Почти все радиодетали установлены с одной стороны печатной платы, и только три соединителя установлены на стальном корпусе рамочного типа. Корпус закрывается двумя крышками с пружинящими контактами по контуру. В качестве соединителей высокочастотных использованы вилка и розетка TNC. В качестве низкочастотного соединителя использована вилка PC10TB. Через неё подаётся питание и управление. Почти вся поверхность печатной платы со стороны установки радиодеталей используется для экранирования. Такой приём позволяет повысить устойчивость УПЧ к самовозбуждению, уменьшить наводки и помехи.

## Эксперимент

Первый эксперимент по снятию АЧХ проводился на установке, структурная схема которой изображена на рисунке 3. Основной прибор-измеритель комплексных коэффициентов передачи «Обзор-103» [6]. При непосредственном соединении «Обзора-103» и УПЧ, усилитель входит в ограничение и не показывает усиления, поэтому в измерительной установке присутствует аттенюатор 50 дБ. С этим же аттенюатором проводилась калибровка прибора. АЧХ УПЧ снималась в полосе 1300 МГц и в полосе 200 МГц. Результаты изображены на рисунках 4 и 5.

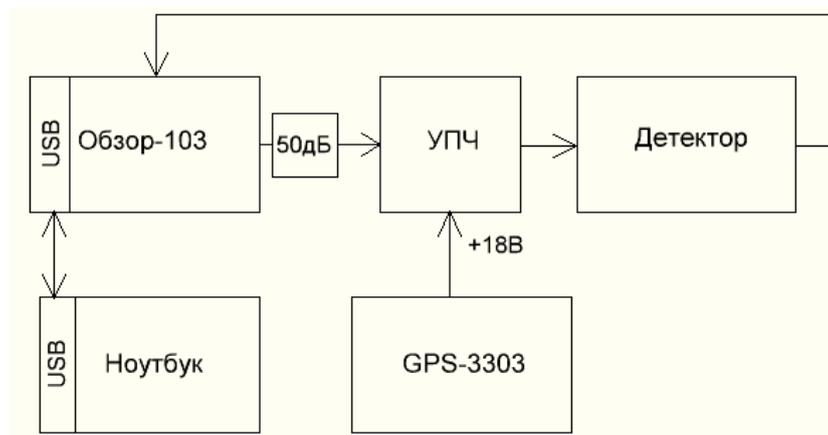


Рис. 3. – Структурная схема для снятия АЧХ

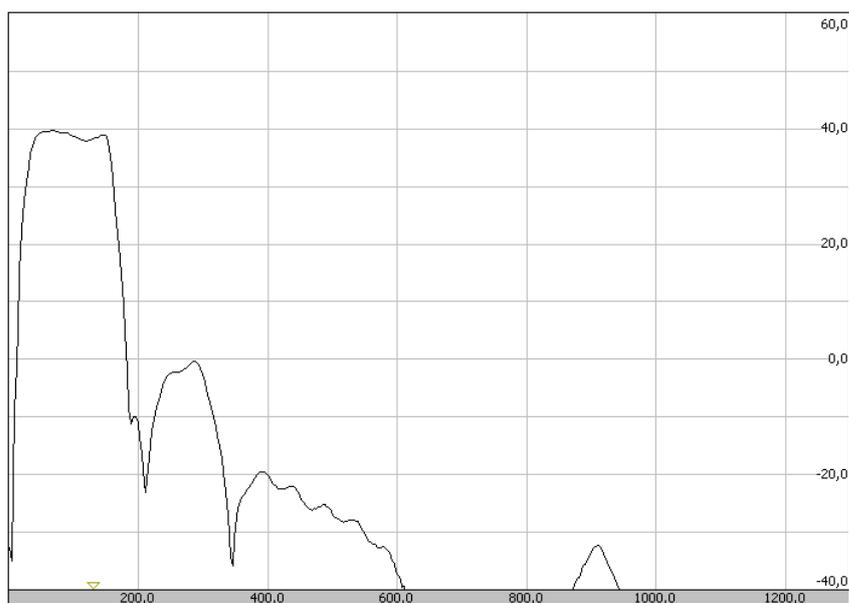


Рис. 4. – АЧХ УПЧ в полосе 1300 МГц

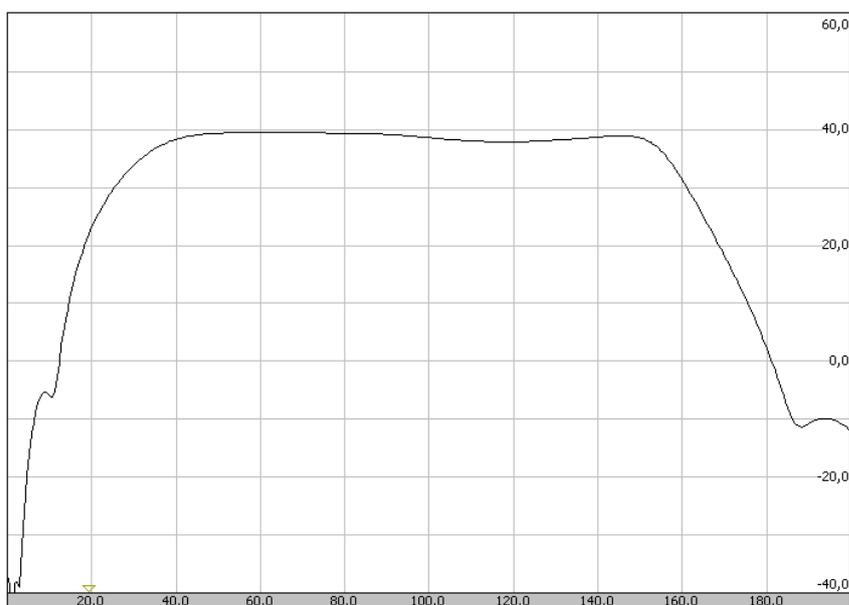


Рис. 5. – АЧХ УПЧ в полосе 200 МГц

Второй эксперимент по снятию амплитудной характеристики проводился на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 6. В качестве источника сигнала использован генератор Г4-218/1. В качестве индикатора выходного сигнала применён осциллограф TDS3052B. Источником питания служил прибор GPS-3303. Поскольку генератор не обеспечивает уровни выходных сигналов ниже 1мВ, на входе УПЧ был установлен фиксированный аттенюатор 20 дБ из комплекта прибора «Обзор-

103». Результаты измерений заносились в таблицу 1. По этим результатам построена кривая на рисунке 5. По ней вычислена точка компрессии в 1 дБ.

Расхождение в коэффициенте усиления на рисунках 3 и 6 можно объяснить разницей входных сопротивлений нагрузки УПЧ. На рисунке 3 входное сопротивление детектора составляет 50 Ом. На рисунке 6 входное сопротивление осциллографа имеет значение 1 МОм.

Результаты испытаний УПЧ на рисунках 2, 3 и 5 позволяют сформулировать количественные выводы. В случае расхождения данных разных измерений были выбраны худшие.

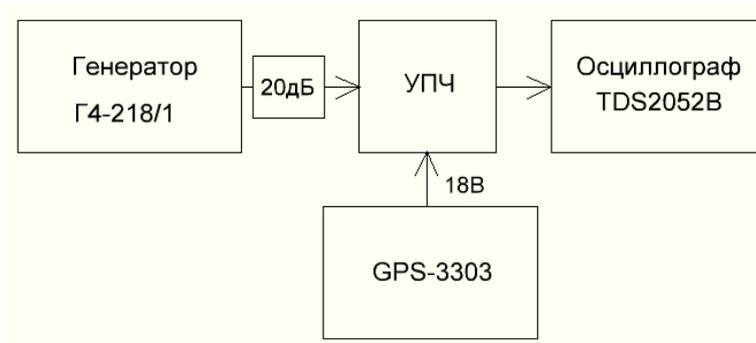


Рис. 6. – Структурная схема для измерения АХ

Таблица 1. Амплитудная характеристика УПЧ

$U_{\text{ВЫХ}}$ ГСС, мВ	$U_{\text{ВХ}}$ УПЧ	Размах $U_{\text{ВЫХ}}$ , мВ	На частоте 100 МГц амплитуда
1	0,1	50	25
2	0,2	100	50
3	0,3	150	75
4	0,4	198	99
5	0,5	240	120
6	0,6	302	151
7	0,7	350	175
8	0,8	396	198
9	0,9	448	224
10	1	498	249
11	1,1	532	266
12	1,2	572	286
13	1,3	612	306
14	1,4	652	326
15	1,5	680	340

16	1,6	708	354
17	1,7	736	368
18	1,8	752	376
19	1,9	780	390
20	2	808	404
21	2,1	816	408
22	2,2	836	418
23	2,3	844	422
24	2,4	852	426
25	2,5	864	432
26	2,6	868	434
27	2,7	876	438
28	2,8	884	442
29	2,9	884	442
30	3	892	446
31	3,1	896	448
32	3,2	892	446

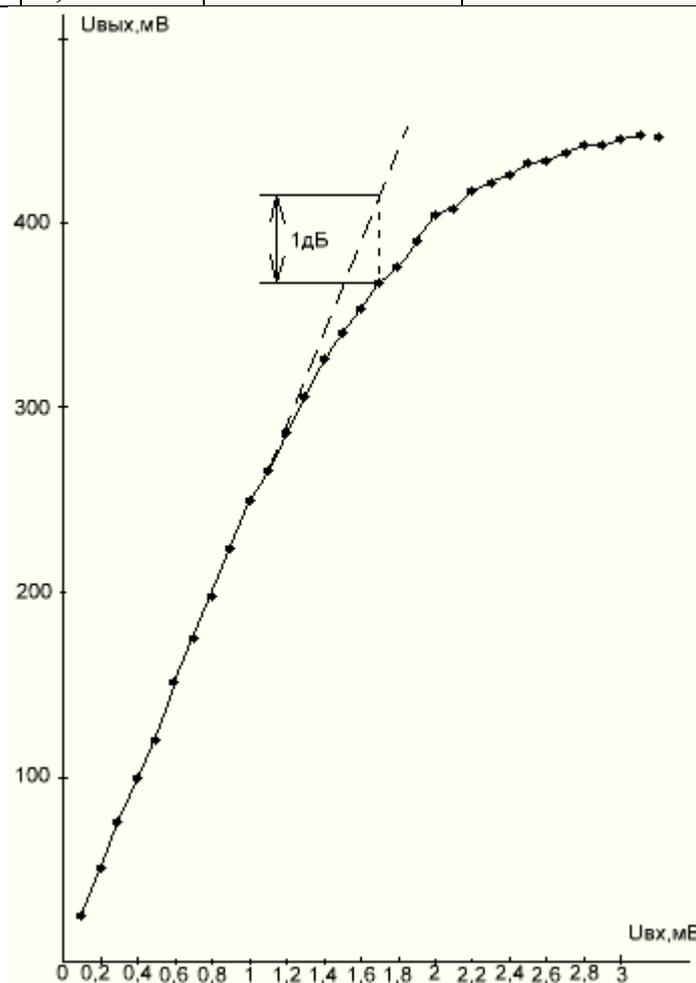


Рис. 7. – Амплитудная характеристика УПЧ

## Выводы

Основные результаты работы сведены в таблицу 2. Из этой таблицы видно, что требования к УПЧ выполняются.

Таблица 1. Основные параметры УПЧ

Наименование параметра, размерность	Задано	Получено в эксперименте
Нижняя частота полосы пропускания, МГц	50	25
Верхняя частота полосы пропускания, МГц	150	155
Коэффициент усиления при малом сигнале на частоте 100 МГц, дБ	$\geq 38$	39 $\pm$ 1
Коэффициент усиления при большом сигнале(3мВ), дБ	-	-34
Волновое сопротивление входа/выхода, Ом	50/50	50/50
Неравномерность АЧХ в полосе от 50 до 150 МГц, дБ	3	2
Точка компрессии АХ на 1 дБ(входной уровень, мВ)	1,5	1,7
Динамический диапазон входных сигналов, дБ	30	>30
Напряжение питания, В	18	18
Ток потребления, мА	-	60
Избирательность на частоте 200 МГц, не менее, дБ	40	50
Избирательность на частотах сотовой связи GSM900, не менее, дБ	60	>70

При написании данной работы были полезными публикации [1-4], а также предыдущий опыт авторов [7-10].

## Литература

1. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. Под ред. В.П.Дьяконова. –М.: СОЛОН-Р, 2002. – 512 с.
2. Ровдо А.А. Схемотехника усилительных каскадов на биполярных транзисторах. –М.: Издат. Дом «Додэка-XXI», 2002. – 256 с.
3. Pieter L.D. Abrie. Design of RF and Microwave Amplifiers and Oscillators. Boston, London. Artech House Publishers. 2009. – 480 p.

4. Devendra K. Misra. Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits: Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc. 2001. – 632 p.

5. Жалуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах. – М.: Сов.радио, 1977. – 416 с.

6. Обзор-103. Измеритель комплексных коэффициентов передачи. Руководство по эксплуатации РЭ 6687-028-21477812. 2004. -95 с.

7. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Мамченко С.О., Пустовалов А.И. Два малошумящих усилителя. Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4731.

8. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Зиновьев С.С., Сальный И.А. Усилитель дециметрового диапазона. Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4405.

9. Зикий А.Н., Пустовалов А.И., Сальный И.А. Ограничительные свойства серийных малошумящих усилителей. Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3774.

10. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Власенко Д.В. Экспериментальное исследование усилителя мощности сантиметрового диапазона. Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники. 2013, №1, с.136-139.

### References

1. Enciklopediya ustrojstv na polevyh tranzistorah. Pod red. V.P. D'yakonova [Encyclopedia of devices on field-effect transistors. Ed. V.P. Dyakonova]. М.: SOLON-R, 2002. 512 p.

2. Rovdo A.A. Skhemotekhnika usilitel'nyh kaskadov na bipolyarnykh tranzistorah [Circuitry amplifier stages on bipolar transistors]. М.: Izdat. Dom «Dodeka-XXI», 2002. 256 p.

3. Pieter L.D. Abrie. Design of RF and Microwave Amplifiers and Oscillators. Boston, London. Artech House Publishers. 2009. 480 p.

---



4. Devendra K. Misra. Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits: Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc. 2001. 632 p.
5. Zhalud V., Kuleshov V.N. Shумы v poluprovodnikovyyh ustrojstvah [Noise in semiconductor devices]. M.: Sov.radio, 1977. 416 p.
6. Obzor-103. Izmeritel' kompleksnyh koefficientov peredachi. Rukovodstvo po ekspluatacii [Review-103. Meter for complex transfer ratios. Manual]. RE 6687-028-21477812- 2004. 95 p.
7. Zikij A.N., Zlaman P.N., Mamchenko S.O., Pustovalov A.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4731](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4731).
8. Zikij A.N., Zlaman P.N., Zinov'ev S.S., Sal'nyj I.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4405](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4405).
9. Zikij A.N., Pustovalov A.I., Sal'nyj I.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3774](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3774).
10. Zikij A.N., Zlaman P.N., Vlasenko D.V. Voprosy special'noj radioelektroniki, seriya Obshchie voprosy radioelektroniki. 2013, №1, p.136-139.