

**МИНИСТЕРСТВО ИНФОРМАТИЗАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
СВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Московский технический университет связи и
информатики**

С.И. Дингес

**СХЕМОТЕХНИКА РЧ
БЛОКОВ СИСТЕМ СВЯЗИ
С ПОДВИЖНЫМИ
ОБЪЕКТАМИ**

Учебное пособие

Москва 2005/2014

Рецензенты: М.С. Шумилин, доцент МТУСИ;
В.И. Журавлев, д.т.н., профессор УГАТУ
В.Н. Сергеев, директор компании DeTeWe

С.И. Дингес.
Схемотехника РЧ блоков систем связи с подвижными объектами: Учебное пособие/
МТУСИ. -М., 2005. -32 с.

Обновлено: 2014

Рассмотрены принципы построения и функционирования РЧ блоков приемопередающих устройств, используемых в системах связи с подвижными объектами (ССПО), особенности формирования их частотных планов. Приводятся структурные схемы РЧ блоков современных ССПО. Рассмотрено использование различных видов архитектуры и частотных планов в одно- и многодиапазонных абонентских устройствах стандарта GSM и транкинговых систем связи, их разновидности. Учебное пособие ориентировано на студентов, обучающихся по специальностям "Радиосвязь, радиовещание и телевидение", "Средства связи с подвижными объектами".

Илл. 21, табл. 10. Библиография 29 назв.

© Московский технический университет
связи и информатики, 2005

Оглавление

Оглавление	3
Введение	4
1. Радиointерфейсы ССПО	4
Основные РЧ характеристики стандарта Bluetooth.....	4
Основные РЧ характеристики стандарта DECT	5
Основные РЧ характеристики стандарта GSM.....	5
LTE. РЧ диапазоны частот	8
Стандарт TETRA	9
2. Основы схемотехники РЧ блоков	10
Основные тракты приемопередающего устройства ССПО	10
ИС, применяемые в устройствах ССПО	11
Пассивные элементы в РЧ блоках ССПО.....	12
Устройства разделения трактов.....	13
Переключатели прием-передача	13
Дуплексеры и диплексеры.....	13
Многодиапазонные устройства	15
Модули усилителя мощности PAM	18
3. Особенности формирования частотного плана РЧ блоков ССПО	19
Перекрытие требуемого диапазона перестройки ГУН.....	19
Комбинационные составляющие на выходе смесителя	21
Использование номограмм комбинационных составляющих.....	22
Многоканальный сигнал на входе смесителя.....	23
Учет диапазона перестройки гетеродина	23
Учет полосы фильтра на выходе смесителя.....	25
4. Примеры структур РЧ блоков.....	26
Структуры однодиапазонных РЧ блоков GSM900.....	26
Двухдиапазонные РЧ блоки для GSM	28
Трехдиапазонный РЧ блок GSM с единственным ГУН	30
РЧ блоки устройств транкинговой связи.....	31
Литература.....	35

Введение

Данное учебное пособие продолжает серию изданий, посвященных схемотехнике радиооборудования систем связи с подвижными объектами (ССПО). В пособии речь идет, в основном, об использовании различных видов архитектуры и частотных планов в одно-, двух- и трехдиапазонных абонентских устройствах стандарта GSM и транкинговых систем связи. Материал, содержащийся в пособии, является продолжением ранее опубликованных и доступных студентам сведений, с которыми целесообразно ознакомиться до начала изучения этого материала. Так, в пособии [3] приведены основные сведения о принципах построения РЧ блоков устройств ССПО, разновидностях архитектур, используемых в трактах приема и передачи, описаны их достоинства и недостатки, произведен сравнительный анализ. В случае возникновения затруднений при пользовании данным пособием и для восполнения пробелов в знаниях по различным аспектам построения современных цифровых систем подвижной связи, можно порекомендовать использование пособия [28].

Практически вся литература, посвященная различным аспектам технической реализации радиооборудования ССПО (технические описания абонентских устройств и базовых станций, справочная информация и описания интегральных схем (ИС), инструкции по ремонту оборудования и т.п.) является англоязычной. Поэтому полезным, на мой взгляд, является приведение в тексте пособия и обсуждение ряда основных англоязычных терминов.

На приведенных в предлагаемом пособии рисунках наряду со стандартными условными графическими обозначениями применены "нестандартные" обозначения (генераторы, перемножители), используемые в англоязычной литературе. Это связано с использованием для подготовки иллюстраций при написании пособия компьютерных программ. Кроме того, такой подход позволяет во многих случаях сделать достаточно громоздкие структурные схемы более наглядными, легко читаемыми, прививает навыки работы со специальной англоязычной литературой.

1. Радиоинтерфейсы ССПО

Компоненты сети подвижной связи соединены между собой с помощью стандартизированных интерфейсов (**Interface**) [1-7, 29].

В системах связи под **интерфейсом** понимают общую границу между двумя взаимодействующими системами или компонентами системы [стандарты: GSM 01.04, ITU-T I.112, 3GPP 21.905].

Интерфейсы систем связи описываются соответствующими стандартами на них. Стандартизация интерфейсов в системах связи позволяет осуществлять нормальное взаимодействие между их компонентами, поставляемыми различными фирмами-производителями. Мобильные станции и подсистема базовых станций взаимодействуют через интерфейс, обозначаемый обычно Um, известный как **эфирный интерфейс или радиоинтерфейс** (**Radio Interface, Air Interface**).

Основные РЧ характеристики стандарта Bluetooth

В радиоинтерфейсе Bluetooth [4] используется организация каналов со скачками по частоте и дуплексным разделением по времени FH/TDD (**Frequency Hop/Time Division Duplex**).

Несущие частоты	• 2400 - 2483,5 МГц (ISM диапазон)	$f = 2402 + k$ МГц, $k = 0, \dots, 78$
	• 2445 - 2475 МГц (Испания)	$f = 2449 + k$ МГц, $k = 0, \dots, 22$
	• 2446,5 - 2483,5 МГц (Франция)	$f = 2454 + k$ МГц, $k = 0, \dots, 22$
	• 2471 - 2497 МГц (Япония)	$f = 2473 + k$ МГц, $k = 0, \dots, 22$
Модуляция	Гауссовская 2FSK с 0,5 ВТ, 1 Мсимвол/с	
	Индекс модуляции: 0,28 – 0,35 (номинальный 0,32)	Допустимая пиковая девиация частоты 175 кГц
Мощность на выходе передатчика	• Класс мощности 1: 1 мВт (0 дБм) - 100 мВт (+20 дБм)	Пределы регулировки мощности: от +4 до +20 дБм (обязательные) от -30 до 0 дБм (необязательные)
	• Класс мощности 2: 0.25 мВт (-6 дБм) - 2.5 мВт (+4 дБм)	Пределы регулировки мощности: от -30 до 0 дБм (необязательные)
	• Класс мощности 3: 1 мВт (0 дБм)	Пределы регулировки мощности: от 30 до 0 дБм (необязательные)

Основные РЧ характеристики стандарта DECT

Радиоинтерфейс DECT [5] основывается на способе радиодоступа с использованием нескольких несущих, принципа множественного доступа с разделением по времени, дуплекса с разделением по времени **MC/TDMA/TDD**.

Основной частотный диапазон	1880-1900 МГц
Количество частотных каналов	10 ($n = 0 - 9$)
Ширина канала	1,728 МГц
Номиналы несущих частот	$F(n) = 1881,792 + 1,728 n$ МГц
Модуляция	GFSK (BT = 0,5)
Типовая чувствительность приемного устройства	-86 дБм
Выходная мощность передающего устройства (сред./пиков.)	10/250 мВт

Основные РЧ характеристики стандарта GSM

В базовом стандарте (**P-GSM 900**) в сетях GSM организуется 124 частотных радиоканала с канальным разносом 200 кГц и дуплексным разносом 45 МГц. В настоящее время системы стандарта GSM функционируют также в других частотных диапазонах.

- **Global System for Mobile Communications, GSM** - Глобальная система мобильной связи, цифровой стандарт сотовой мобильной связи второго поколения 2G.
- **General Packet Radio Service, GPRS** - буквально: пакетный радио-сервис общего назначения - это **технология пакетной передачи данных** по радиоканалу в сетях GSM.
- **Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE** – усовершенствованная **технология передачи данных** для развития сетей GSM поколения 2.5G.

Используются глобально, во всем мире, исключая Японию и Корею.

Начало коммерческой эксплуатации: GSM - 1992, GPRS - 2001, EDGE – 2002.

Система	Частотный диапазон передачи (Tx), Канал связи вверх (UL) / Вниз(DL), МГц	Дуплексный сдвиг TX-RX, МГц
T-GSM 380	380,2 - 389,8 / 390,2 - 399,8	10
T-GSM 410	410,2 - 419,8 / 420,2 - 429,8	10
GSM 450	450,4 - 457,6 / 460,4 - 467,6	10

GSM 480	478,8 - 486 / 488,8 – 496	10
GSM 710	698 - 716 / 728 – 746	30
GSM 750	747 - 762 / 777 – 792	30
T-GSM 810	806 - 821 / 851 - 866	45
GSM 850	824,2 - 848,8 / 869,2 - 893,8	45
P-GSM 900	890 - 915 / 935 - 960	45
E-GSM 900	880 - 915 / 925 - 960	45
R-GSM 900	876 - 880 / 921 - 925	45
GSM 1800 (DCS)	1710 - 1785 / 1805 - 1880	95
GSM 1900 (PCS)	1850 - 1910 / 1930 - 1990	80

Разнос каналов	200 кГц
Модуляция, тип используемого фильтра	<ul style="list-style-type: none"> • GSM: GMSK, 1 бит/символ. Гауссовский фильтр $BT=0,3$. • EDGE: 3PI/8 с ротацией (8PSK), 3 бит/символ. Гауссовский EDGE фильтр в соответствии со стандартом.
Технология множественного доступа	TDMA
Метод передачи данных	GSM: Коммутация каналов GPRS/EGPRS: Коммутация пакетов
Символьная или чиповая скорость	270,833 кбит/с
Пользовательская скорость передачи данных	GSM: 9,6 или 14,4 кбит/с (одиночный слот) GPRS: до 171,2 кбит/с (21,4 кбит/с x 8 слотов) EDGE: до 473,6 кбит/с (59,2 кбит/с x 8 слотов)
Кодирование речи / Тип кодека	Полноскоростное FR /RPE-LTP 13 кбит/с (Regular Pulse Excitation - Long Term prediction Linear Predictive) Полускоростное HR /VSELP 5,6 кбит/с (Vector Sum Excited Linear Predictor) Улучшенное качество речи EFR / ACELP 12,2 кбит/с (Algebraic Code Excited Linear Predictor) Адаптивное с переменной скоростью AMR (полу- и полноскоростное)
Основные услуги	Сотовая телефония для подвижных абонентов GSM: Речь, SMS, данные с коммутацией каналов; EDGE, GPRS: данные с коммутацией пактов.

Поддерживающие организации: ETSI, 3GPP.

Интернет-источники: www.etsi.org, www.3gpp.org.

Номиналы несущих частот в стандартах GSM могут быть определены с помощью **абсолютного номера РЧ канала ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*)**. Значения ARFCN [6-8] для несущих частот в нижней полосе частот, обозначаемые $F_l(n)$, и соответствующие значения в верхней полосе частот $F_u(n)$ приведены в таблице:

Система	Нижняя полоса (Канал связи вверх)	Верхняя полоса (Канал связи вниз)	Номер канала n (ARFCN)
P-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2 \cdot n$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$	$1 \leq n \leq 124$
E-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2 \cdot n$ $F_l(n) = 890 + 0,2 \cdot (n-1024)$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$	$0 \leq n \leq 124$ $975 \leq n \leq 1023$
R-GSM 900	$F_l(n) = 890 + 0,2 \cdot n$ $F_l(n) = 890 + 0,2 \cdot (n-1024)$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$	$0 \leq n \leq 124$ $955 \leq n \leq 1023$
GSM 1800	$F_l(n) = 1710,2 + 0,2 \cdot (n-512)$	$F_u(n) = F_l(n) + 95$	$512 \leq n \leq 885$

GSM 1900	$F_l(n) = 1850,2 + 0,2 \cdot (n-512)$	$F_u(n) = F_l(n) + 80$	$512 \leq n \leq 810$
GSM 850	$F_l(n) = 824,2 + 0,2 \cdot (n-128)$	$F_u(n) = F_l(n) + 45$	$128 \leq n \leq 251$
GSM 450	$F_l(n) = 450,6 + 0,2 \cdot (n-259)$	$F_u(n) = F_l(n) + 10$	$259 \leq n \leq 293$
GSM 480	$F_l(n) = 479 + 0,2 \cdot (n-306)$	$F_u(n) = F_l(n) + 10$	$306 \leq n \leq 340$

Максимальная выходная мощность для мобильных станций MS различных классов устройств определена в следующей таблице.

Класс мощности	GSM 400 / GSM 850 / GSM 900	GSM1800 (DCS)	GSM1900 (PCS)	Допустимое отклонение, дБ
1		1 Вт (30 дБм)	1 Вт (30 дБм)	± 2
2	8 Вт (39 дБм)	0.25 Вт (24 дБм)	0.25 Вт (24 дБм)	± 2
3	5 Вт (37 дБм)	4 Вт (36 дБм)	2 Вт (33 дБм)	± 2
4	2 Вт (33 дБм)			± 2
5	0.8 Вт (29 дБм)			± 2

Максимальная выходная мощность передатчика базовой станции, использующего GMSK модуляцию, измеряемая на входе комбайнера (сумматора) передатчика, должна иметь значения, определяемые классом передатчика:

GSM400, GSM900	
Класс мощности	Максимальная выходная мощность, Вт
1	320 - (< 640)
2	160 - (< 320)
3	80 - (< 160)
4	40 - (< 80)
5	20 - (< 40)
6	10 - (< 20)
7	5 - (< 10)
8	2.5 - (< 5)

GSM1800, GSM1900	
Класс мощности	Максимальная выходная мощность, Вт
1	20 - (< 40)
2	10 - (< 20)
3	5 - (< 10)
4	2.5 - (< 5)

Максимальная выходная мощность на несущую частоту (*maximum output power per carrier*) микросотовых и пикосотовых базовых станций различных классов, измеряемая в антенном разьеме после всех каскадов суммирования (комбайнирования), должна соответствовать величинам, приведенным в следующей таблице:

GSM 900		GSM1800, GSM1900	
Класс мощности	Максимальная выходная мощность, дБм	Класс мощности	Максимальная выходная мощность, дБм
Микросоты		Микросоты	
M1	(> 19) - 24	M1	(> 27) - 32
M2	(> 14) - 19	M2	(> 22) - 27
M3	(> 9) - 14	M3	(> 17) - 22
Пикосоты		Пикосоты	
P1	(> 13) - 20	P1	(> 16) - 23

LTE. РЧ диапазоны частот

Long Term Evolution (LTE) - проект разработки консорциумом 3GPP стандарта усовершенствования технологий мобильной передачи данных CDMA, UMTS. Эти усовершенствования могут повысить скорость, эффективность передачи данных, снизить издержки, расширить и улучшить уже оказываемые услуги, а также интегрироваться с уже существующими протоколами. В LTE ширина полосы может варьироваться от 1,4 до 20 МГц, что позволяет удовлетворять потребности разных операторов связи, обладающих различными полосами пропускания.

Для обеспечения двунаправленной передачи данных между БС и МС в стандарте LTE поддерживается как частотный (FDD), так и временной дуплекс (TDD).

Диапазоны частот стандарта LTE для частотного дуплекса FDD

Номер диапазона	Диапазон частот Uplink, МГц	Диапазон частот Downlink, МГц	Ширина диапазона, МГц	Дуплексный разнос, МГц
1	1920—1980	2110—2170	60	190
2	1850—1910	1930—1990	60	80
3	1710—1785	1805—1880	75	95
4	1710—1755	2110—2155	45	40
5	824—849	869—894	25	45
6	830—840	875—885	10	35
7	2500—2570	2620—2690	70	120
8	880—915	925—960	35	45
9	1749,9—1784,9	1844,9—1879,9	35	95
10	1710—1770	2110—2170	60	400
11	1427,9—1452,9	1475,9—1500,9	25	48
12	698—716	728—746	18	30
13	777—787	746—756	10	-31
14	788—798	758—768	10	-30
15	1900—1920	2600—2620	20	700
16	2010—2025	2585—2600	15	575
17	704—716	734—746	12	30
18	815—830	860—875	15	45
19	830—845	875—890	15	45
20	832—862	791—821	30	-41
21	1447,9—1462,9	1495,9—1510,9	15	48
22	3410—3500	3510—3600	90	100
23	2000—2020	2180—2200	20	180
24	1625,5—1660,5	1525—1559	34	-101,5
25	1850—1915	1930—1995	65	80

Диапазоны частот стандарта LTE для временного дуплекса TDD

Номер диапазона	Диапазон частот, МГц	Ширина диапазона, МГц
33	1900—1920	20
34	2010—2025	15
35	1850—1910	60
36	1930—1990	60
37	1910—1930	20
38	2570—2620	50
39	1880—1920	40
40	2300—2400	100
41	2496—2690	194

42	3400—3600	200
42	3600—3800	200

Таблица 1.8. Основные параметры стандарта LTE

Модуляция, тип используемого фильтра	QPSK, 16QAM, 64QAM;
Технология множественного доступа	OFDMA, SC-FDMA
Метод передачи данных	Коммутация пакетов
Символьная скорость	до 16.8 Мс/с
Пользовательская скорость передачи данных	до 100 Мбит/с
Основные услуги	Услуги высокоскоростных беспроводных сетей для домашних и корпоративных стационарных и подвижных пользователей, в городах и сельской местности.

Стандарт TETRA

- *Terrestrial Trunked Radio* - открытый общеевропейский стандарт **профессиональной цифровой транкинговой радиосвязи**.
- Основными пользователями являются силовые организации, службы экстренной помощи, органы государственного управления, службы общественной безопасности, муниципальные службы, транспортные предприятия. Используется всеми странами-членами ETSI. Коммерческое использование началось в 1997.

Диапазоны частот	380 - 390 МГц (MS) 390 - 400 МГц (BS) 410 - 420 МГц (MS) 420 - 430 МГц (BS) 450 - 460 МГц (MS) 460 - 470 МГц (BS) 870 - 915 МГц (MS) 915 - 950 МГц (BS)
Разнос каналов	25 кГц
Модуляция, тип используемого фильтра	PI/4 DQPSK (Differential QPSK) Фильтр RRC ($\alpha = 0.35$)
Технология множественного доступа	TDMA
Метод передачи данных	Коммутация каналов и коммутация пакетов
Символьная или чиповая скорость	18 кс/с
Пользовательская скорость передачи данных	28,8 кбит/с без защиты
Основные услуги	Связь в цифровых сетях профессиональной подвижной радиосвязи PMR (Private Mobile Radio) и PAMR (Public Access Mobile Radio)
Кодирование речи	ACELP

Поддерживающая организация: ETSI.

Интернет-источники:

- www.etsi.org;
- www.tetramou.com - ассоциация "Меморандум о взаимопонимании и содействии стандарту TETRA" (TETRA MoU);
- <http://www.tetraforum.ru>.

2. Основы схемотехники РЧ блоков

Основные тракты приемопередающего устройства ССТО

В приемопередающем устройстве можно выделить четыре основных тракта [3], показанные на рис. 1:

- Тракт приема (**Receiver Section**);
- Тракт передачи (**Transmitter Section**);
- Тракт синтеза частот (**Synthesizer Section**), в котором формируются опорные частоты, необходимые для преобразования частот в приемопередатчике, его перестройки по рабочим каналам;
- Цифровой тракт (тракт основной полосы) или информационный тракт (**Baseband Section**), называемый, как правило, "бейсбэнд тракт". Для обозначения этого тракта зачастую используется общепринятая в англоязычной литературе аббревиатура **BB**. В нем осуществляются низкочастотные операции, связанные с цифровой обработкой передаваемой информации перед подачей ее на модулятор и принимаемой информации после ее демодуляции. Здесь же происходят вспомогательные операции, обеспечивающие функционирование устройства и системы в целом.

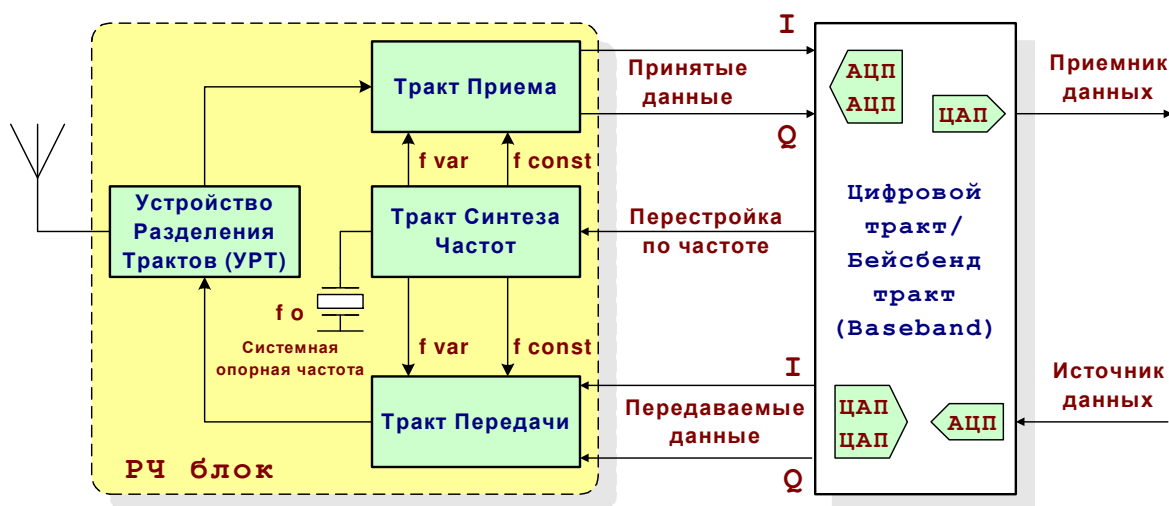


Рис. 1. Основные тракты приемопередающего устройства

ИС, применяемые в устройствах ССПО

- ИС, используемые в устройствах ССПО, можно условно разделить на три группы:
- высокочастотные аналоговые ИС, применяемые в ВЧ трактах устройств ССПО;
 - низкочастотные аналоговые ИС (*analog baseband processing*);
 - цифровые ИС, используемые для цифровой обработки сигналов (*digital signal processing*).

Производимые ИС значительно различаются по степени интеграции. Их содержимое варьируется от отдельных элементов до законченных систем обработки сигналов, что дает значительную свободу разработчикам РЧ оборудования.

Примерная классификация ИС по степени объединения функций

Иерархический уровень	Выполняемые задачи	Примеры типовых ИС (функциональное назначение)	
Элементы	Отдельные операции	Маломощный усилитель, МШУ Усилитель мощности, УМ Предделитель Смеситель	Low Noise Amplifier, LNA Power Amplifier, PA Prescaler Mixer
Блоки (однофункциональные ИС)	Общая функция	Смесители с МШУ Модуляторы/демодуляторы Петля фазовой автоподстройки, ФАПЧ	LNA with Mixer Modulator/Demodulator Phase Lock Loop, PLL
Подсистемы (многофункциональные ИС)	Ряд функций, подчиненных решению общей задачи	Приемник Передатчик Синтезатор частот	Receiver Transmitter Frequency Synthesizer
Системы	Законченная система обработки сигнала	Приемник/Демодулятор РЧ приемопередатчик Входной РЧ блок	Receiver/Demodulator RF Transceiver RF front end

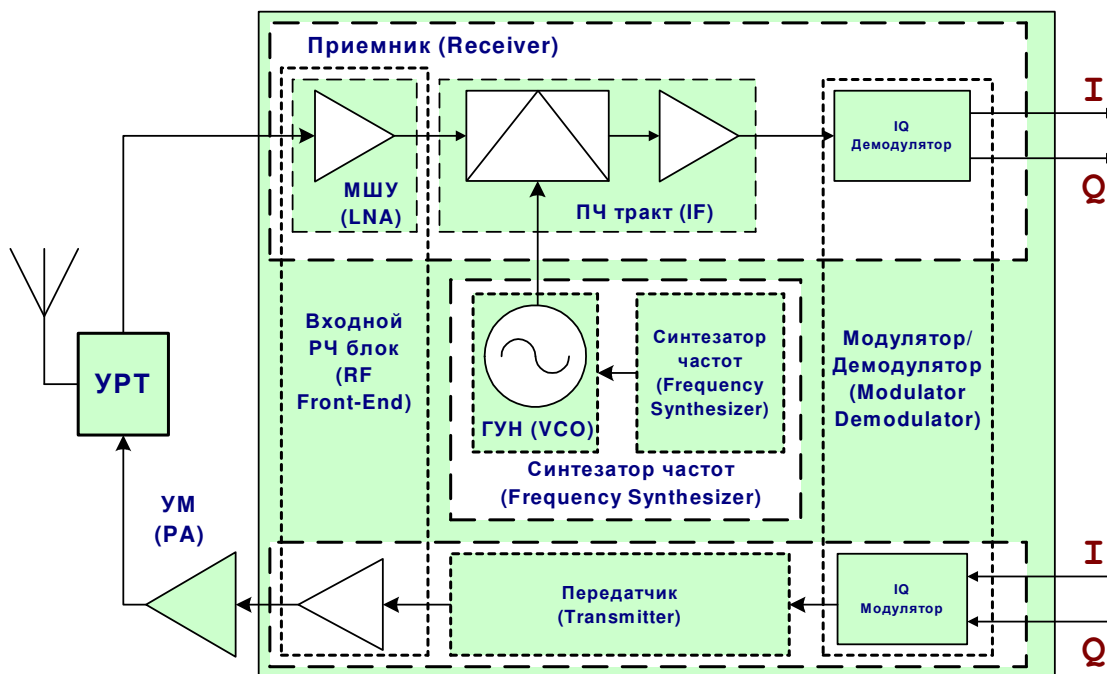


Рис. 2. Варианты интеграции узлов РЧ блока

Пассивные элементы в РЧ блоках ССПО

Зачастую именно используемые в РЧ блоках пассивные элементы определяют размеры, стоимость и РЧ характеристики приемопередатчиков беспроводных систем связи, поэтому важен их оптимальный выбор. Однако так как размер и стоимость активных устройств продолжают уменьшаться, проблема совершенствования характеристик пассивных устройств и уменьшения их размера становится все более важной и срочной. Многие из этих элементов трудно, или вообще невозможно разместить внутри корпуса ИС из-за большого размера. Кроме того, эти элементы выбираются для конкретного частотного и энергетического плана и являются навесными к универсальному набору ИС или, даже, к одной универсальной ИС РЧ блока. К таким элементам можно отнести дуплексеры (*Duplexer*), ответвители (*Coupler*), устройства защиты передатчиков (*Isolator, Circulator*), фильтры (*Filter*), резонаторы, ключи, катушки индуктивности и конденсаторы (рис. 3).

Входной полосовой фильтр (*Front-end filter, RX Bandpass Filter*) тракта приема подавляет все внеполосные шумы и сигналы, предотвращая перегрузку предварительного маломощного усилителя. Влияние побочных каналов приема, особенно зеркального (*image frequency*), может быть существенно уменьшено дополнительным межкаскадным фильтром (*Inter-stage filter*), устанавливаемым после МШУ перед первым смесителем. В тракте приема необходимо уменьшить влияние мешающих сигналов соседних каналов (*Adjacent channel*), 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 (*transmit front-end filter, Top Filter*) уменьшает шум и побочные составляющие, возникающие в смесителе передатчика и в усилителе мощности из-за его нелинейности. Межкаскадный фильтр тракта передачи (*transmit interstage filter*), устанавливаемый перед усилителем мощности, позволяет подавлять шумы и нежелательные продукты преобразования раньше, чем сигнал поступит на усилитель. При построении усилителей мощности базовых станций, подключении передатчиков к антенным системам в ССПО используются устройства деления (*Power Splitters*) и сложения мощности (*Combiners*).

Симметрирующие устройства **СУ** (*Balun*) производят преобразование между балансным и небалансным (*BALanced-to-UNbalanced*) режимами работы (входами) различных устройств и отдельных компонентов РЧ трактов.

Сведения о различных пассивных компонентах для РЧ оборудования ССПО можно найти на Интернет-сайтах следующих компаний-производителей:

- **Alpha Industries, Inc.** - <http://www.alphaind.com>
- **CTS Corporation** - <http://www.ctscorp.com/>
- **Epcos**- <http://www.epcos.com/>
- **Fujitsu Limited** - <http://www.fujitsumicro.com/>
- **K&L Microwave, Inc.** - <http://www.klmicrowave.com>
- **M/A-Com** - <http://www.macom.com>
- **Microtech, Inc.** - <http://www.microtech-inc.com>
- **Microwave Development Company, Inc** - <http://www.mdc-inc.net>
- **Microwave Filter Co., Inc.** - <http://www.microwavefilter.com>
- **Murata Electronics, N.A., Inc.** - <http://www.murata.com>; <http://www.murata.co.jp>
- **RF Monolithics** - <http://www.rfm.com>
- **Sawtek Inc** - <http://www.sawtek.com>
- **Signal Technology Corp.** - <http://www.sigtech.com>
- **Thomson** - <http://www.microsonics.thomson-csf.com>
- **Toko** – www.toko.com

Устройства разделения трактов

В настоящее время в большинстве РЧ блоков абонентских устройств АУ используется единственная многодиапазонная антенна, работающая совместно с несколькими трактами приема и передачи. Тракты приема и передачи должны быть подключены к одной антенне и при этом отделены друг от друга. Нельзя допустить попадания мощного сигнала передатчика на вход приемного устройства. Для обеспечения одновременной работы приемника и передатчика на одну антенну используются различного рода **устройства разделения трактов УРТ**.

Переключатели прием-передача

В системах с **временным дуплексированием (TDD)** частоты приема и передачи одинаковы. Разделение трактов приема и передачи происходит путем использования ими различных таймслотов, поэтому стандартным устройством подключения приемопередатчика к антенне является переключатель, называемый “переключателем прием-передача” (**Transmit-Receive Switch, Tx/Rx Switch**). Когда устройство получает данные, переключатель подключает к антенне тракт приема, когда устройство передает данные, переключатель подключает УМ передатчика. Переключатель "прием-передача" должен иметь малые потери сигнала (**Insertion Loss**) в замкнутом состоянии и обеспечивать хорошую развязку (**Isolation**) вход-выход для того, чтобы передаваемый сигнал не просочился в приемный тракт.

Некоторые приемные устройства базовых станций используют две (сдвоенные) антенны (**Dual Antennas**), чтобы предотвратить потерю сигнала вследствие замираний. Такие антенны, имеющие зачастую различные диаграммы направленности, подключаются к приемопередатчику через переключатель, называемый переключателем разнесенных антенн (**Diversity Switch**).

Дуплексеры и диплексеры

Одновременную работу приемника и передатчика с одной антенной в режиме **частотного дуплексирования (FDD)** обеспечивают дуплексные фильтры или дуплексеры, применяемые в дуплексных и полудуплексных системах связи.

||| **Дуплексер (Duplexer)** - устройство, используемое для разделения трактов приема и передачи, работающих с разнесением по частоте, но в одном рабочем диапазоне частот.

Наряду с дуплексерами для разделения трактов приема и передачи используются и диплексеры.

||| **Диплексер (Diplexer)** или блок частотной развязки используется для разделения трактов, работающих в различных частотных диапазонах, например GSM900 и GSM1800.

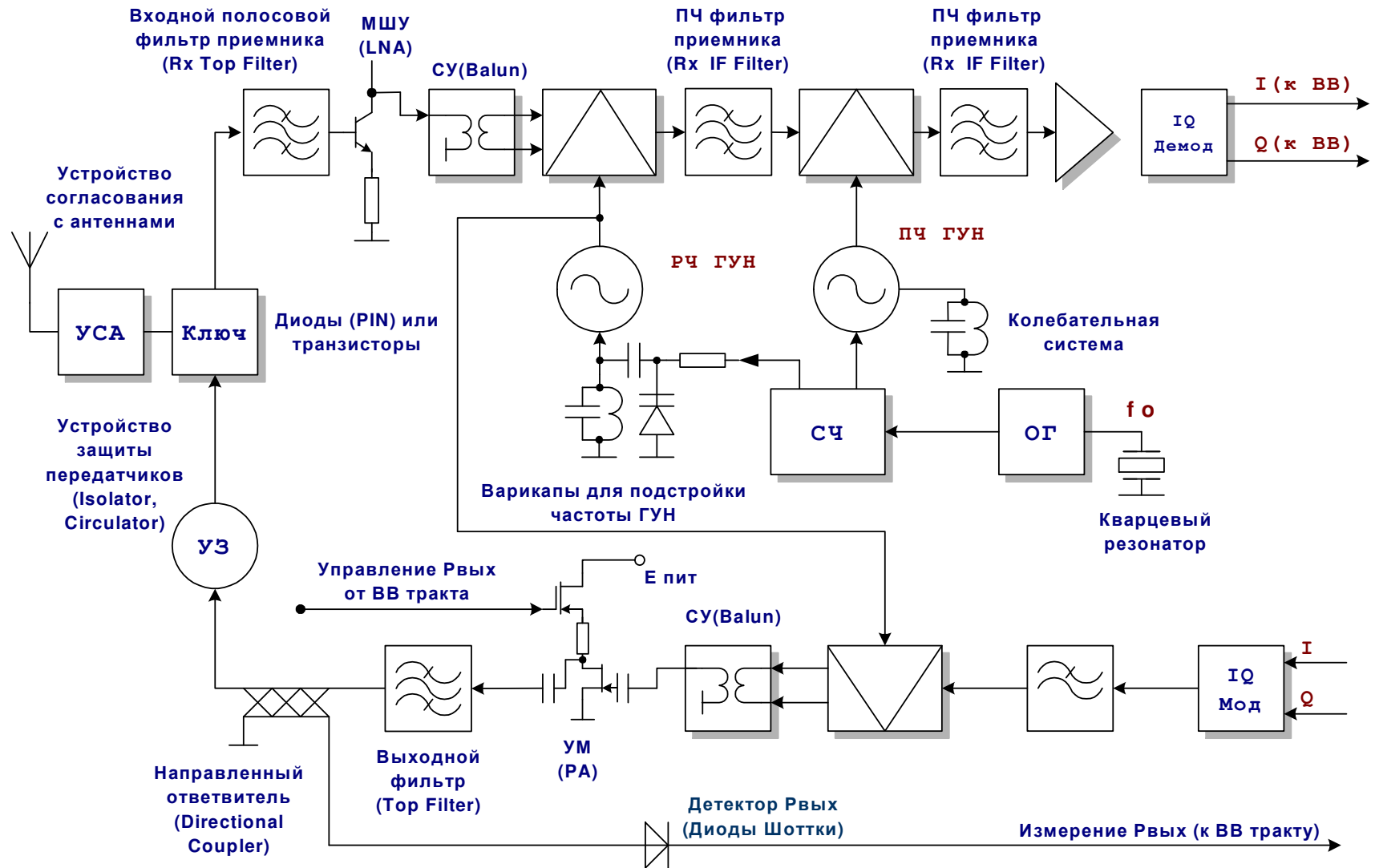


Рис. 3. Использование полупроводниковых элементов и пассивных элементов в РЧ блоках

Различие в использовании этих устройств поясняет рис. 4.

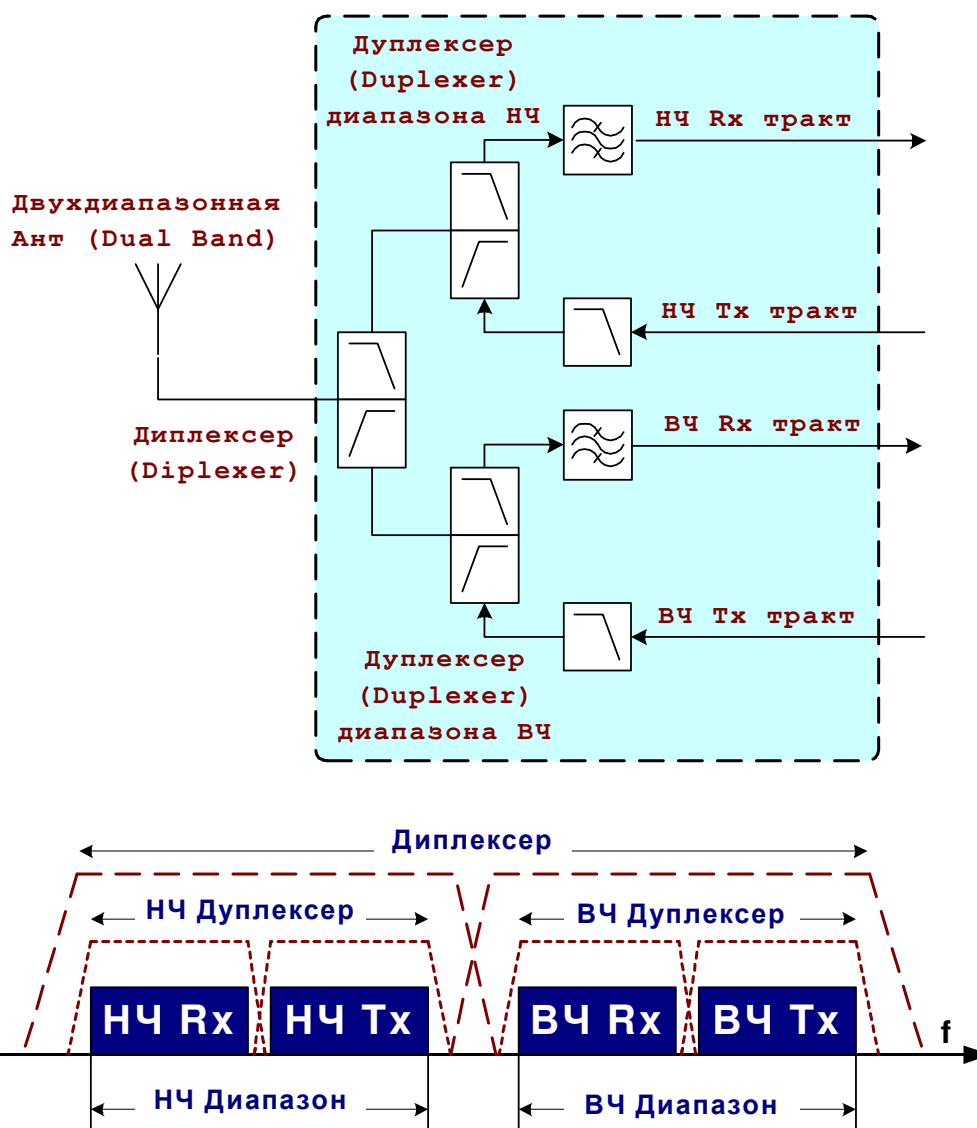


Рис. 4. Вариант выполнения двухдиапазонного УРТ с использованием диплексера и дуплексеров

Несмотря на то, что во многих современных ССПО диапазоны приема и передачи различаются, используемые в РЧ блоках устройства называют, как правило, дуплексерами. А вот устройства, применяемые в многодиапазонных устройствах, обычно называют диплексерами. Здесь уже разделяемые диапазоны частот отличаются значительно.

Многодиапазонные устройства

В настоящее время в большинстве РЧ блоков АУ используется единственная многодиапазонная антенна, работающая совместно с несколькими трактами приема и передачи. Для обозначения входной части РЧ блока, к которой подключается антенна, в англоязычной литературе широко используется общий термин **RF Front End** - входной РЧ модуль (ВРЧМ). Оптимизация структуры ВРЧМ блока достигается уменьшением массогабаритных показателей и аппаратурных затрат, улучшением РЧ параметров - уменьшением вносимых потерь, улучшением развязки трактов приема и передачи.

Сегодня в интегральных вариантах производятся два типа модулей переключения и фильтрации: модули коммутации антенны **ASM** (*Antenna Switch Module*) и входные модули РЧ тракта **FEM** (*Front End Module*). Разница между ними заключается в интеграции устройств фильтрации, выполняемых, как правило, на основе ПАВ (поверхностных акустических волн). Если модуль не содержит элементы полосовой фильтрации, его называют модуль коммутации антенны ASM, если содержит - входной модуль РЧ тракта FEM. Иногда в состав интегрального входного РЧ блока включают МШУ тракта приема и выходной усилитель мощности тракта передачи. Выбор типа используемого в РЧ блоке модуля зависит от конкретной разработки и параметров используемых устройств.

Самое простое однодиапазонное абонентское устройство, работающее с одной антенной в единственном диапазоне, содержит во входном РЧ блоке только однополюсный ключ на два положения для поочередной коммутации антенны на прием и передачу. Основными функциональными узлами, применяемыми в ВРЧМ, являются антенны, РЧ ключи и дуплексеры. Могут быть предложены различные конфигурации входных РЧ модулей, содержащие разное число основных узлов.

РЧ блоки, используемые в современных устройствах стандарта GSM, должны поддерживать работу как минимум в четырех диапазонах для работы по всему миру, используя до четырех передающих и четырех приемных трактов. Так количество каждого из узлов, используемых в четырехдиапазонном блоке, может меняться от одного до четырех. Например, может быть использован входной РЧ модуль, содержащий четыре дуплексера и предназначенный для работы с четырьмя отдельными антеннами.

Каждый тракт приема требует использования на входе индивидуального диапазонного полосового РЧ фильтра, обычно фильтра на поверхностных акустических волнах ПАВ. В тракте приема входного РЧ блока необходимо использовать четыре отдельных входных каскада (МШУ и, возможно, смесителей) с соответствующими устройствами согласования и фильтрации, что в итоге приводит к общему количеству РЧ трактов приема, равному шести. В тракте передачи могут быть использованы только два усилителя мощности – на НЧ и ВЧ диапазоны GSM. Учитывая близость по частоте соседних диапазонов, один усилитель мощности тракта передачи может охватывать диапазоны GSM850 и GSM900, в то время как второй - GSM1800(DCS) и GSM1900(PCS) диапазоны. Как показано на рис. 5, реализация данной конфигурации в самом простом варианте требует использования однополюсного ключа на шесть положений, чтобы осуществить подключение одного антенного входа к шести РЧ трактам. Однако техническая реализация таких многопозиционных РЧ ключей с приемлемыми характеристиками в настоящее время затруднена.

Для реализации четырехдиапазонного устройства могут быть предложены различные структуры ВРЧМ, сочетающие разнообразные комбинации функциональных узлов. Для обозначения варианта РЧ модуля можно использовать сочетание условных обозначений функциональных узлов, последовательно включенных в основном тракте приема, что проиллюстрировано примерами, приведенными на рис. 5.

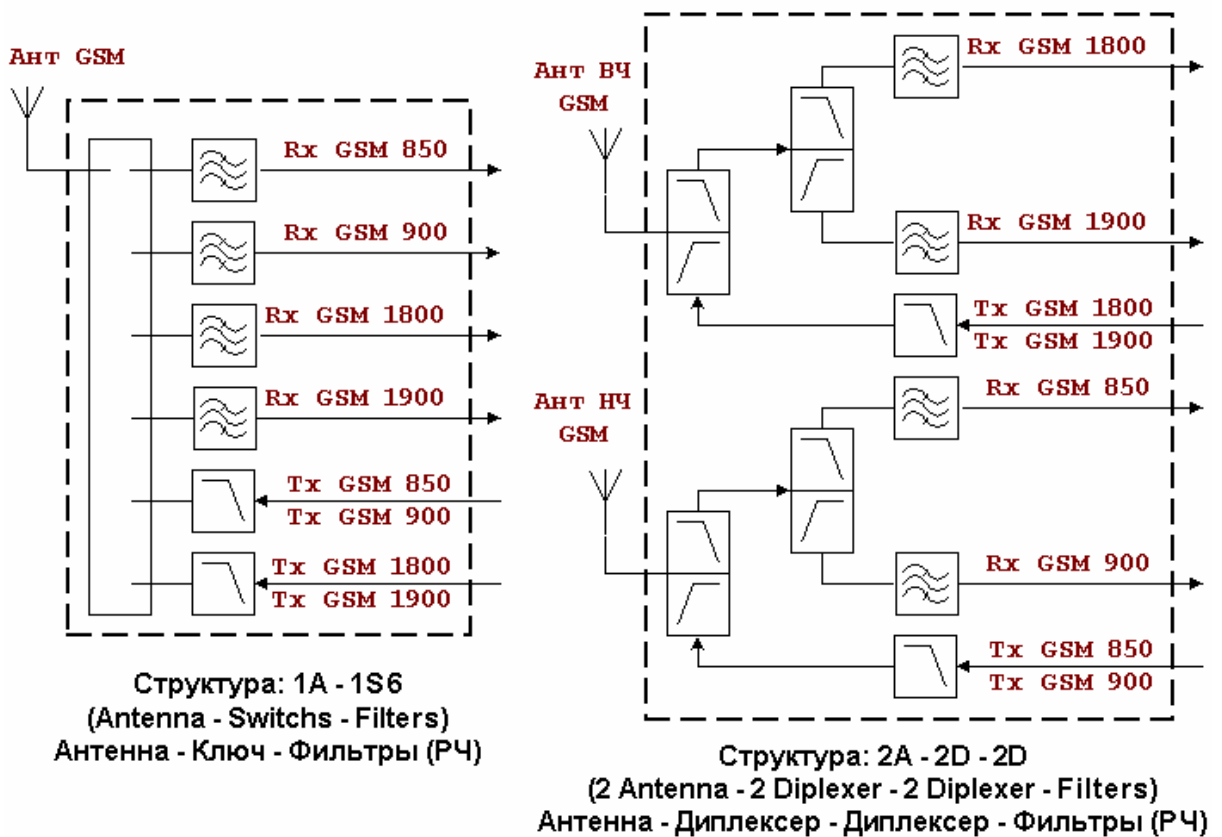


Рис. 5. Варианты реализации четырехдиапазонного ВРЧМ для устройств GSM

В качестве примера на рис. 6 приведен вариант FEM GSM с одной антенной, двумя дуплексерами и двумя ключами на три направления. Данный вариант достаточно распространен и, представляет собой классическую структуру трехдиапазонного входного модуля РЧ тракта (*Tri-Band GSM Front End Module*), производимого различными компаниями. Для работы в четвертом диапазоне GSM850 необходимо использовать в соответствующем (верхнем по схеме) канале ключ на три положения.

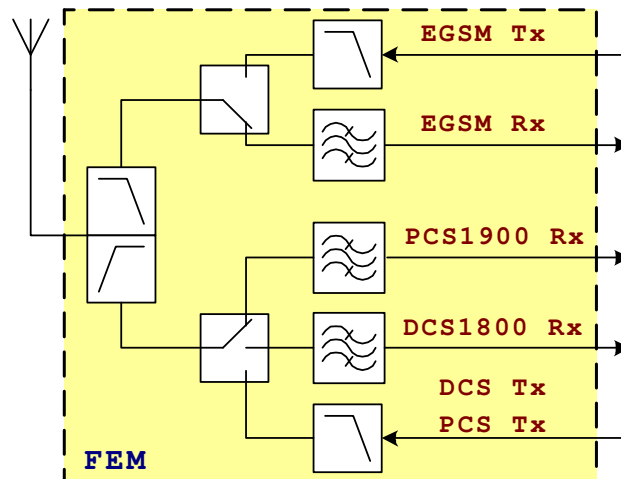


Рис. 6. Трехдиапазонный GSM входной модуль РЧ тракта

Приведенная структура имеет повышенное значение потерь в тракте приема, складывающееся из потерь в последовательно соединенных дуплексере и соответствующем ключе. Еще более усложняется ситуация при добавлении в GSM РЧ

блок узлов, необходимых для работы в диапазонах частот, используемых в стандартах третьего поколения. При этом европейский стандарт UMTS может быть использован в шести частотных диапазонах, часть из которых совпадает с диапазонами GSM, однако, энергетический план РЧ блока UMTS другой. Это приводит к введению в ВРЧМ дополнительных МШУ и УМ. Наблюдается тенденция внедрения в абонентские устройства GSM модулей для работы с технологиями Bluetooth и WLAN в диапазонах 2,4 и 5 ГГц.

Анализ структур входных РЧ модулей показывает, что предельно малые потери в трактах приема и хорошая развязка трактов приема и передачи могут быть достигнуты в структурах с несколькими антеннами, особенно при использовании микроэлектромеханических MEMS ключей [23,24], обладающих наилучшими в своем классе характеристиками. В таких структурах могут быть использованы различные сочетания диапазонов по используемым антеннам, например, ВЧ-НЧ GSM диапазоны (GSM1800-GSM900), (GSM1900-GSM850). По всей видимости, при использовании варианта, в котором сочетаемые диапазоны дальше отстоят по частоте (НЧ-ВЧ), можно улучшить качественные показатели блока за счет селективности антенн. Использование MEMS ключей представляется наиболее оптимальным решением, позволяющим создать полностью реконфигурируемые многодиапазонные входные РЧ модули.

Модули усилителя мощности PAM

Компании-производители объединяют в одном модуле усилители мощности, устройства согласования, выходные фильтры (диплексеры и ФНЧ) передатчика и переключатели (рис. 7). Это позволяет существенно улучшить массогабаритные параметры РЧ блока, уменьшить его стоимость. Такие интегральные компоненты получили название **модулей усилителя мощностей PAM (Power Amplifier Modules)**.

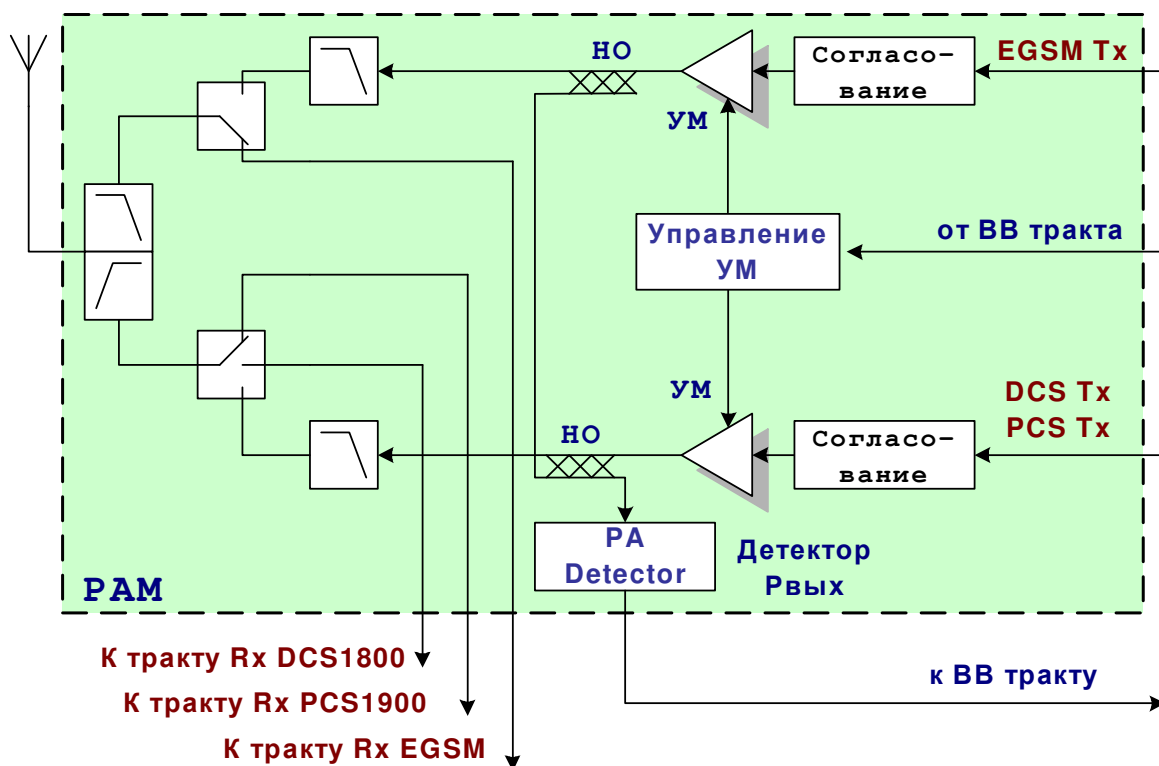


Рис. 7. Типовая структура модуля усилителя мощности

3. Особенности формирования частотного плана РЧ блоков ССПО

Для формирования опорных частот, необходимых для обработки сигналов в РЧ блоке, используют генераторы, управляемые напряжением ГУН (*Voltage Controlled Oscillator, VCO*), частоты которых стабилизируются с помощью синтезаторов частот.

Реально диапазон перестройки ГУН определяется тремя основными факторами:

- диапазоном изменения управляющего напряжения (тока);
- возможностью изменения емкости элемента колебательной системы, используемого для перестройки;
- величиной паразитной емкости, вносимой в резонансный контур.

Первый параметр - **диапазон напряжения настройки** (*tuning voltage range*), очевидно, должен быть как можно больше. Однако этот диапазон не может быть большим, так как он ограничен уровнем сигнала, который может быть получен от каскада управления. В свою очередь, этот уровень определяется величиной напряжения питания каскада. Номиналы напряжения питания РЧ блоков устройств современных ССПО малы и имеют постоянную тенденцию к еще большему уменьшению. Эта проблема может быть решена, при использовании внутрикорпусных преобразователей постоянного тока (*DC-DC converter*) для преобразования напряжения настройки ГУН с его повышением. Однако такие преобразователи используют коммутируемые по питанию устройства, что приводит к генерации внутри РЧ блока множества паразитных побочных сигналов с различными частотами. Это может привести к серьезным проблемам с появлением помех в цепях аналоговых сигналов приемопередатчика. Изменение **емкости элемента настройки** является наиболее важным параметром при получении широкого диапазона перестройки ГУН. Как правило, в качестве этого элемента используется варикап.

Последним параметром, определяющим диапазон перестройки ГУН, является **паразитная емкость** (*Stray Capacitance*), вносимая в колебательную систему. Очевидно, паразитная емкость должна быть как можно меньше, чтобы максимизировать диапазон перестройки по частоте.

Для претворения в жизнь популярного принципа "система на кристалле" (*System-on-a-Chip*) в беспроводных приемопередатчиках необходимо использовать полностью интегрированный ГУН, имеющий очень высокие показатели качества. Удовлетворение жестких требований по фазовым шумам является одной из наиболее трудных задач, которые необходимо при этом решить. Это связано с тем, что катушки индуктивности и варикапы с высокими значениями добротности очень трудно реализуются при использовании популярных дешевых технологий производства ИС.

При реализации РЧ блоков современных многодиапазонных и многостандартных устройств, предпочтительно перекрывать требуемый широкий диапазон рабочих частот с помощью одного **единственного ГУН**. Это приводит к получению кристалла микросхемы меньшей площади и более простой структуры системы. Например, в трехдиапазонном РЧ блоке GSM (GSM900/1800/1900) при использовании архитектуры с прямым преобразованием частоты может быть применен единственный широкополосный ГУН, работающий на центральной частоте 3,8 ГГц, что показано далее на рис. 14.

Перекрытие требуемого диапазона перестройки ГУН

Частоты РЧ ГУН, используемых в тракте приема и передачи РЧ блоков ССПО представляют собой некоторый набор номиналов, который устанавливается синтезатором частот. Для перекрытия необходимых диапазонов частот, в особенности в многодиапазонных устройствах, используемый ГУН должен быть широкополосным. Кроме того, при применении некоторых видов модуляции ГУН, используемый в тракте передачи, может непосредственно модулироваться данными, поступающими от информационного тракта. Однако, **напряжения источников питания** современных абонентских устройств,

т.е. рабочие напряжения РЧ блоков, как правило, малы и лежат в диапазоне 1,5 - 3 В. Соответственно, малы и величины управляющего напряжения, подаваемого на ГУН, определяемые низкой величиной напряжения питания соответствующих каскадов петель ФАПЧ.

Даже если широкополосный ГУН может быть реализован с использованием единственного варикапа, комбинация требований получения широкого диапазона перестройки по частоте и малого достижимого диапазона напряжения настройки приводит к необходимости использования ГУН с очень **высокой крутизной перестройки**. Такая высокая крутизна делает генератор чрезмерно чувствительным к влиянию источников шума и побочных сигналов, которые могут воздействовать на ГУН по управляющему входу, на который подается основной сигнал перестройки **U_{упр}**.

Для разрешения названных противоречий производят разбиение общего требуемого диапазона частот на **поддиапазоны**, в каждом из которых используется собственный ГУН (рис.8).

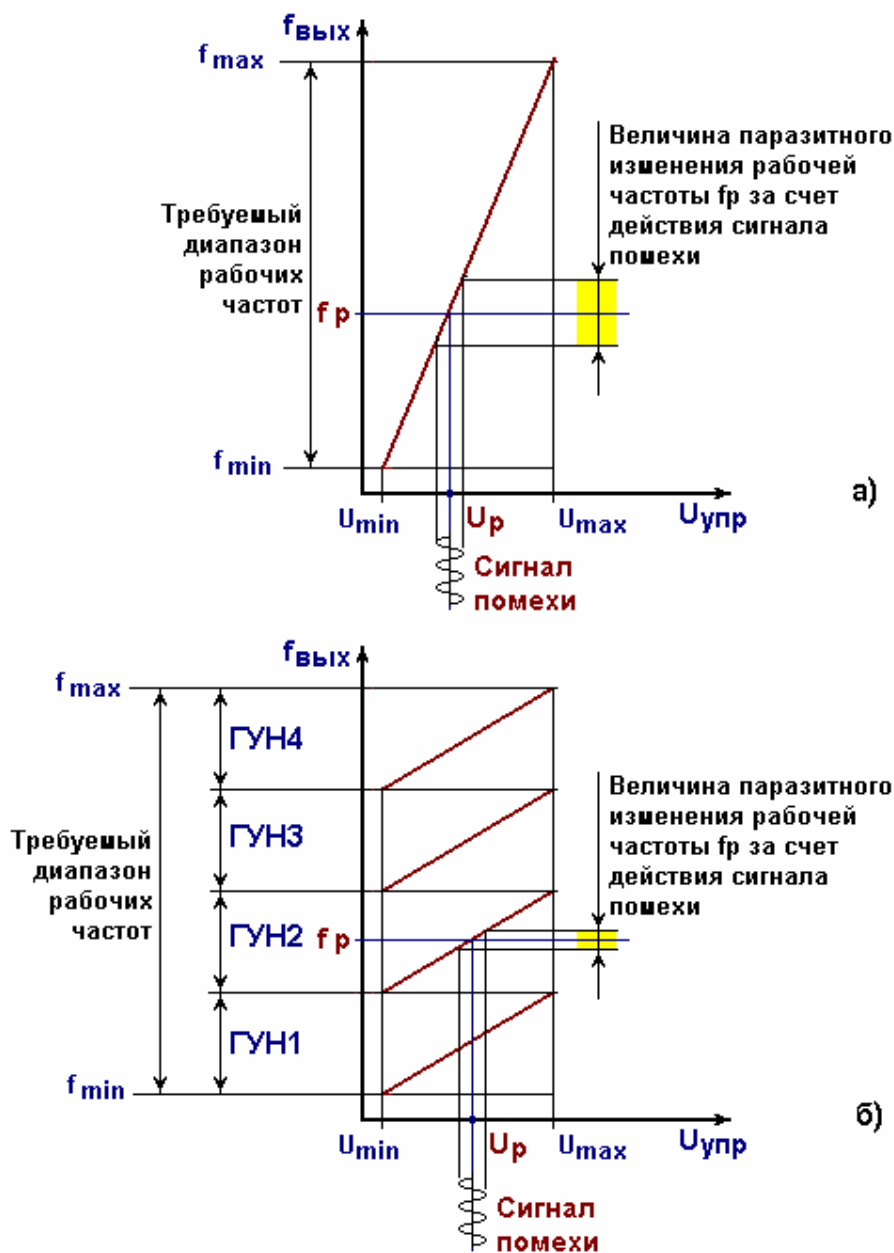


Рис. 8. Использование широкополосного (а) и четырех коммутируемых (б) ГУН для перекрытия требуемого рабочего диапазона частот

При этом диапазон аналоговой перестройки отдельного ГУН и его чувствительность к помехам по управляющему входу резко уменьшается, что иллюстрирует рис. 8б. Если генератор используется в петле ФАПЧ, настройка на необходимую частоту производится путем комбинации цифровой коммутации поддиапазона для грубой перестройки и изменения аналогового напряжения управления для точной подстройки частоты внутри поддиапазона. Такой ГУН должен настраиваться смешанной аналого-цифровой системой ФАП, которая, во-первых, осуществит цифровой выбор соответствующего элемента настройки ГУН, а затем произведет подстройку частоты с использованием аналогового сигнала с выхода фазового детектора. В результате может быть достигнут необходимый широкий диапазон перестройки ГУН для использования в РЧ блоках многомодовых устройств.

При изготовлении генераторов в интегральном исполнении, один из способов разрешения противоречий требования, описанных выше, состоит в том, чтобы дискретно переключить внутрикорпусные элементы настройки. При этом формируется ступенчатая перекрывающаяся (накладывающаяся) по частоте последовательность характеристик перестройки ГУН, каждая с малым коэффициентом перекрытия, но совместно перекрывающими желательный диапазон. Переключение элементов настройки ГУН может производиться и с помощью управляющих сигналов, поступающих от информационного тракта.

В РЧ блоках радиооборудования ССПО используются [18-21]:

- ГУН с коммутацией контурных емкостей;
- ГУН с бинарной коммутацией контурных емкостей;
- ГУН с использованием емкостей коммутируемых полупроводниковых переходов;
- ГУН с коммутацией контурных индуктивностей;
- ГУН с коммутацией секций контурных индуктивностей;
- ГУН с коммутацией ядра LC генератора;
- ГУН с индуктивностью, управляемой напряжением.

Комбинационные составляющие на выходе смесителя

При преобразовании сигналов в РЧ блоках используются операции сложения и вычитания частот, производимые с помощью смесителей сигналов. На выходе смесителей наряду с полезными сигналами образуется целый ряд **комбинационных составляющих КС**, являющихся паразитными, мешающими (*Spurious Response*). Вообще говоря, на выходе смесителя формируются ряд комбинационных составляющих с частотами $\pm m f_{\text{Ч}} \pm n f_{\text{Зем}}$, где m и $n=1,2,3\dots$. Комбинационную составляющую принято характеризовать ее порядком, который равен сумме чисел $m+n$. Нежелательные компоненты на выходе смесителя отфильтровываются с помощью фильтров с необходимыми параметрами. Однако, зачастую, комбинационные составляющие попадают непосредственно в полосу пропускания выходных фильтров смесителей и в силу этого не могут быть удалены. Уровень такой составляющей на выходе узла зависит только от типа смесителя, используемого активного элемента и его режима (рис. 9).

Особенно острой является проблема подавления нежелательных компонент при преобразовании сигналов в РЧ блоках устройств мобильной связи, где в качестве гетеродинов используются широкополосные перестраиваемые ГУН, а также в многодиапазонных и многомодовых устройствах. Для исключения этого явления необходима тщательная проработка частотного плана устройства и выбор таких значений частот гетеродинов и ПЧ, при которых обеспечивается подавление нежелательных компонент до приемлемого уровня.

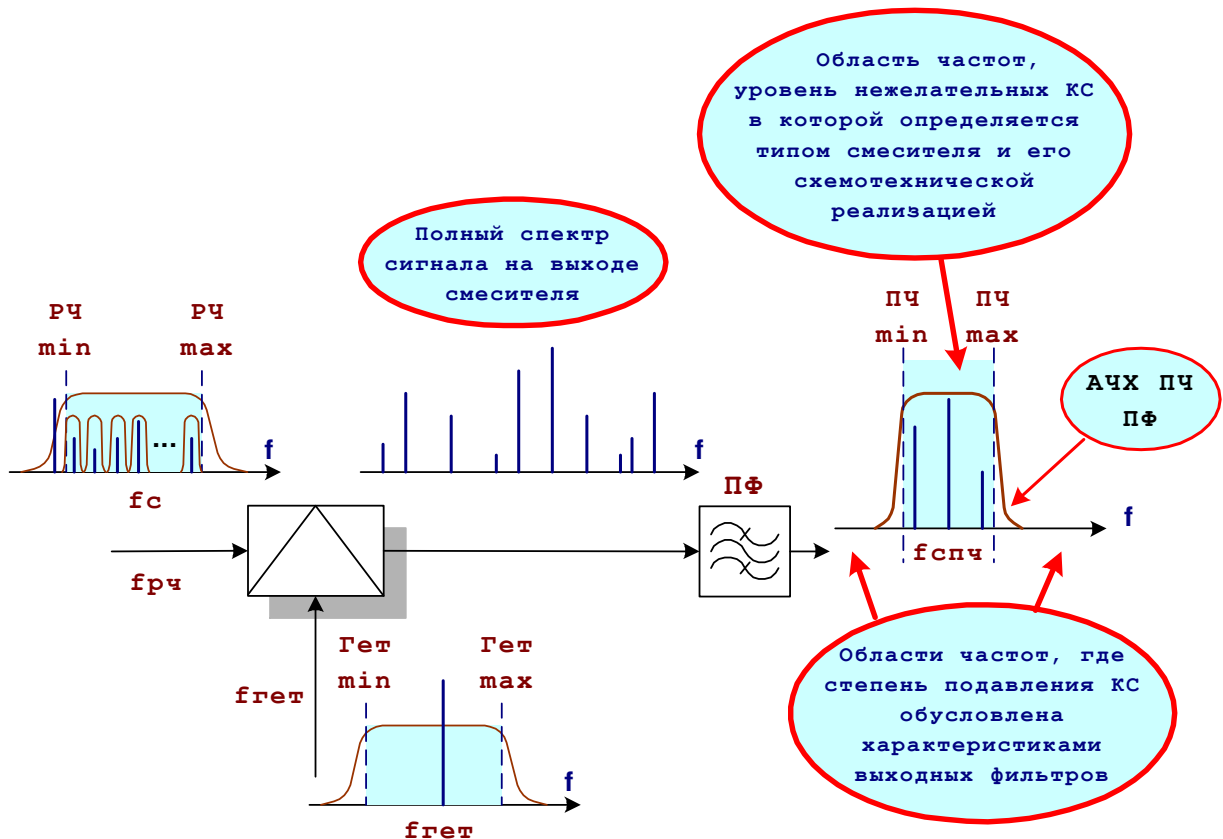


Рис. 9. Частотные спектры смесителя

Использование номограмм комбинационных составляющих

Определение наличия возможных комбинационных составляющих на выходе смесителя может быть произведено с помощью различного рода номограмм [9,26-27]. Один из вариантов номограммы приведен на рис. 10. При этом по осям откладываются входная $PЧ/Gет$ и выходная $ПЧ/Gет$ частоты смесителя, отнормированные относительно частоты гетеродина $Gет$.

По этой номограмме может быть определен частотный спектр сигнала на выходе смесителя и найдены КС до восьмого порядка. Для определения комбинационных составляющих, совпадающих с полезной КС на выходе смесителя, надо построить на диаграмме две прямые, проходящие через точки $fпрч/fгет$ и $fпч/fгет$ и исследовать область вблизи точки их пересечения. Если через точку пересечения проходит одна из прямых, приведенных на диаграмме и соответствующая какой-либо КС, то эта комбинационная составляющая попадает **непосредственно** в полосу пропускания выходного фильтра и не может быть эффективно подавлена.

Для примера, показанного на рисунке ниже, КС $4fгет-3fпрч$ точно совпадает по частоте $fпч=360$ МГц - точка **А**. Эта КС, появляющаяся на выходе смесителя при подаче полезного сигнала и ухудшающая качество сигнала на выходе смесителя, не может быть отфильтрована. Таким образом, выбор такого значения промежуточной частоты является неудачным.

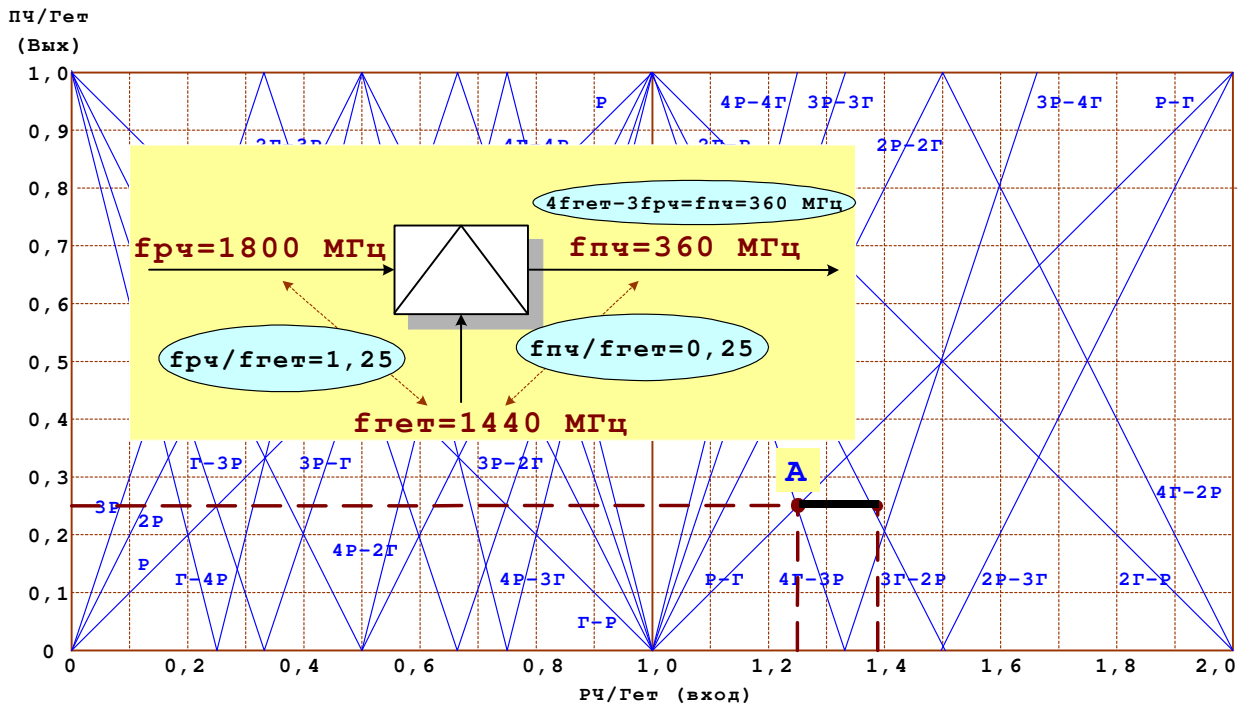


Рис. 10. Использование номограммы для определения КС, совпадающих с полезным сигналом на выходе смесителя

Многоканальный сигнал на входе смесителя

В реальных системах мобильной связи на вход используемых функциональных узлов, и в частности, смесителей, подается многочастотный (многоканальный) сигнал, занимающий достаточно широкую полосу частот. Причем сигнал может появиться в любом из рабочих каналов. Рассмотрим ситуацию, когда на вход смесителя подается многоканальный сигнал, занимающий полосу 1600 - 2000 МГц с разносом рабочих каналов 1 МГц.

В этом случае апертура на диаграмме КС представляет собой прямую линию с координатами:

- $f_{прч\ min}/f_{гет\ max} = 1800 : 1440 = 1,25$;
- $f_{прч\ max}/f_{гет\ max} = 2000 : 1440 = 1,39$,

показанную на рис.... Через найденную апертуру проходят линии КС пятого и седьмого порядка. Одна из них обсуждалась ранее: $4f_{гет} - 3f_{прч} = 4 \cdot 1440 - 3 \cdot 1800 = 360 \text{ МГц} = f_{пч}$. Для второй может быть найдено значение соответствующего сигнала РЧ, равное 1980 МГц:

$$3f_{гет} - 2f_{прч} = 3 \cdot 1440 - 2 \cdot 1980 = 360 \text{ МГц} = f_{пч}.$$

При возникновении на входе смесителя канального сигнала с найденным значением, на его выходе появится нежелательная КС с частотой 360 МГц, ухудшающая качество обрабатываемого сигнала.

Учет диапазона перестройки гетеродина

Для того чтобы выделить на выходе смесителя сигнал только одного рабочего канала с частотой f_c , частота сигнала гетеродина изменяется в диапазоне 1440 - 1640 МГц так, чтобы выполнялось условие $f_{пч} = f_c - f_g$.

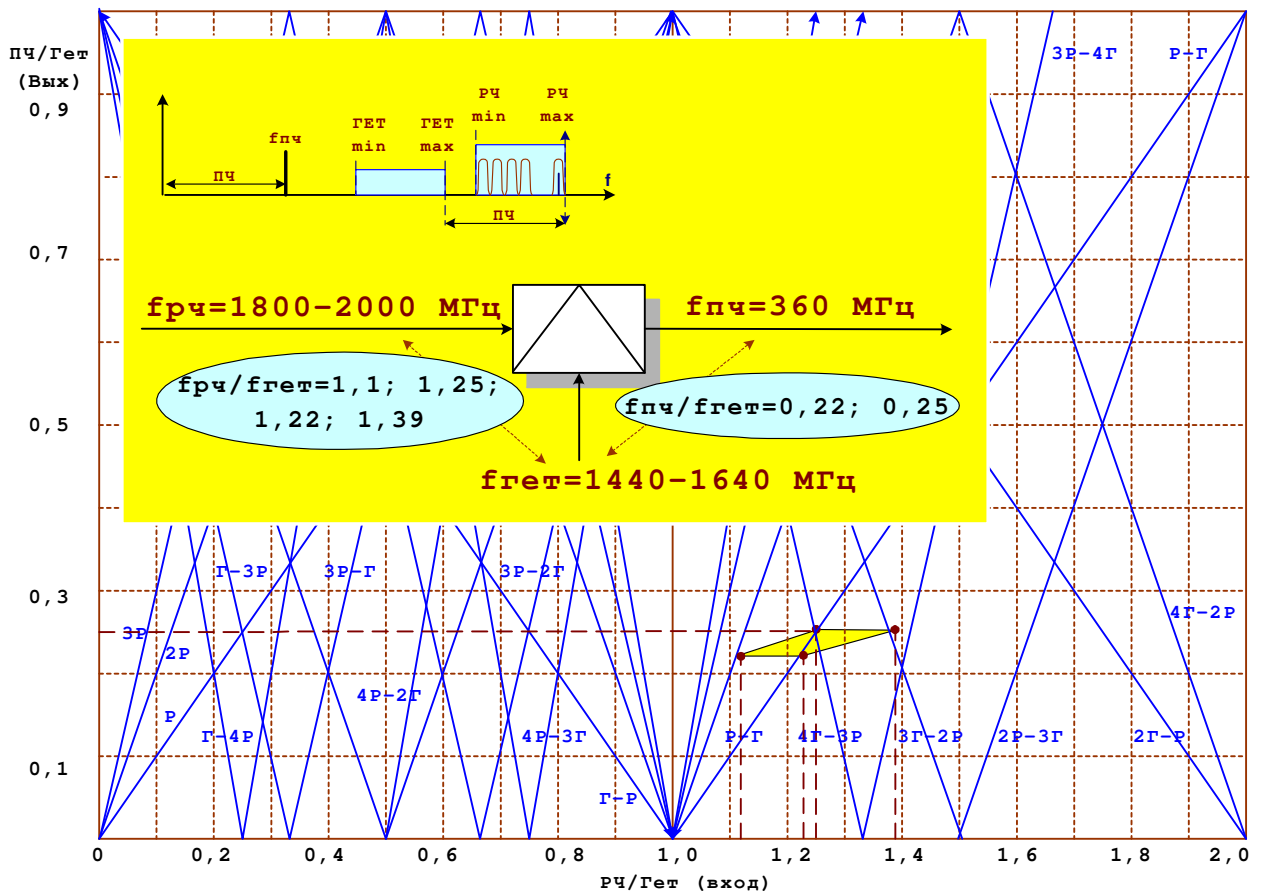


Рис. 11. Номограмма комбинационных составляющих при изменении частот гетеродина

Апертура сигналов для этого случая показана на рис. 11. Координаты вершин могут быть найдены по формулам:

- $f_{пч\ min}/f_{гет\ min} = 1800 : 1640 = 1,1$;
- $f_{пч\ min}/f_{гет\ max} = 1800 : 1440 = 1,25$;
- $f_{пч\ max}/f_{гет\ min} = 2000 : 1640 = 1,22$;
- $f_{пч\ max}/f_{гет\ max} = 2000 : 1440 = 1,39$;
- $f_{пч}/f_{гет\ max} = 360 : 1440 = 0,25$;
- $f_{пч}/f_{гет\ min} = 360 : 1640 = 0,22$.

Количество мешающих КС, не превышающих восьмого порядка, в этом случае возрастает до 8. Значения соответствующих частот входных и гетеродинных сигналов приведены в таблице ниже.

N	fпч	fгет	КС
1	1800	1440	$4f_{гет} - 3f_{пч}$
2	1807	1627	$-2f_{гет} + 2f_{пч}$
3	1818	1638	$-2f_{гет} + 2f_{пч}$
4	1844	1473	$4f_{гет} - 3f_{пч}$
5	1888	1506	$4f_{гет} - 3f_{пч}$
6	1932	1539	$4f_{гет} - 3f_{пч}$
7	1976	1572	$4f_{гет} - 3f_{пч}$
8	1980	1440	$3f_{гет} - 2f_{пч}$

Учет полосы фильтра на выходе смесителя

Для более точного нахождения всех нежелательных КС, которые могут появиться на выходе смесителя следует учесть **реальную полосу пропускания полосового фильтра** ПФ на выходе смесителя (рис. 9), ограниченную полосой $PЧ_{min}-PЧ_{max}$. В этом случае на диаграмме может быть построена прямоугольная область, ограниченная прямыми $PЧ_{min}/ГЕТ_{max}$, $PЧ_{max}/ГЕТ_{max}$, $PЧ_{min}/ГЕТ_{min}$, $PЧ_{max}/ГЕТ_{min}$. Такая прямоугольная область *I*, называемая в англоязычной литературе **апертурой (Bandwidth Aperture)**, построена на рис. 12 для условного примера. При $f_{гет} = ГЕТ_{max}$ на выход фильтра ПФ попадают все комбинационные составляющие, соответствующие прямым, пересекающим область, ограниченную построенным прямоугольником. На рис. 12 это комбинационные составляющие $2Г_{ем}-PЧ$, $2PЧ-2Г_{ем}$, $3PЧ-3Г_{ем}$, $3Г_{ем}-2PЧ$. Для верхней границы гетеродина $f_{гет} = ГЕТ_{min}$ может быть построен еще один прямоугольник *II*, ограниченный прямыми $PЧ_{min}/ГЕТ_{min}$, $PЧ_{max}/ГЕТ_{min}$, $PЧ_{min}/ГЕТ_{min}$, $PЧ_{max}/ГЕТ_{min}$.

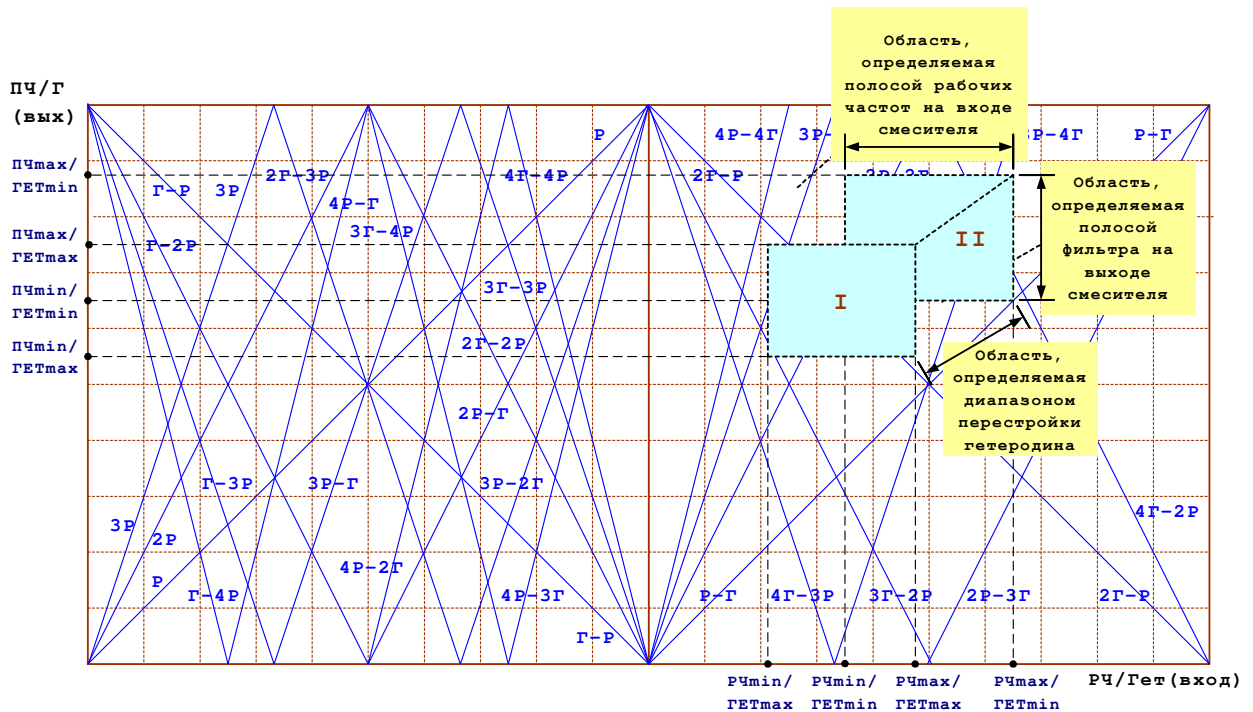


Рис. 12. Трехмерная апертура на номограмме преобразования вверх

Таким образом могут быть определены все опасные комбинационные составляющие, возникающие при перестройке гетеродина на выходе фильтра с заданной конечной полосой. Они соответствуют прямым, пересекающим область, ограниченную построенными прямоугольниками и пунктирными линиями, соединяющими их вершины [26].

4. Примеры структур РЧ блоков

В настоящее время разработано большое число разнообразных структур РЧ блоков. В данном разделе в качестве примеров приведены наиболее часто встречающиеся, или оригинальные структуры.

Структуры однодиапазонных РЧ блоков GSM900

На рис. 13 показана достаточно распространенная структура однодиапазонного РЧ блока системы GSM900. В тракте приема используется архитектура с двойным преобразованием частоты, в тракте передачи - с одним преобразованием. При этом первая промежуточная частота тракта приема равна дуплексному сдвигу по частоте $f_{FDD}=45$ МГц. Это позволяет перестраивать РЧ блок с помощью единственного РЧ ГУН.

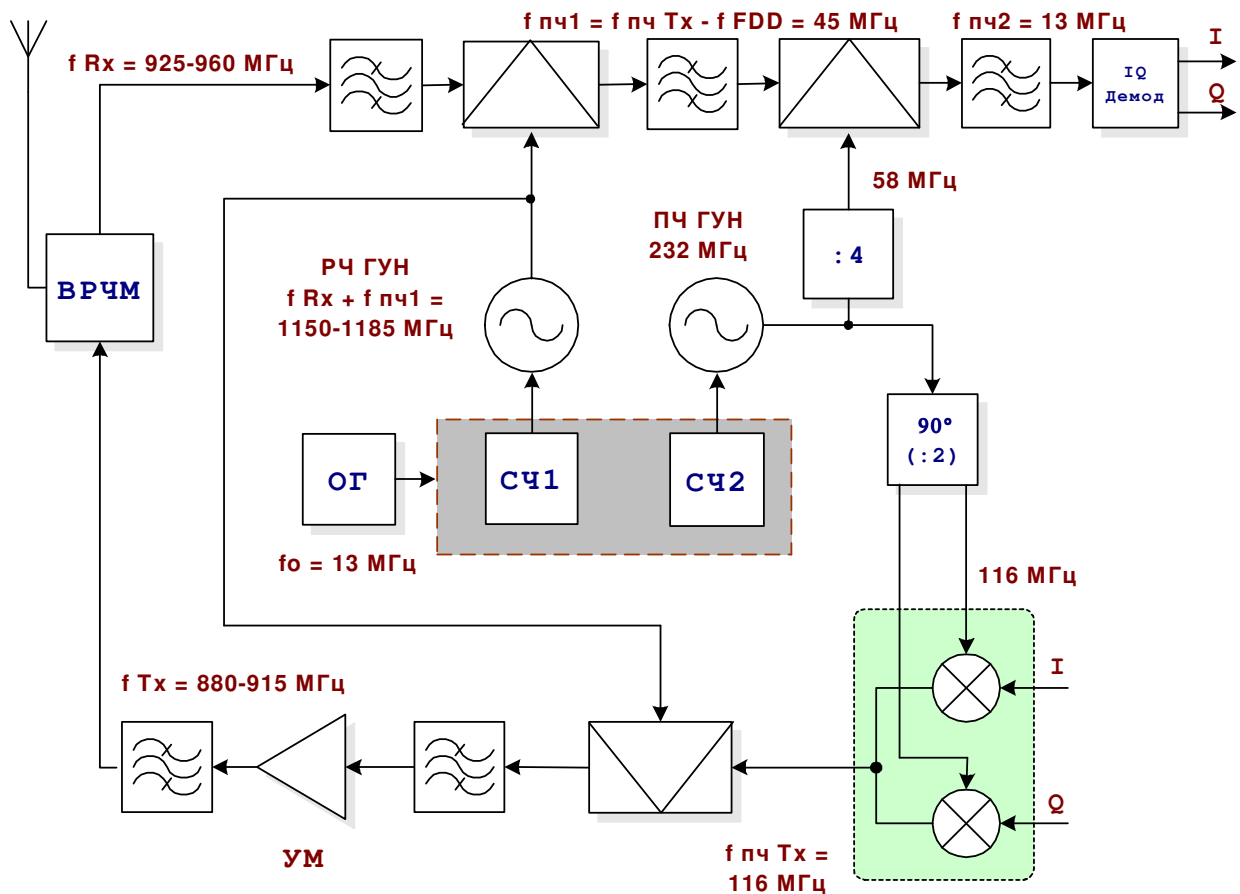


Рис. 13. Частотный план однодиапазонного РЧ блока GSM900

На рис. 14 приведена еще одна структурная схема однодиапазонного РЧ блока, выполненного на основе комплекта ИС компании Hitachi.

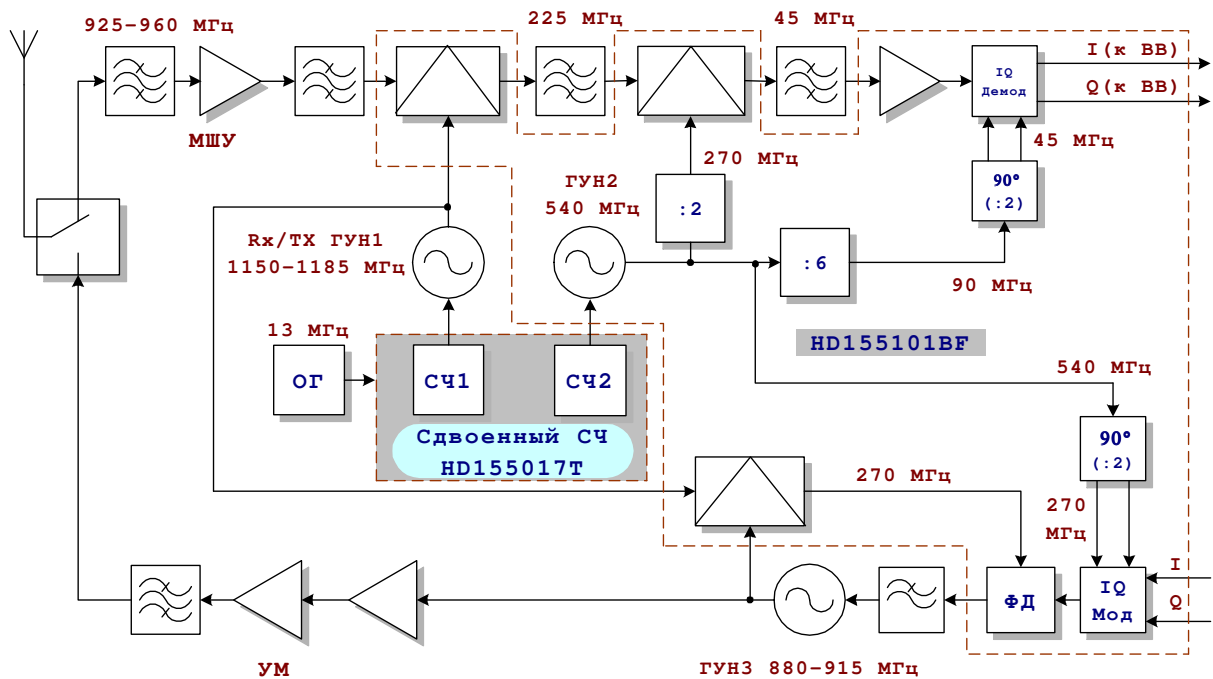


Рис. 14. Структура РЧ блока приемопередатчика стандарта GSM900 с двойным преобразованием частоты в тракте приема

В тракте приема используется двойное преобразование частоты с промежуточными частотами 225 и 45 МГц. Перестройка по частоте РЧ блока производится с помощью синтезатора СЧ1, управляющего ГУН1, частоты которого меняются в диапазоне 1150 - 1185 МГц. Второй синтезатор СЧ2 используется для формирования опорной частоты 540 МГц, необходимой для получения сразу трех вспомогательных сигналов, два из которых (270 и 45 МГц) используются в тракте приема, а один, после формирования квадратурных опорных компонент 270 МГц - в квадратурном модуляторе тракта передачи.

Тракт передачи выполнен на основе петли ФАПЧ с модуляцией опорного сигнала (*Input reference modulated transmitter*). Квадратурный модулятор работает на частоте ПЧ, равной 270 МГц. Дополнительный перенос сигнала ПЧ вверх на частоту канала РЧ производится с помощью петли ФАПЧ, осуществляющей управление частотой ГУН3 и дополнительную фильтрацию выходного сигнала. Частота гетеродина передатчика ГУН1 сдвинута от несущей частоты передачи на значение $f_{пч} = f(\text{ГУН1}) - f(\text{ГУН3}) = 270 \text{ МГц}$.

Основные компоненты РЧ блока объединены в одной ИС производства компании Hitachi HD155101BF [10]. Совместно с этой ИС может быть использован сдвоенный СЧ HD155015T.

В тракте приема РЧ блока на основе ИС компании Texas Instruments используется архитектура с двойным преобразованием частоты (рис. 15). Промежуточные частоты равны 149 и 52 МГц.

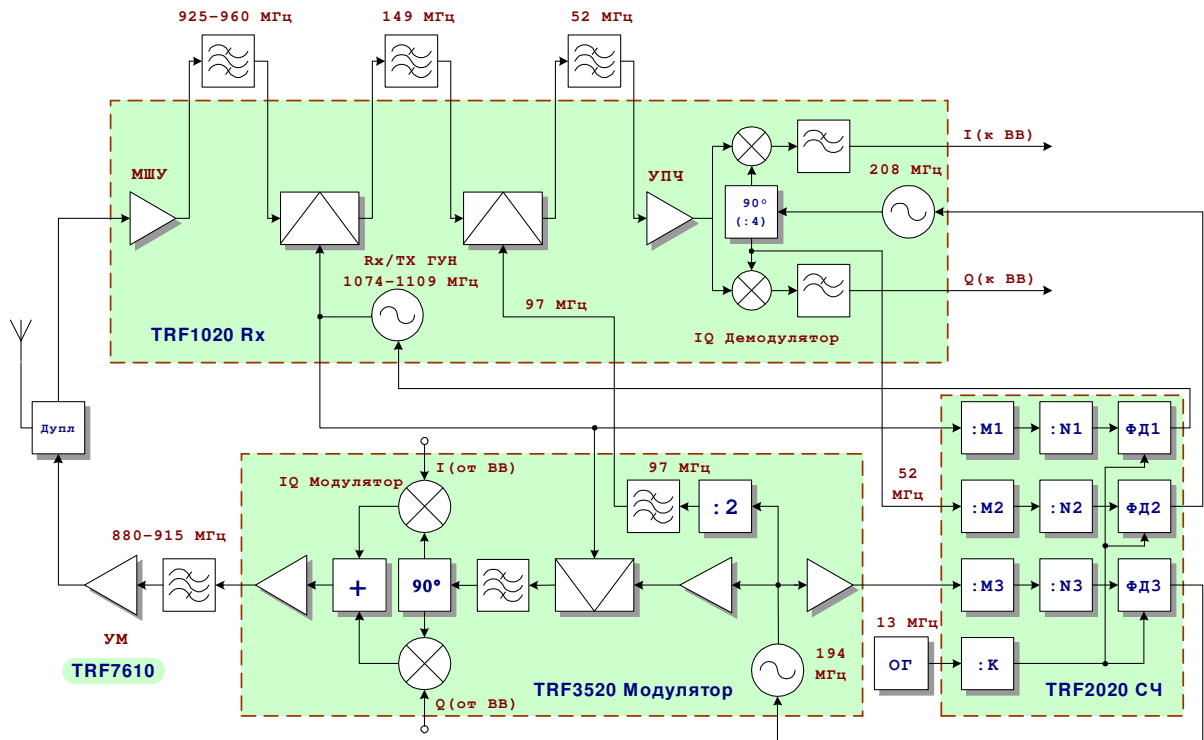


Рис. 15. Структура РЧ блока приемопередатчика стандарта GSM900 с двойным преобразованием частоты в тракте приема

В тракте передачи используется прямая квадратурная модуляция с сдвигом частоты ГУН (*Direct Modulation with Offset VCO*). Опорный сигнал квадратурного модулятора получается путем смешивания и фильтрации сигналов двух генераторов, работающих на частотах, отличных от канальной, что приводит к уменьшению эффекта затягивания частоты гетеродинов.

В РЧ блоке используется комплект ИС компании Texas Instruments для GSM 900 приложений: приемник TRF1020, модулятор TRF3520, синтезатор частот TRF2020 и УМ TRF7610 [11-14].

Двухдиапазонные РЧ блоки для GSM

На рис. 16 представлена достаточно широко применяемая структура двухдиапазонного РЧ блока системы GSM [15], а на рис. 17 - графическое представление его частотного плана. В режиме GSM900 первая промежуточная частота $f_{пч1}$ тракта приема отличается от промежуточной частоты $f_{пч}$ Тх тракта передачи на величину дуплексного сдвига GSM900, равную 45 МГц. Это позволяет использовать одинаковые частоты гетеродина в режиме приема и передачи.

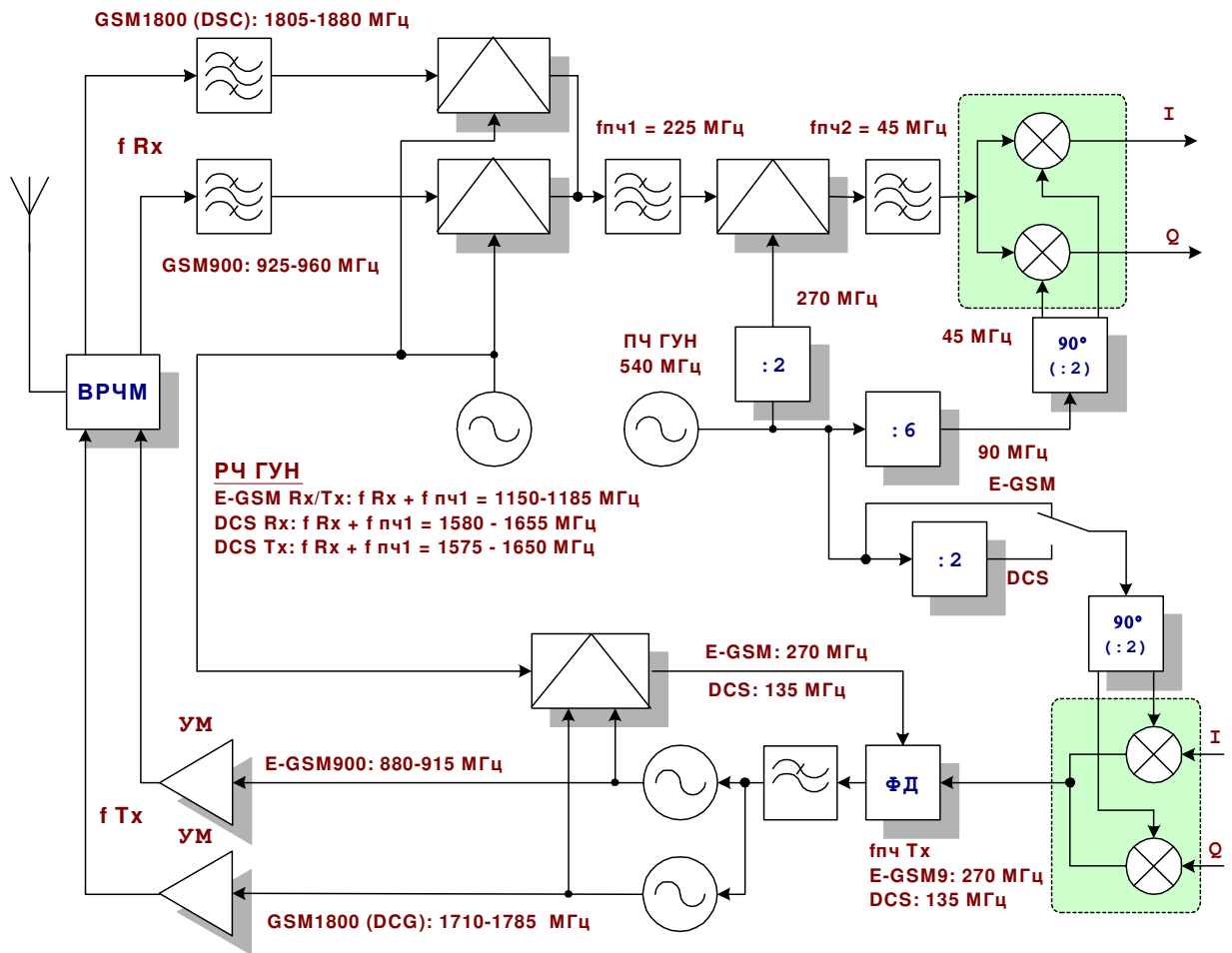


Рис. 16. Структура двухдиапазонного РЧ блока системы GSM

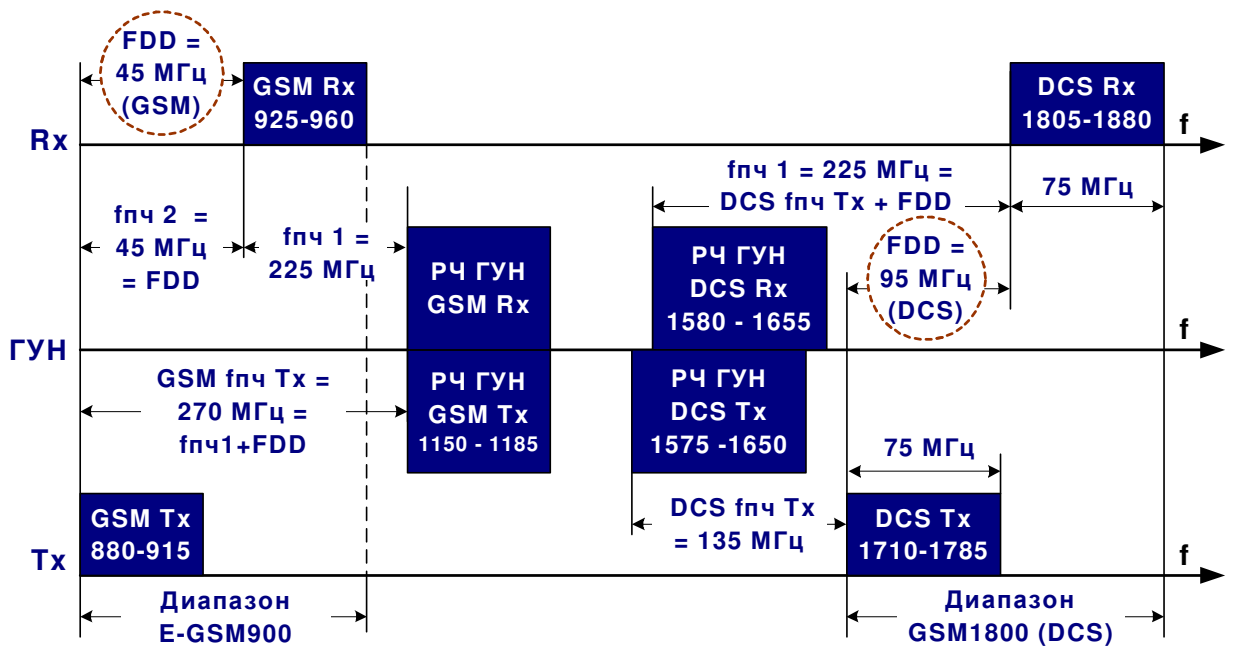


Рис. 17. Графическое представление частотного плана

В тракте приема двухдиапазонного РЧ блока, структура которого представлена на рис. 18, использована архитектура с одним преобразованием, в тракте передачи применена петля трансляции с модуляцией опорного сигнала [25].

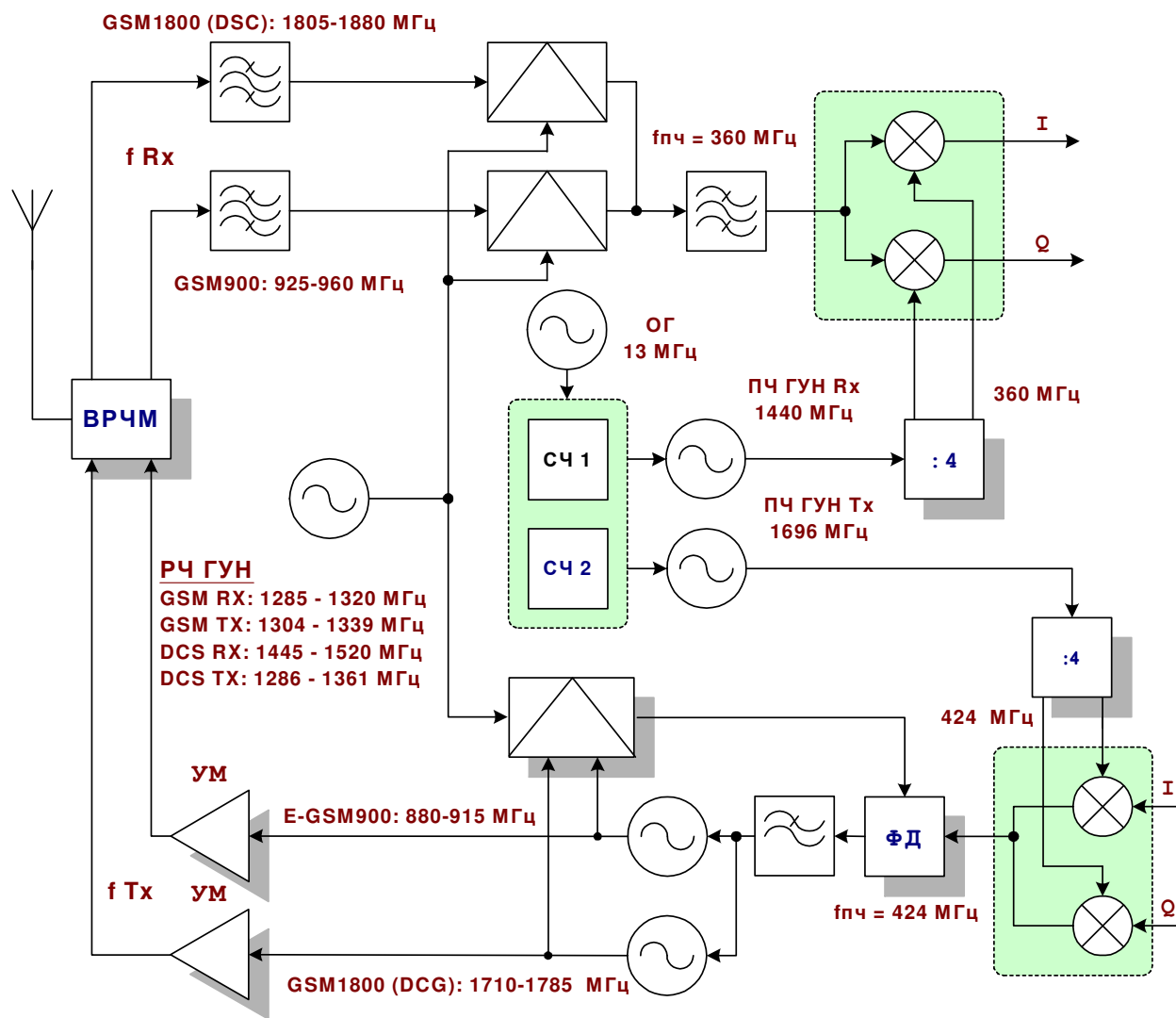


Рис. 18. Структура двухдиапазонного РЧ блока системы GSM

Трехдиапазонный РЧ блок GSM с единственным ГУН

При реализации РЧ блоков современных многодиапазонных и многостандартных устройств, предпочтительно перекрывать требуемый широкий диапазон рабочих частот с помощью одного **единственного** ГУН. Это приводит к получению кристалла микросхемы меньшей площади и более простой структуры системы. Например, в трехдиапазонном РЧ блоке GSM (GSM900/1800/1900) при использовании архитектуры с прямым преобразованием частоты может быть применен единственный широкополосный ГУН, работающий на центральной частоте 3,8 ГГц (рис. 19). Чтобы охватить диапазоны GSM1800 и GSM1900, частота ГУН должна быть поделена на 2, для использования в GSM900 частота ГУН делится на 4 [22].

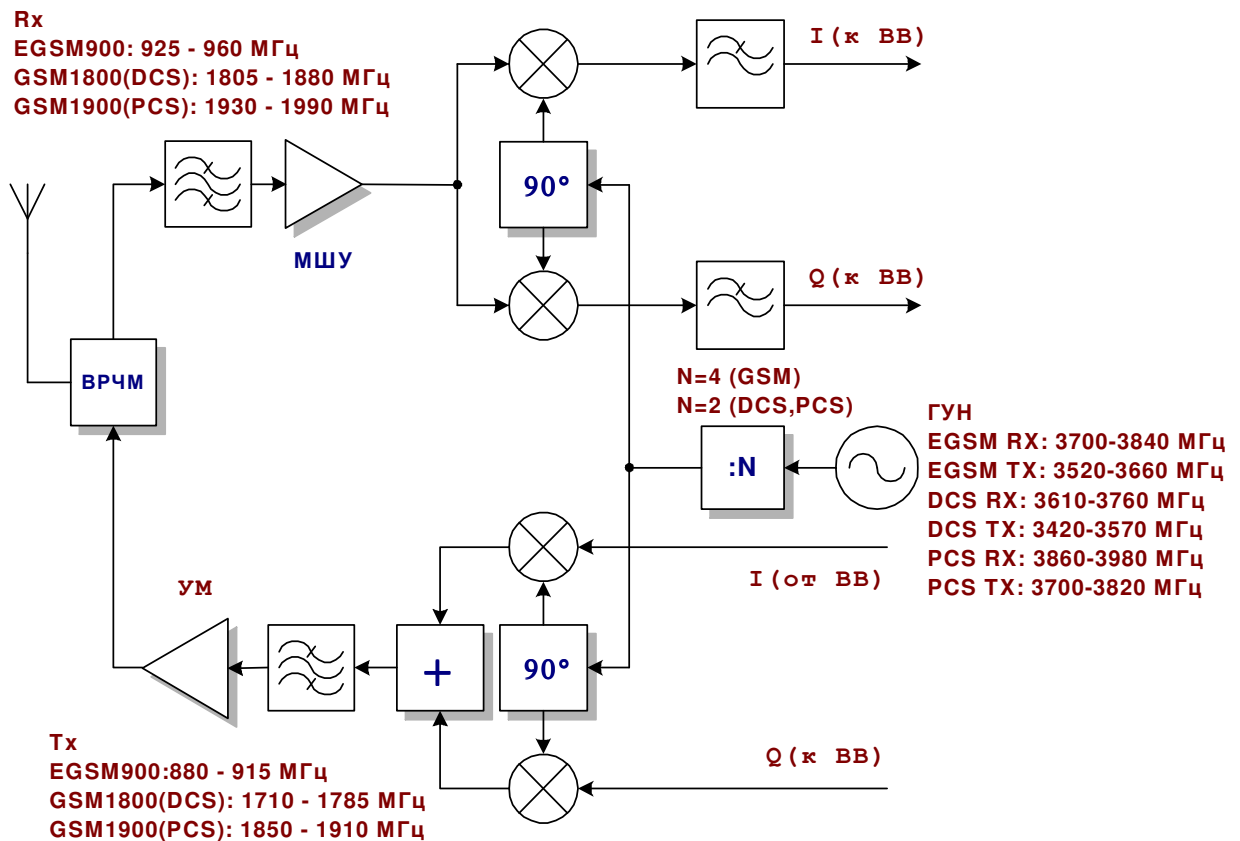


Рис. 19. Использование архитектуры прямого преобразования в трехдиапазонном РЧ блоке GSM с единственным ГУН

На рисунке приведена укрупненная архитектура трехдиапазонного РЧ блока GSM. Реально в тракте передачи используются три входных РЧ блока тракта приема и два отдельных выходных блока тракта передачи, содержащих усилители мощности.

РЧ блоки устройств транкинговой связи

В качестве примера радиооборудования транкинговой связи на рис. 20 приведена структурная схема носимой радиостанции DJ-180 компании Alinco, обладающей следующими техническими характеристиками:

- Диапазон рабочих частот (существуют различные варианты исполнения) [16]: 137,000 - 173,995 МГц/144,000 - 145,995 МГц
- Шаг сетки частот: 5; 10; 12,5; 15; 20; 25 кГц;
- Транкинговая система: Smar Trunk 2;
- Сопротивление антенны: 50 Ом, небалансная;
- Модуляция: ФМ (F3E);
- Девиация частоты, макс: +/- 5 кГц;
- Напряжение источника питания 5,5- 13,8 В;
- Выходная мощность передатчика: 5,0 Вт при 12 В питания; 2,0 Вт при 7,2 В питания.
- Чувствительность приемника: лучше -10 дБмкВ при 12 дБ SINAD.

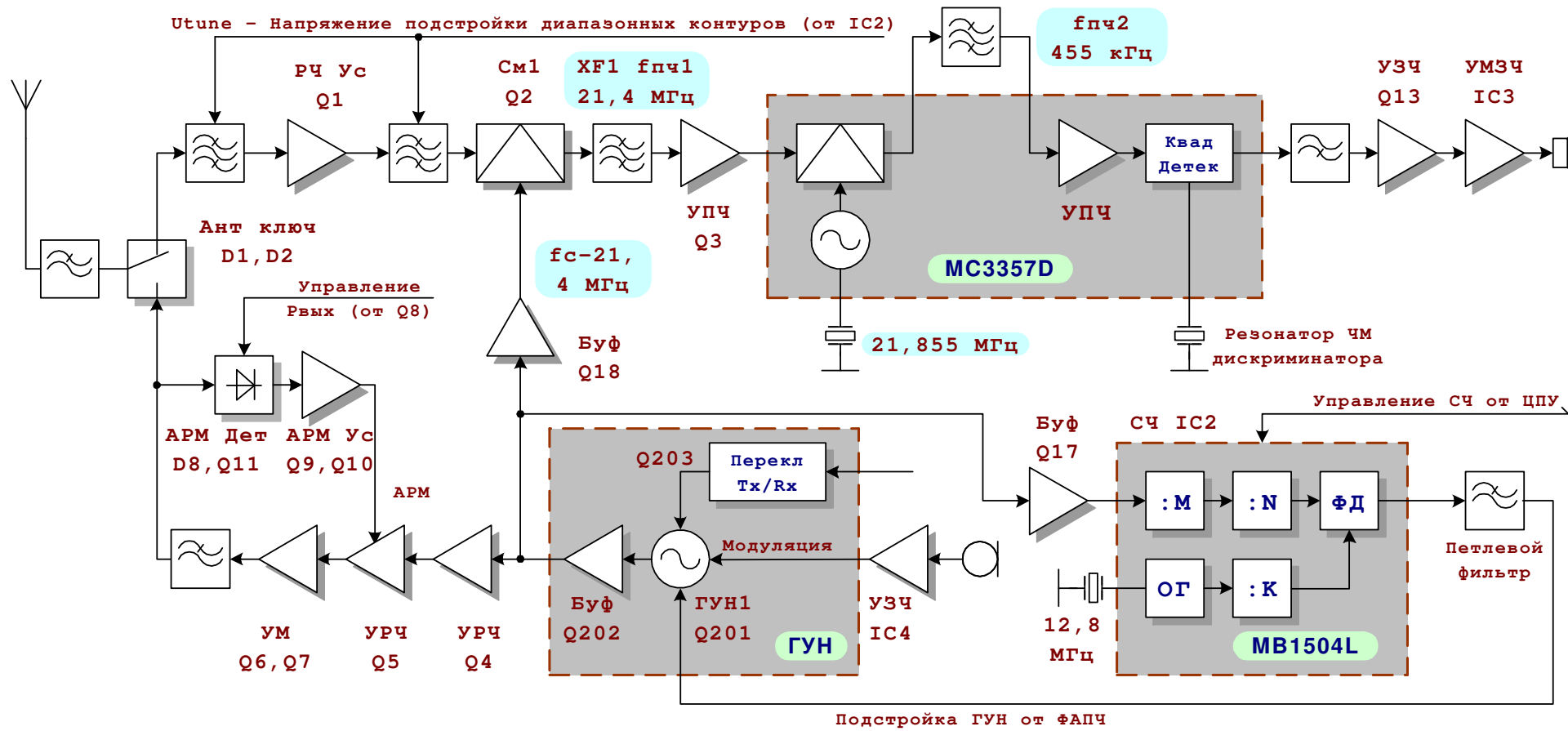


Рис. 20. Структурная схема РЧ блока приемопередатчика DJ-180 компании Alinco

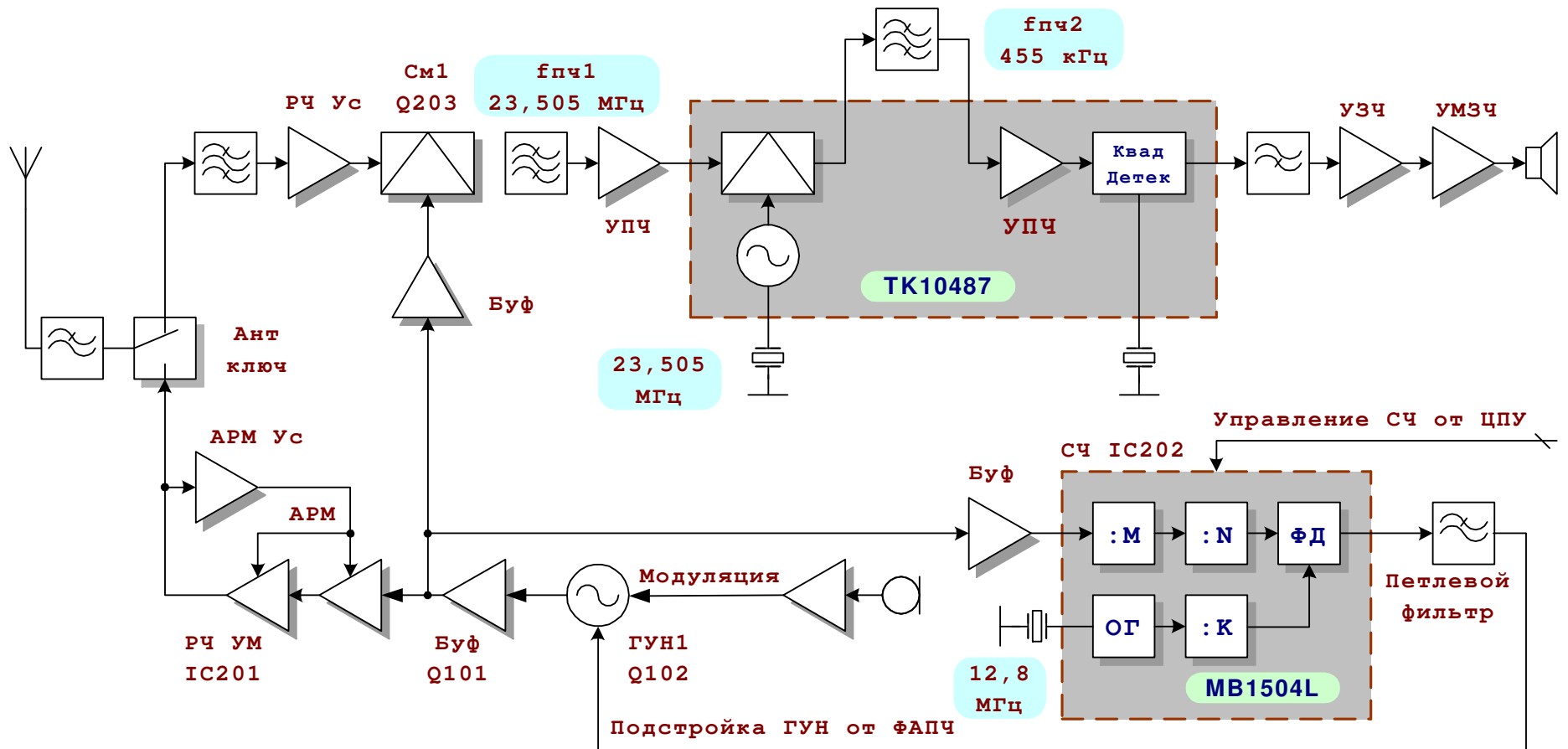


Рис. 21. Структурная схема приемопередатчика DJ-F1 компании Alinco

В тракте приема радиостанции использована супергетеродинная архитектура с двойным преобразованием частоты. Первая ПЧ равна 21,4 МГц, вторая ПЧ составляет 455 кГц. Сигнал с выхода антенны через ФНЧ поступает на РЧ преселектор. Далее сигнал усиливается каскадом УРЧ на Q1, фильтруется полосовым диапазонным фильтром и подается на первый смеситель Q2.

Принятый сигнал смешивается с опорным сигналом первого гетеродина ($f_c - 21,4$ МГц), формируемым с помощью схемы ФАПЧ, и преобразуется в сигнал первой ПЧ. Нежелательные комбинационные составляющие удаляются с помощью монолитного кварцевого фильтра (XF1). Сигнал первой ПЧ усиливается каскадом на Q3, и подается на вход IC1 (MC3357D), где смешивается с сигналом второго гетеродина (21,855 МГц), преобразовываясь в сигнал второй ПЧ (455 кГц). Фильтрация выходного сигнала второй ПЧ с вывода 3 IC1 происходит с помощью керамического фильтра FL1. Обработываемый сигнал затем усиливается усилителем-ограничителем второй ПЧ и детектируется квадратурной схемой. В качестве частотодающего элемента ЧМ детектора в данном устройстве используется кварцевый резонатор. Демодулированный выходной сигнал звуковых частот, получаемый на выходе IC1, проходит фильтр нижних частот и подается на усилитель звуковых частот Q13. Затем сигнал через регулятор громкости подается на усилитель мощности ЗЧ на IC3 и усиливается до уровня, необходимого для подачи на динамик. Напряжение источника питания IC3 ограничено регулятором, чтобы предотвратить возможность перегрузки динамика. Уровень срабатывания схемы подавления шума (*Scquelch Circuit*) устанавливается переменным резистором.

Схема генераторной части РЧ блока состоит из ГУН, выполненного на транзисторе Q201, буферных усилителей (Q202 и Q17) и ИС синтеза частот IC2. Выходная частота схемы ФАП определяется набором данных, поступающих от микропроцессора.

Выходной сигнал генератора тока ФД синтезатора частот преобразуется в постоянное управляющее напряжение с помощью петлевого фильтра (*Loop Filter*) и подается на варикапы для перестройки ГУН на транзисторе Q201. Напряжение *Utune* с выхода схемы ФАПЧ подается и на варикапы в тракте приема, перестраивая полосовые фильтры при изменении рабочего канала. Частотная модуляция осуществляется, когда информационный сигнал подается на дополнительные варикапы, находящиеся в колебательной системе ГУН, выполненного на транзисторе Q201.

Сигнал от внутреннего или внешнего микрофона поступает на схему предвыскажения (*Preemphasis Circuit*) тракта передачи и затем на вход микрофонного усилителя IC4, который состоит из двух операционных усилителей. Усиленный сигнал подается на фильтр низких частот IC4 и далее через переменный резистор регулирования уровня модуляции на варикапы ГУН для управления частотой ГУН.

Сигнал с выхода ГУН усиливается буферными усилителями Q4 и Q5, и через предварительный усилитель Q6 подается на вход усилителя мощности Q7. Усиленный выходной сигнал Q7 поступает на фильтр нижних частот, схему антенного ключа прием/передача (Tx/Rx) и выходной фильтр нижних частот, удаляющий нежелательные компоненты выходного сигнала.

Схема автоматического управления мощностью APC (*Automatic Power Control*) используется, чтобы получить устойчивую постоянную величину выходной мощности. Эта схема детектирует выходной сигнал передатчика с помощью D8. Напряжение, пропорциональное уровню выходного сигнала, поступает на схему APC. Если это напряжение выше, чем установленное опорное напряжение, напряжение питания усилителя APC Q9 уменьшается. Напряжение на коллекторе APC усилителя Q10 уменьшается, и напряжение питания Q5 снижается. Выходная мощность при этом уменьшается, что предохраняет устройство от перегрузки по мощности. В ключе управления мощностью (*Power Control Switch*) Q8 уменьшается базовое напряжение детектора APC Q11 и напряжения коллектора усилителя APC Q10, а также производится переключение между уровнями высокой и низкой мощности, при коммутации прием/передача.

В качестве еще одного примера на рис. 21 приведена структурная схема приемопередатчика DJ-F1 компании Alinco [17].

Литература

1. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. -М.: МТС, 1996, -238 с.
2. Дингес С.И. Мобильная связь. Технология DECT. -М.: Солон-Пресс, 2003. -272 с.
3. Дингес С.И. Радиопередающие устройства ССПО. Учебное пособие. МТУСИ. 2003. -42 с.
4. Bluetooth Specification. Version 1.1. Part A. Radio Specification.
5. ETS 300 175-1: Radio Equipment and Systems (RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Common Interface Part 1: Overview.
6. GSM 05.05. European Standard (Telecommunications series). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception.
7. GSM 03.64: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); GPRS Radio Interface Stage 2".
8. GSM 02.06: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Types of Mobile Stations (MS)".
9. Манассевич В. Синтезаторы частот (Теория и проектирование): пер. с англ./ Под ред. А.С.Галина. М.: Связь, 1979. -384 с.
10. HD155101BF RF Single-chip Linear IC for GSM and EGSM Systems. Hitachi.
11. TRF1020 GSM Receiver, Texas Instruments Literature number SLWS028.
12. TRF3520 GSM RF Modulator/Driver Amplifier EVM, Texas Instruments Literature number SLWA020.
13. TRF2020 Frequency Synthesizer, Texas Instruments Literature number SWRA012.
14. TRF7610 Silicon Mosfet Power Amplifier IC for GSM, Texas Instruments Literature number SLW5059.
15. Dual Band Mobile Cellular Phone SGH-R200. Samsung Electronics Co.,Ltd. Service Manual.
16. Носимая радиостанция DJ-180 транкинговой связи компании Alinco. Alinco Incorporated. Service Manual.
17. Носимая радиостанция DJ-F1 транкинговой связи компании Alinco. Alinco Incorporated. Service Manual.
18. Kral A., F. Behbahani, A. A. Abidi. RF-CMOS Oscillators with Switched Tuning. Proceedings of Custom IC Conference, Santa Clara, CA, May 1998, pp. 555-558
19. Axel D. Berny, A.M. Niknejad, R.G. Meyer. A Wideband Low-Phase-Noise CMOS VCO. Berkeley Wireless Research Center, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley.
20. P. Andreani and S. Mattisson. On the Use of MOS Varactors in RF VCO's. IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 35, NO. 6, JUNE 2000. pp. 905-910.
21. B. Razavi. A 1.8GHz CMOS Voltage-Controlled Oscillator. ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 388-389, February 1997.
22. X. Wang, D. Wang, Chris Masse, Peter Bacon. Low phase noise SiGe voltage-controlled oscillators for wireless applications. Microwave Journal. 2002 February.
23. MEMS for RF/Microwave Wireless Applications: The Next Wave - Part I. Microwave Journal, March. 2001.
24. MEMS for RF/Microwave Wireless Applications: The Next Wave - Part II. Microwave Journal, July. 2001.
25. Dual Band Mobile Cellular Phone SL45. Siemens Service Manual.
26. Проектирование радиопередатчиков: Учебное пособие для вузов / В.В. Шахгильдян, М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др.; Под ред. В.В. Шахгильдяна. - М.: Радио и связь, - 656 с.
27. D. Gandhi, C. Lyons (Hittite Microwave Corp). Mixer Spur Analysis with Concurrently Swept LO, RF and IF: Tools and Techniques. Microwave Journal. May 2003.
28. Волчков В.П. Основы построения цифровых систем связи / МТУСИ. - М. 2005. -69 с.
29. Материалы интернет-сайтов: www.rfdesign.ru, www.mobicom.narod.ru.