

# Применение фильтров на ПАВ

В СИСТЕМАХ СОТОВОЙ СВЯЗИ

В статье рассматриваются принципы работы фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ) — в том числе в системах сотовой и спутниковой связи.

Виктор Прапорщиков

## Фильтры на ПАВ

Фильтры на ПАВ преобразуют электрическую энергию в акустическую и обратно за счет прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта, который возникает между двумя встречно-штыревыми преобразователями.

Входной преобразователь создает акустические волны в соответствии с входным электрическим сигналом, а выходной преобразователь принимает акустические волны и преобразует их обратно в электрический сигнал.

Обычно ПАВ-фильтры имеют конечную импульсную характеристику и для их расчета используют прямое и обратное преобразование Фурье, то есть функцию окна. Преобразователь работает во временной области. На рис. 1 иллюстрируется процесс фильтрации.

## Искажения и потери

На рис. 2 показана импульсная характеристика. Первый (по времени) отклик — это электро-

магнитная наводка. Такая наводка, как правило, возникает при плохой электрической развязке между входом и выходом. Она служит причиной быстрых пульсаций в полосе пропускания.

Разработчик должен принять необходимые меры по экранировке между входом и выходом и хорошему заземлению корпуса.

Второй отклик — это полезный сигнал, который в целом определяет частотную характеристику.

В результате отражения ПАВ-волны от выходного преобразователя возникают тройные отражения. Сигнал возвращается на вход и генерируется заново (рис. 3).

Таким образом, третий по времени отклик — сигнал тройного прохождения (тройное эхо). В результате интерференции всех трех сигналов, в случае неудачного включения, пульсации в полосе пропускания могут увеличиться больше допустимого предела. Задержка отраженного сигнала увеличивается втрое.

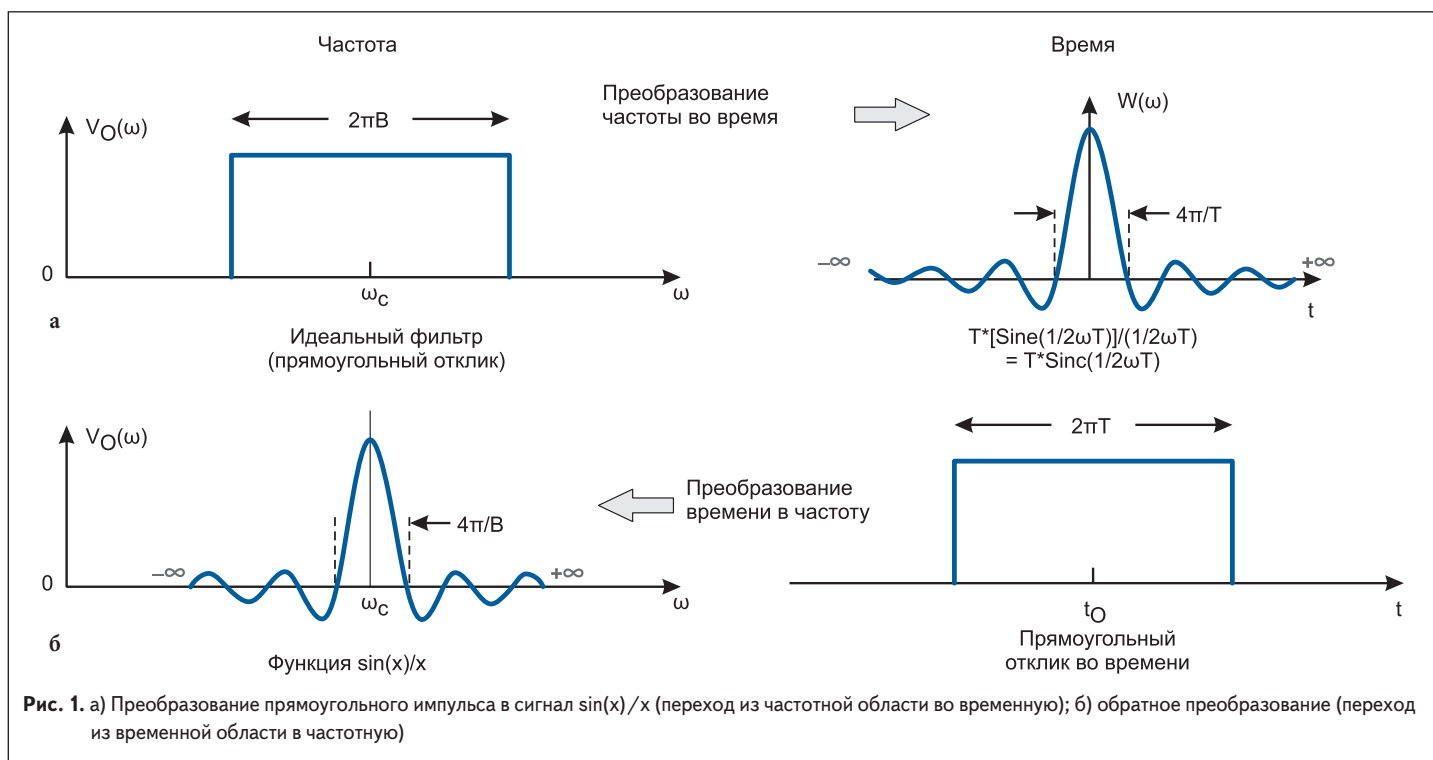


Рис. 1. а) Преобразование прямоугольного импульса в сигнал  $\sin(x)/x$  (переход из частотной области во временную); б) обратное преобразование (переход из временной области в частотную)

Другим нежелательным эффектом в ПАВ-фильтрах является сигнал утечки, который наблюдается в начальный момент времени  $t \sim 0$ , а также утечка сигнала через подложку. В итоге не вся энергия с преобразователя проходит по поверхности пьезоэлектрической подложки и поступает на выход — часть энергии переходит в объемные волны.

### Импедансные фильтры в системах сотовой связи

Рассмотрим импедансные фильтры на ПАВ, построенные по лестничной схеме (Impedance Element Filter, IEF). Данные фильтры нашли широкое применение в приемопередающих трактах подвижной, сотовой и спутниковой систем связи, а также в схемах полосовых и режекторных фильтров благодаря возможности совместить преимущества LC-фильтров (малое вносимое затухание, малые пульсации амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и группового времени запаздывания (ГВЗ) в полосе пропускания) с преимуществами ПАВ-фильтров (высокая технологичность, воспроизводимость, малые габариты). Это обеспечило в производстве такие параметры ПАВ-фильтров, которые недостижимы в других акустоэлектронных устройствах, а именно вносимое затухание — менее 2 дБ.

В IEF-фильтре присутствуют как параллельные, так и последовательные элементы. На рис. 4, 5 показаны выходные характеристики фильтра, полученные при использовании элементов разных видов.

По своим характеристикам ПАВ-резонатор не отличается от обычного кварцевого резонатора, который использует объемные акустические волны. Его электрическая схема соответствует последовательному резонансному контуру. Эквивалентная схема резонатора на поверхностных акустических волнах приведена на рис. 6.

С применением ПАВ-резонаторов реализуются фильтры, подобные обычным кварцевым фильтрам. По такому принципу обычно реализуются узкополосные полосовые фильтры. Потери

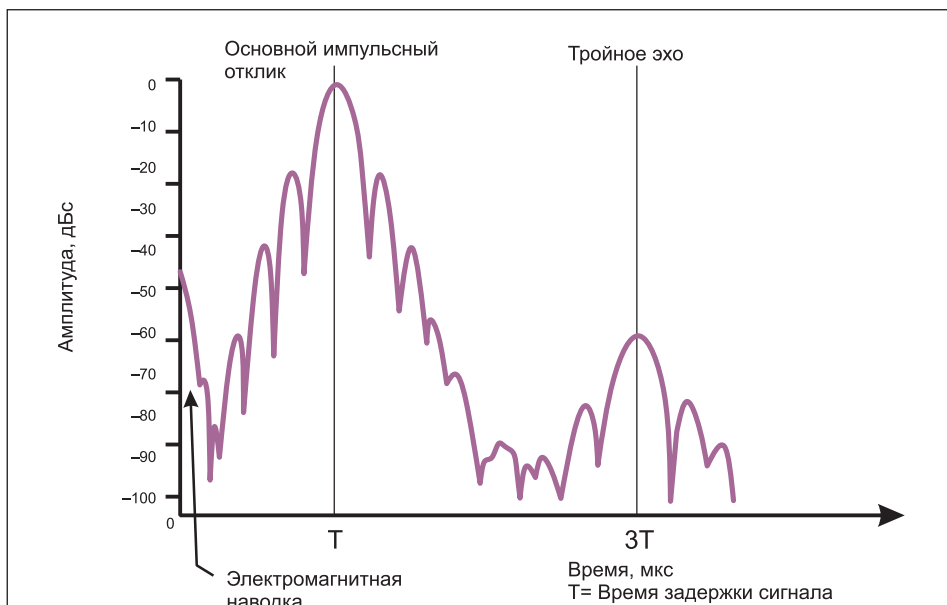


Рис. 2. Импульсная характеристика

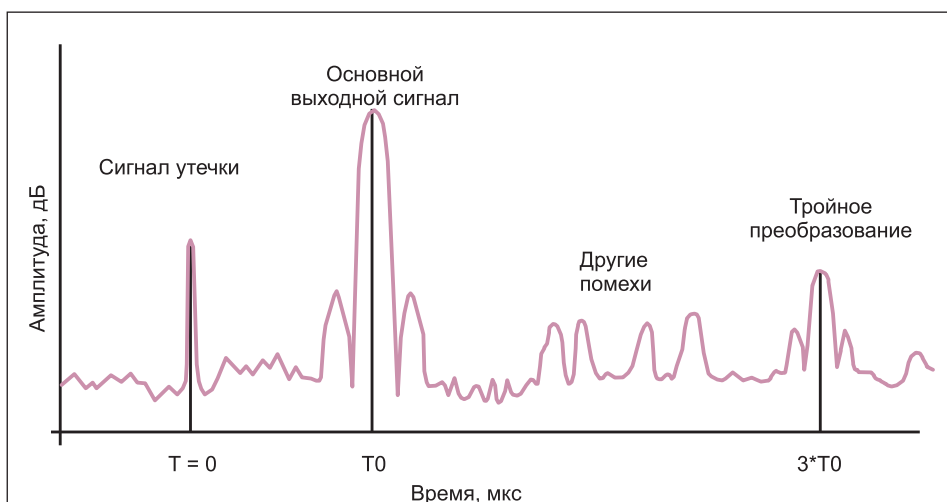


Рис. 3. Сигнал тройного прохождения (тройное эхо)

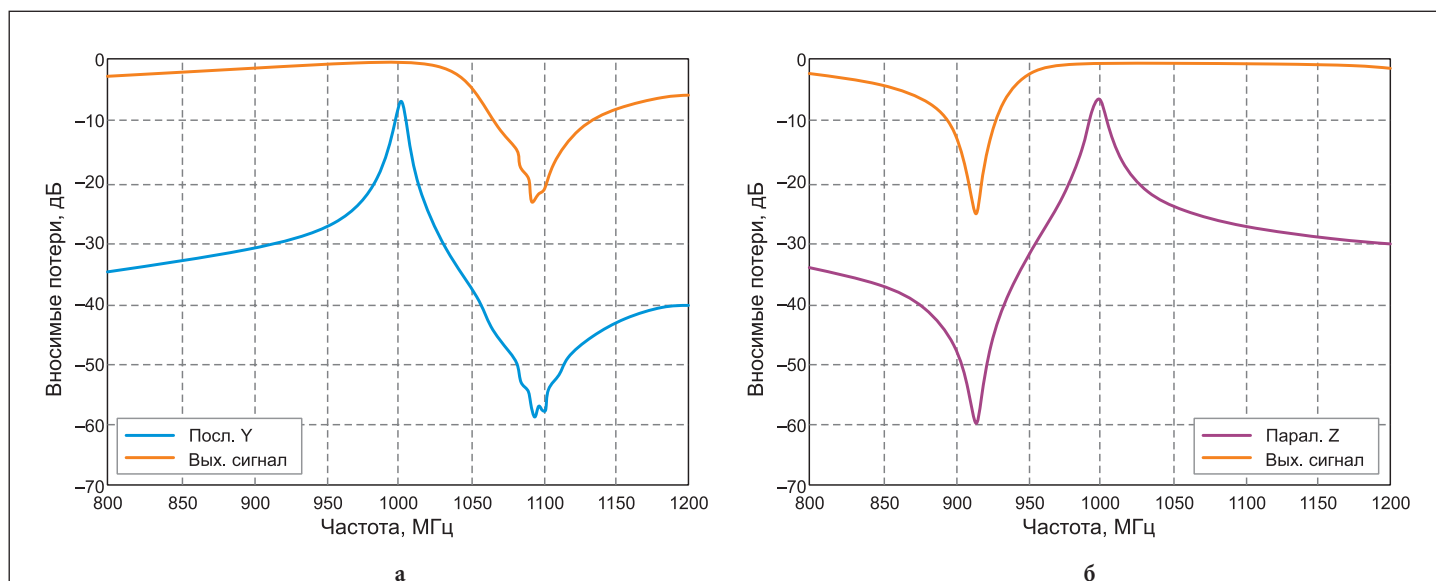


Рис. 4. Вносимые потери фильтра на резонаторах при: а) последовательном включении; б) параллельном включении

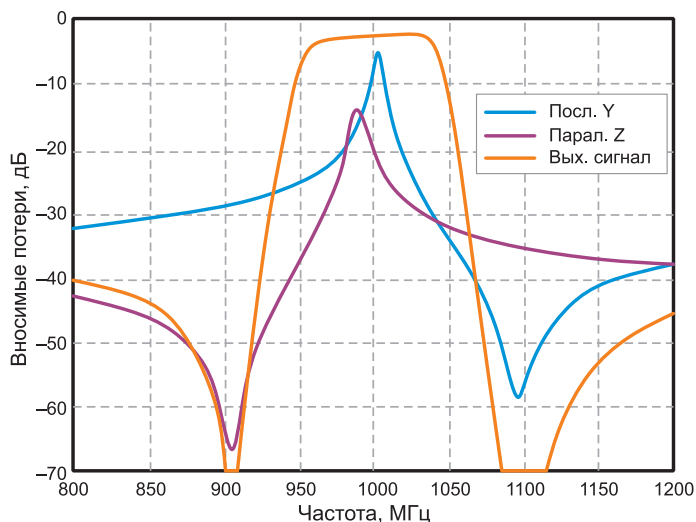


Рис. 5. Вносимые потери в смешанном фильтре на резонаторах

в полосе пропускания при этом определяются добротностью резонаторов и могут составлять 2–3 дБ, что позволяет использовать этот вид ПАВ-фильтров во входных каскадах приемников и выходных каскадах передатчиков.

Резонатор на поверхностных волнах можно выполнить с двумя преобразователями (3) и (4); его конструкция показана на рис. 7. Использование двух преобразователей позволяет гальванически развязать вход (1) и выход (5) фильтра.

В данном резонаторе отражатели (2) выполнены не в виде короткозамкнутых полосок металла, а в виде бороздок в пьезоэлектрике. Бороздки вызывают отражение точно так же, как и короткозамкнутые полоски металла. Эквивалентная схема этого резонатора приведена на рис. 8. Подобное схемное решение позволяет гальванически развязать вход и выход устройства.

### Применение фильтров на ПАВ в системах сотовой связи

Основные составляющие сотовой сети — это сотовые телефоны и базовые станции, которые обычно располагают на крышах зданий и вышках. Будучи включенным, сотовый телефон прослушивает эфир, находя сигнал базовой станции. Затем телефон посылает станции свой уникальный идентификационный код. Телефон и станция поддерживают постоянный радиоконтакт, периодически обмениваясь пакетами. Если телефон выходит из поля действия базовой станции (или качество радиосигнала сервисной соты ухудшается), он налаживает связь с другой базовой станцией.

Связь телефона со станцией может идти как по аналоговому протоколу (например, NMT-450, AMPS, NAMPS), так и по цифровому протоколу (такому как GSM, UMTS, CDMA).

Именно пассивные элементы, которые используются в приемниках и передатчиках, определяют стоимость систем беспроводной связи.

Многие из этих элементов трудно или невозможно вставить в корпус устройства из-за их размера. Эти элементы выбирают для определенного частотного диапазона и они должны обеспечивать требуемый уровень селективности. Фильтры на ПАВ обычно используются

в следующих частях тракта передачи-приема сотовой связи.

Входной полосовой фильтр тракта приема подавляет все внеполосные шумы и сигналы, предотвращая перегрузку предварительного малошумящего усилителя (МШУ).

В тракте приема необходимо уменьшить влияние мешающих сигналов соседних каналов, производимое другими пользователями системы связи. Это выполняется с помощью ПЧ-фильтра, который должен иметь высокую селективность по соседнему каналу при хорошей линейности характеристики.

В тракте передачи сигнал смешивается, фильтруется и усиливается усилителем мощности до необходимого уровня.

Выходной фильтр тракта передачи уменьшает шум и побочные составляющие, возникающие в смесителе передатчика и в усилителе мощности из-за его нелинейности.

Межкаскадный фильтр тракта передачи, устанавливаемый перед усилителем мощности, позволяет подавлять шумы и нежелательные продукты преобразования раньше, чем сигнал поступит на усилитель.

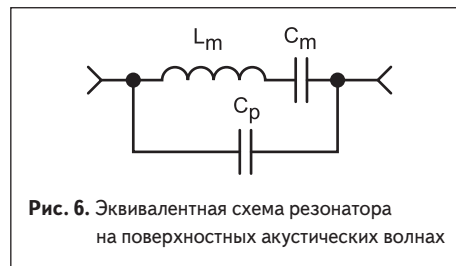


Рис. 6. Эквивалентная схема резонатора на поверхностных акустических волнах



Рис. 7. Конструкция резонатора с двумя преобразователями: 1 — вход, 2 — отражатели, 3 и 4 — входной и выходной преобразователи, 5 — выход

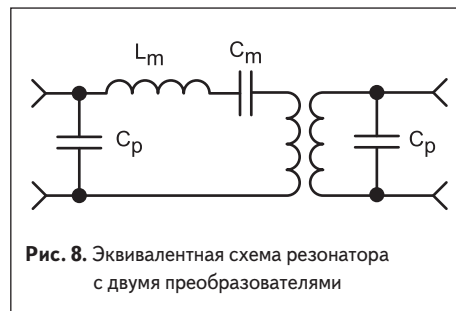


Рис. 8. Эквивалентная схема резонатора с двумя преобразователями

При построении усилителей мощности базовых станций, подключении передатчиков к антенным системам можно использовать балансные фильтры на ПАВ для преобразования импеданса различных устройств и отдельных компонентов тракта.

ПАВ-фильтры успешно применяются в приемопередатчиках (рис. 9), при дуплексной передаче и в гетеродинах благодаря малому

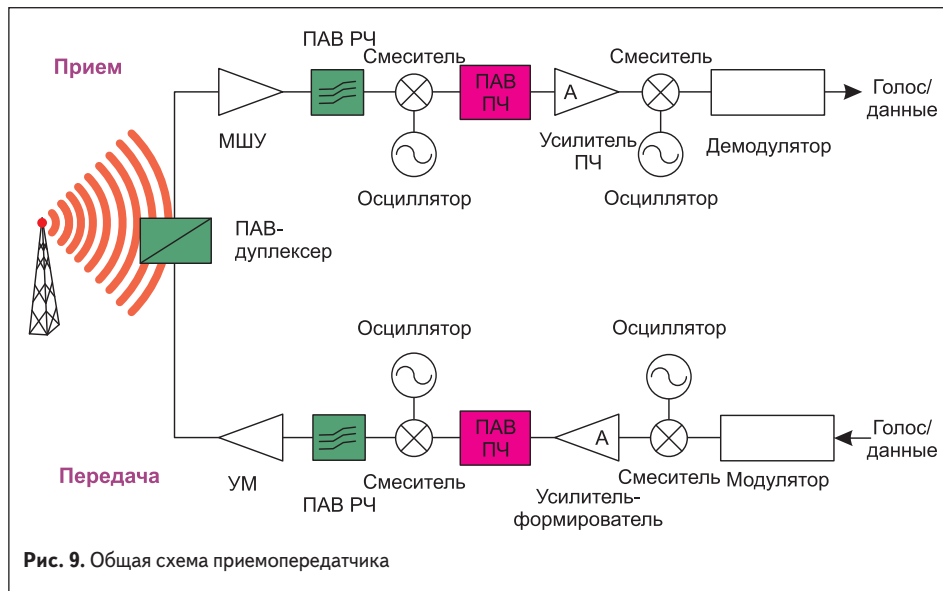


Рис. 9. Общая схема приемопередатчика

размеру, а также продолжительному сроку службы. Фильтры на ПАВ подходят для использования не только в канале приема, но и в канале передачи. Эти устройства вносят мало потерь, имеют гибкую полосу пропускания и заграждения.

Наиболее типичное применение ПАВ-фильтры нашли в мобильных устройствах связи. Они используются в однонаправленной и дуплексной передаче.

Фильтры на ПАВ с успехом применяются в системах, работающих в распространенных полосах передачи мобильной связи, например GSM, CDMA, WCDMA и LTE.

На рис. 10 показана достаточно распространенная структура однодиапазонного блока системы GSM900, а на рис. 11 — структура РЧ-блока приемопередатчика стандарта GSM900 с двойным преобразованием частоты в тракте приема

Кроме того, ПАВ-фильтры активно используются в оборудовании базовой станции.

Они играют роль полосовых фильтров в каскаде ПЧ благодаря малым искажениям и минимальному изменению амплитуды сигнала. ■

**Литература**

1. Abbot B., Hartmann C., Malocha D. Transduction magnitude and phase for COM modeling of SAW devices // Trans. on Ultrason., Ferroel. and Freq. Cont. 1992. Vol. 39. No. 1.
2. Синецкая Т. В. Конструктивные особенности резонаторных фильтров на ПАВ с малыми потерями. Материалы научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения». Саратов, 2003.
3. Багдасарян А. С., Синецкая Т. В., Машинин О. В. ПАВ-фильтры с малыми потерями на основе U-образного ответвителя // Электросвязь. 2004. № 2.
4. Синецкая Т. В., Багдасарян А. С., Кузнецов М. В. Резонаторные ПАВ-фильтры на основе реверсивного МПО // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2003. № 1, 2.
5. Громаков Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. М.: МТС, 1996.
6. Дингес С. И. Мобильная связь. Технология DECT. М.: Солон-Пресс, 2003.
7. Дингес С. И. Радиопередающие устройства ССПО. Учебн. пособие. МТУСИ, 2003.
8. Манасевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование. Пер. с англ. Под ред. Галина А. С. М.: Связь, 1979.

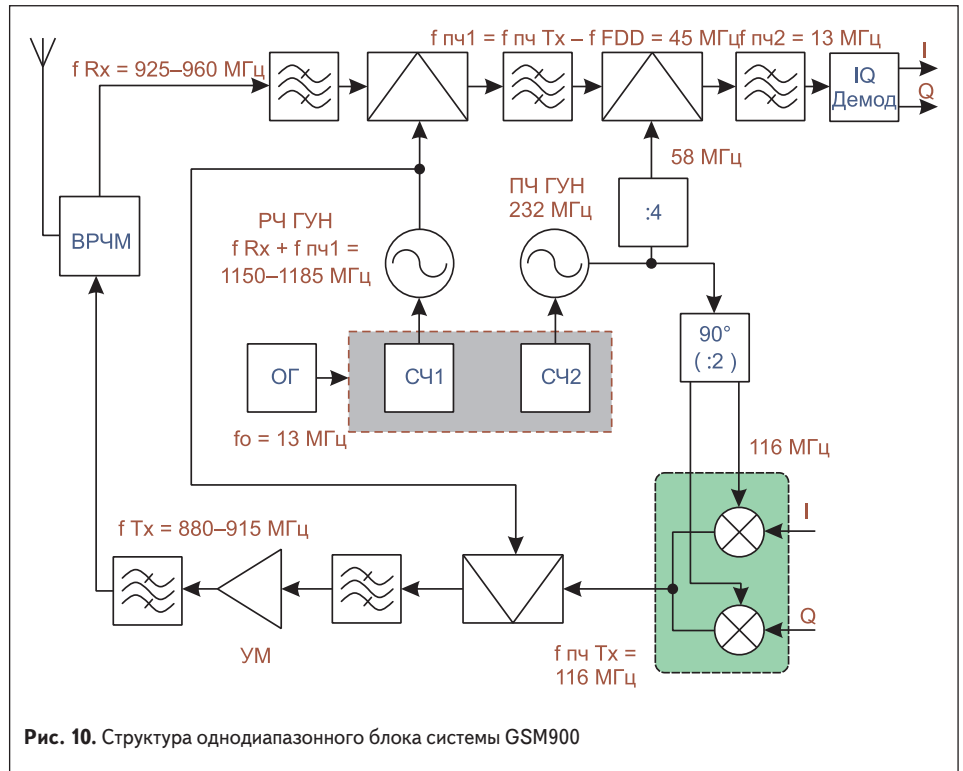


Рис. 10. Структура однодиапазонного блока системы GSM900

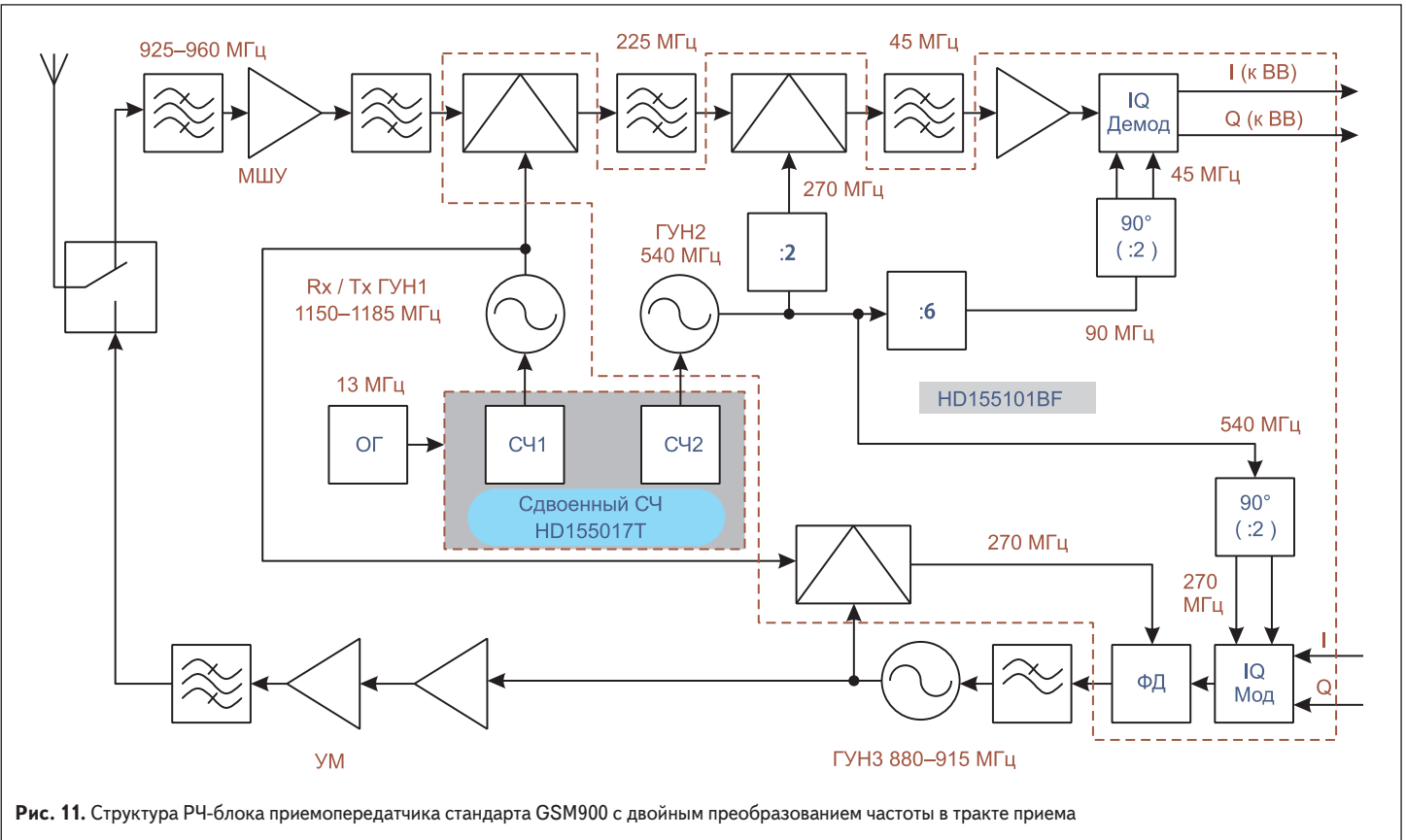


Рис. 11. Структура РЧ-блока приемопередатчика стандарта GSM900 с двойным преобразованием частоты в тракте приема