

Курсовой проект

По дисциплине:
«Радиоприёмные устройства»

Разработка приёмника базовой станции UMTS

Выполнил:
Проверил:

Москва 2025 г.

Содержание

1	Техническое задание	3
2	Выбор структуры приёмника	3
2.1	Супергетеродинный приёмник	3
2.2	Приёмник прямого преобразования	4
2.3	Приёмник с цифровой обработкой на ПЧ	5
2.4	Выбор схемы	6
3	Расчёт	6
3.1	Заданные параметры	6
3.2	Расчёт чувствительности приёмника	7
3.2.1	Исходные данные	7
3.2.2	Расчёт теплового шума и суммарного коэффициента шума .	8
3.2.3	Расчёт результирующего отношения $S/(N + I)$	8
3.2.4	Переход к эффективному значению	8
3.2.5	Вывод:	9
3.3	Расчёт избирательности по соседнему каналу	9
3.3.1	Исходные данные	9
3.3.2	Расчёт допустимого уровня помехи от соседнего канала после ФНЧ	9
3.3.3	Вывод	9

1 Техническое задание

Разработать радиоприёмное устройство базовой станции стандарта UMTS (универсальной мобильной телекоммуникационной системы с прямым расширением спектра), используя техническое задание, представленное в таблице 1.

Таблица 1: Технические характеристики

Параметр	Значение
Принцип дуплексирования	Частотное разделение, разнос 95 МГц
Диапазон приёма	1710–1785 МГц
Диапазон передачи	1805–1880 МГц
Модуляция	QPSK
Шаг перестройки по частоте	5 МГц, дискрет 200 кГц
Точность частоты	± 0.05 ppm (Wide Area BS)
BER	≤ 0.001
E_b/N_0	≥ 5.2 дБ
Чувствительность BS	–121 дБм (12.2 kbps)
Избирательность по соседнему каналу	–115 дБм / –52 дБм, ± 5 МГц
Избирательность по побочным каналам	Согласно 3GPP TS 25.101
Динамический диапазон	–110.7 дБм ... –25 дБм (85.7 дБ)

2 Выбор структуры приёмника

Для выбора схемы приёмника проведем сравнение возможных вариантов реализации.

2.1 Супергетеродинный приёмник

Принцип работы:

ПФ1 совместно с фильтром ПФ2 ослабляет уровень помех по зеркальному и другим побочным каналам. МШУ обеспечивает заданную чувствительность. Побочные продукты преобразования подавляются ФПЧ1.

Преимущества:

- высокая чувствительность и избирательность,
- стабильные параметры.

Недостатки:

- большое количество компонентов,
- сложность микроминиатюризации,
- повышенное энергопотребление.

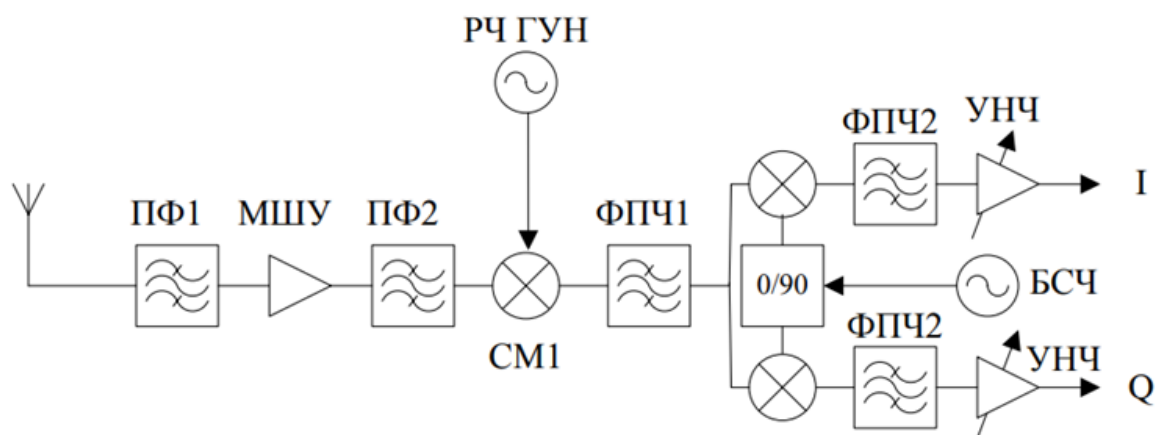


Рис. 1: Схема супергетеродинного приёмника с двукратным преобразованием частоты

2.2 Приёмник прямого преобразования

Принцип работы:

квадратурный преобразователь частоты переносит спектр сигнала на две низкочастотные составляющие. УНЧ и ФНЧ выполняют частотную селекцию.

Преимущества:

- простота схемы,
- минимум внешних компонентов,
- возможность реализации в ИМС,
- низкое энергопотребление.

Недостатки:

- утечка гетеродина \rightarrow постоянная составляющая,
- требования к симметрии I/Q каналов,
- интермодуляционные искажения.

Появление постоянной составляющей на выходе ФНЧ связано в первую очередь с утечкой сигнала гетеродина. В качестве эффективного решения данной проблемы обычно применяют переход на синтезатор частоты с удвоенной рабочей частотой. Частота, равная частоте входного сигнала, получается уже внутри ИМС путем деления на 2, что приводит к почти полному исчезновению излучения через паразитные цепи. Также, правильная компоновка компонентов РЧ блоков, экранирование узлов и применение специальных алгоритмов оценивания в цифровом блоке обработки, помогают устранить большинство недостатков этой схемы.

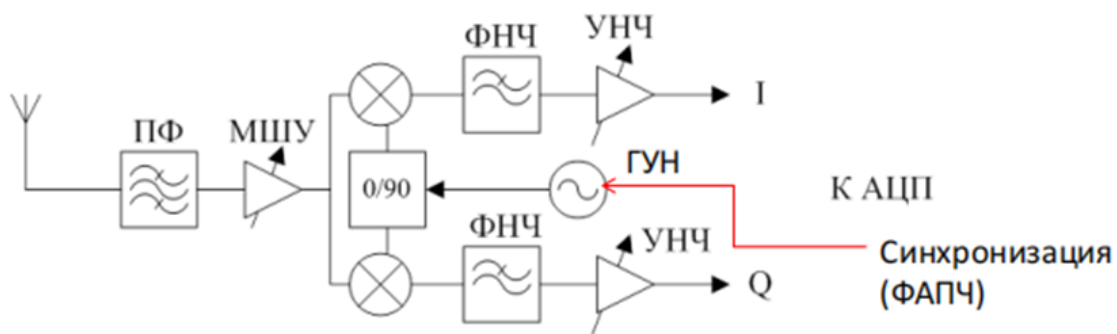


Рис. 2: Схема приёмника с прямым преобразованием

2.3 Приёмник с цифровой обработкой на ПЧ

Принцип работы:

спектр сигнала переносится на ПЧ, затем оцифровывается АЦП и демодулируется цифровыми средствами (DDS, цифровые ФНЧ, I/Q).

Преимущества:

- идеальная симметрия каналов,
- программная гибкость,
- многоканальная обработка.

Недостатки:

- необходимость быстрого АЦП,
- повышенное энергопотребление,
- сложность и стоимость реализации.

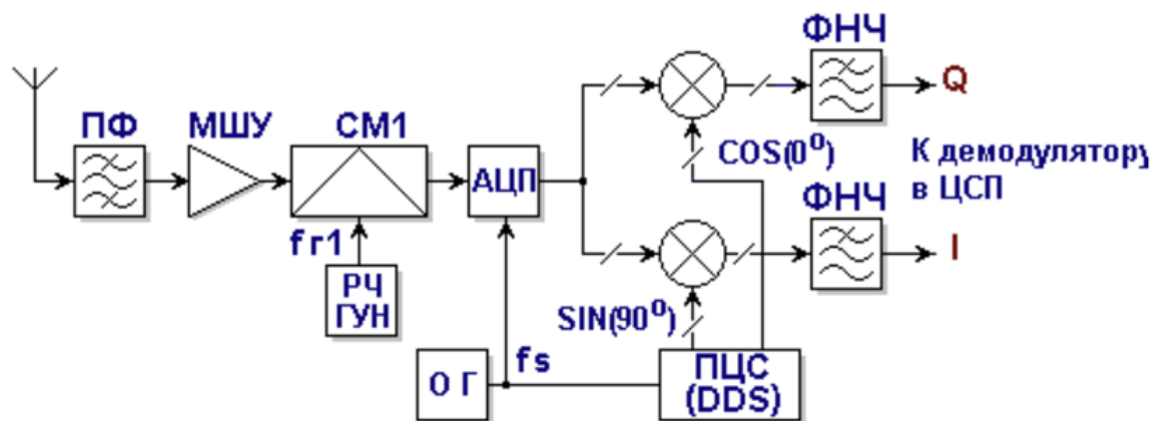


Рис. 3: Схема приёмника с цифровой обработкой на ПЧ

2.4 Выбор схемы

Исходя из указанных плюсов и минусов структур приёмника была выбрана схема приёмника прямого преобразования. Расширенная схема такого приёмника на рис. 3. За счёт малой элементной базы структура приемника прямого преобразования будет более простой для реализации, а большинство недостатков удастся избежать правильно подобранной элементной базой, различным экранированием, использованием дифференциальных схем гетеродинов и смесителей, а также применением схем (алгоритмов) оценки и компенсации дрейфа постоянной составляющей и не идентичности каналов. За счёт чего удаётся существенно ослабить проблему дрейфа постоянной составляющей сигнала на выходе перемножителей.

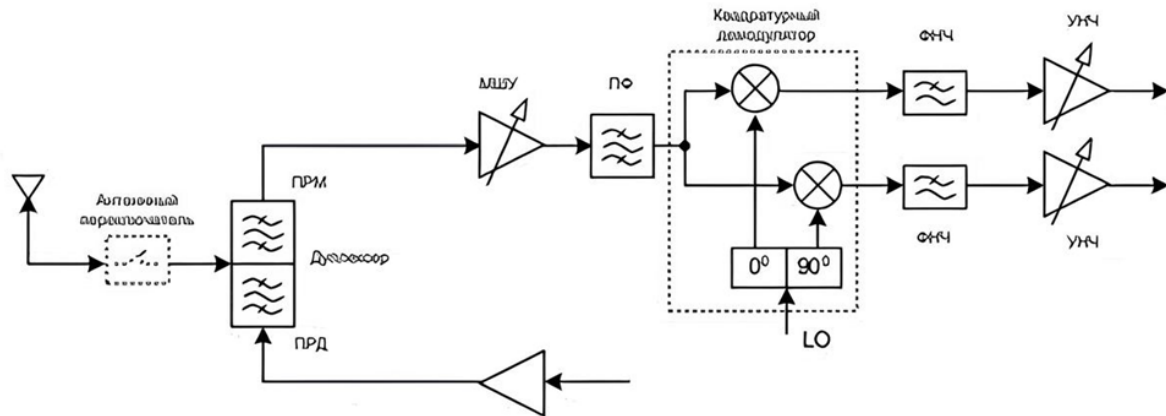


Рис. 4: Расширенная схема приёмника прямого преобразования

3 Расчёт

3.1 Заданные параметры

- Мощность полезного сигнала: $P_{DPCH} = -121 \text{ дБм} = -151 \text{ дБВт}$ - уровень полезного сигнала (канала DPCH) на входе антенны
Перевод: $\text{дБВт} = \text{дБм} - 30$, т. е. $0 \text{ дБм} = 1 \text{ мВт}$, то $0 \text{ дБВт} = 1 \text{ Вт}$
- Коэффициент усиления МШУ: $G_{LNA} = 17 \text{ дБ}$ (50 раз по мощности)
- Коэффициент шума (Noise Figure) МШУ: $NF_{LNA} = 1 \text{ дБ}$
- Затухание в полосовом фильтре (Band-Pass Filter): $L_{BPF} = 2.5 \text{ дБ}$
- Запас на неточности реализации цифровой обработки (Implementation Margin): $L_{IM} = 2 \text{ дБ}$ Учитывает все реальные потери, погрешности, допуски, квантизацию, фазовые шумы и т. д.
- Коэффициент шума демодулятора: $NF_{DEM} = 11.6 \text{ дБ}$
- Коэффициент усиления демодулятора: $G_{DEM} = 1.5 \text{ дБ}$
- Затухание ANT-RX: $L_{RX} = 2 \text{ дБ}$
Затухание в дуплексере между выводами "ANT - RX" (между антенной и приёмником) в диапазоне частот приёма. То есть сигнал на входе МШУ будет на 2 дБ слабее, чем на антенне.

- Затухание TX-RX: $L_{TX/RX} = 35$ дБ
Затухание в дуплексере между выводами "TX - RX" (от передатчика к приёмнику) в диапазоне частот приёма
- Полоса: $BW = 3.84$ МГц
- Постоянная Больцмана: $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц·К
- Температура (комнатная): $T = 273$ К

Технические характеристики подобранных элементов описаны в Приложении 1

3.2 Расчёт чувствительности приёмника

Реальная чувствительность приёмника определяется как минимальный уровень мощности полезного сигнала PDPSH на входе антенны BS, при котором выходная вероятность ошибки на бит BER стандартного измерительного канала передачи данных не превышает заданной величины.

3.2.1 Исходные данные

Выпишем и посчитаем данные, которые понадобятся для этого пункта.

- Мощность полезного сигнала: $P_{DPCH} = -121$ дБм
- Системный шум от базовой станции:

$$P_N^{SYS} = 10 \log_{10}(10^{P_{RX}/10} - 10^{P_{DPCH}/10}) = -111.1 \text{ дБм} \quad (1)$$
- Шум от передатчика (через дуплексер): $P_{NTX} = -70 - L_{TX/RX} = -105$ дБм
- Коэффициент шума МШУ: $NF_{LNA} = 1$ дБ
- Усиление МШУ: $G_{LNA} = 17$ дБ
- Затухание в полосовом фильтре: $L_{BPF} = 2.5$ дБ
- Коэффициент шума демодулятора: $NF_{DEM} = 11.6$ дБ
- Усиление демодулятора: $G_{DEM} = 1.5$ дБ
- Ширина полосы: $BW = 3.84$ МГц
- Постоянная Больцмана: $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Вт/Гц·К
- Температура: $T = 273$ К
- Implementation Margin: запас на реализацию цифровой обработки:
 $L_{IM} = 2$ дБ
- Processing Gain: энергетический выигрыш вследствие свёртки шумоподобного сигнала PNS (определяется из соотношения ширины спектра сигнала WCDMA и полосы полезного информационного сигнала после свёртки):

$$G_{PG} = 10 \log_{10} \frac{BW}{R_{data}} = 10 \log_{10}(314.75) = 25 \text{ дБ} \quad (2)$$

3.2.2 Расчёт теплового шума и суммарного коэффициента шума

Кроме системных имеется ещё два источника помех:

- 1) аддитивный белый гауссовский шум (Additive White Gaussian Noise - AWGN), обусловленный собственными тепловыми шумами каскадов усиления приемника (особенно его входного LNA);
- 2) шумовая составляющая шумов передатчика BS в диапазоне принимаемых частот, спектральную плотность которого можно также считать постоянной. Рассчитывается с учетом затухания сигнала в дуплексере и мощности собственных шумов передатчика в диапазоне частот приёма $PN(BW) = -70$ дБм – эта величина была получена на основе анализа шумов типовых передатчиков данного диапазона

Тепловой шум в полосе BW :

$$P_{thermal} = 10 \cdot \log_{10}(kTB) + 30 = 10 \cdot \log_{10}(1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 273 \cdot 3.84 \cdot 10^6) + 30 \approx -108.4 \text{ дБм} \quad (3)$$

Суммарный коэффициент шума приёмного тракта:

$$NF_{\Sigma} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{NF_{LNA}}{10}} + \frac{10^{\frac{NF_{DEM}}{10}} - 1}{10^{\frac{G_{LNA} - L_{BPF}}{10}}} \right) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} NF_{\Sigma} &= 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{1}{10}} + \frac{10^{\frac{11.6}{10}} - 1}{10^{\frac{17-2.5}{10}}} \right) \\ &= 10 \cdot \log_{10} \left(1.26 + \frac{14.45 - 1}{28.18} \right) \\ &= 10 \cdot \log_{10}(1.26 + 0.477) = 10 \cdot \log_{10}(1.737) \approx 2.4 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5)$$

Суммарный шум приёмника:

$$P_{N0} = P_{thermal} + NF_{\Sigma} = -108.4 \text{ дБм} + 2.4 \text{ дБм} = -106 \text{ дБм} \quad (6)$$

3.2.3 Расчёт результирующего отношения $S/(N + I)$

Суммарная помеха:

$$P_{NI} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{P_N^{SYS}}{10}} + 10^{\frac{P_{N0}}{10}} + 10^{\frac{P_{NTX}}{10}} \right) \quad (7)$$

Подставляя значения:

$$P_{NI} = 10 \cdot \log_{10} (10^{-11.11} + 10^{-10.60} + 10^{-10.5}) \approx -104.9 \text{ дБм} \quad (8)$$

Отношение сигнал/шум+помеха:

$$\left(\frac{S}{N + I} \right) = P_{DPCH} - P_{NI} = -121 - (-104.9) = -16.1 \text{ дБ} \quad (9)$$

3.2.4 Переход к эффективному значению

$$\left(\frac{S}{N + I} \right)_{EFF} = \left(\frac{S}{N + I} \right) - LIM + G_{PG} = -16.1 - 2 + 25 = 6.9 \text{ дБ} \quad (10)$$

3.2.5 Вывод:

полученное значение 6.9 дБ превышает требуемое значение 5.2 дБ с заметным запасом, что подтверждает выполнение условия чувствительности приёмника.

3.3 Расчёт избирательности по соседнему каналу

3.3.1 Исходные данные

- Уровень полезного сигнала: $P_{wanted} = -115$ дБм
- Уровень мешающего сигнала: $P_{adj} = -52$ дБм
- Смещение по частоте: ± 5 МГц
- Требуемое значение E_b/N_0 : 5.2 дБ
- Processing Gain: $G_{PG} = 25$ дБ
- Implementation Margin: $L_{IM} = 2$ дБ

Мешающий сигнал создаёт дополнительную помеху, которая поступает через фильтр нижних частот (ФНЧ). Чтобы приём был возможен, сигнал после ФНЧ должен удовлетворять требованию:

$$\left(\frac{S}{N + I + I_{adj}} \right)_{eff} \geq 5.2 \text{ дБ} \quad (11)$$

3.3.2 Расчёт допустимого уровня помехи от соседнего канала после ФНЧ

Рассчитаем итоговое отношение сигнал/шум/помеха без учёта фильтрации:

$$P_{total} = 10 \cdot \log_{10} (10^{P_{NSYS}/10} + 10^{P_{N0}/10} + 10^{P_{NTX}/10} + 10^{P_{adj}/10}) \quad (12)$$

Подставим:

$$P_{total} = 10 \cdot \log_{10} (10^{-11.11} + 10^{-11.8} + 10^{-10.5} + 10^{-5.2}) \approx -52.0 \text{ дБм} \quad (13)$$

$$\left(\frac{S}{N + I + I_{adj}} \right) = P_{wanted} - P_{total} = -115 - (-52) = -63 \text{ дБ} \quad (14)$$

Поскольку требуемое значение после учёта запаса и выигрыша:

$$\left(\frac{S}{N + I + I_{adj}} \right)_{eff} = -63 + G_{PG} - L_{IM} = -63 + 25 - 2 = -40 \text{ дБ} \ll 5.2 \text{ дБ} \quad (15)$$

Следовательно, необходимо подавить мешающий сигнал фильтром минимум на:

$$A_{FILT} = 5.2 + L_{IM} - G_{PG} + (P_{adj} - P_{wanted}) = 5.2 + 2 - 25 + (-52 + 115) = 45.2 \text{ дБ} \quad (16)$$

3.3.3 Вывод

Для обеспечения приёма при наличии сильного мешающего сигнала в соседнем канале (-52 дБм при полезном -115 дБм), фильтр нижних частот должен обеспечивать подавление не менее 45.2 дБ на частоте ± 5 МГц. Подходящими являются фильтры Баттерворта 7-го порядка или Чебышёва 6-го порядка.