

Сергей Дингес

- Связе-русский
словарь .

6.8. Комбинационные
составляющие на выходе
преобразователей сигналов

v.02.15

Все, что ты должен знать о мобильной
связи и не только!
Раньше стеснялся спросить об этом у
преподавателя, а теперь боишься
спросить у работодателя...

1	Системы связи
2	Радиооборудование
3	Модуляция
4	Тракты. Параметры
5	Стандарты. Технологии
6	Архитектура
7	Компоненты
8	Абонентское и базовое РО
9	Схемотехника
10	Измерения. Тестирование
11	Планирование. Оптимизация
12	Словари. Справки

© Сергей Дингес
© rfdesign.ru «РадиоДизайн = RFDesign»

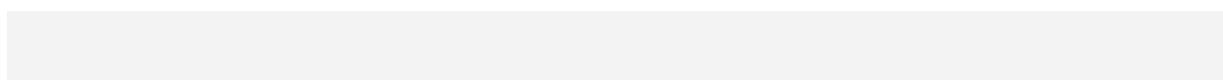
"Все должно быть изложено так просто, как
только возможно, но не проще".

Альберт Эйнштейн



Оглавление

6. Архитектура РЧ блоков.....	5
Частотный план РЧ тракта.....	5
Выбор частотного плана и архитектуры РЧ блока	5
Комбинационные составляющие на выходе преобразователя частоты сигнала.....	7
Использование номограмм комбинационных составляющих	8



6. Архитектура РЧ блоков

Частотный план РЧ тракта

Частотный план (*frequency plan*) устройства или РЧ тракта – это его предельно упрощенная структурная схема, на которой обязательно показаны устройства генерирования и преобразования сигналов - преобразователи, генераторы, модуляторы, делители и умножители. На плане приводятся номиналы генерируемых и преобразуемых частот и, при необходимости, размещаются устройства фильтрации.

Частотный план РЧ трактов необходимо формировать с учетом ряда **факторов**:

- требований стандарта - полосы рабочих частот на входе приемника и выходе передатчика; номиналов канальных частот, используемых видов модуляции и т.п.;
- требований к подавлению внеполосных излучений на выходе передатчика, определяемых стандартом;
- требований к подавлению сигналов на частотах внеполосного приема;
- наличия синтезаторов частот, обладающих необходимыми параметрами ($f_{min}...f_{max}$; шаг сетки частот Δf ; время установления частоты t_{ycm});
- сложившейся практики построения структур приемопередатчиков: наличия промышленных фильтров, прежде всего ПЧ, на необходимые частоты, отдельных функциональных узлов, работающих на определенных частотах и т.д.

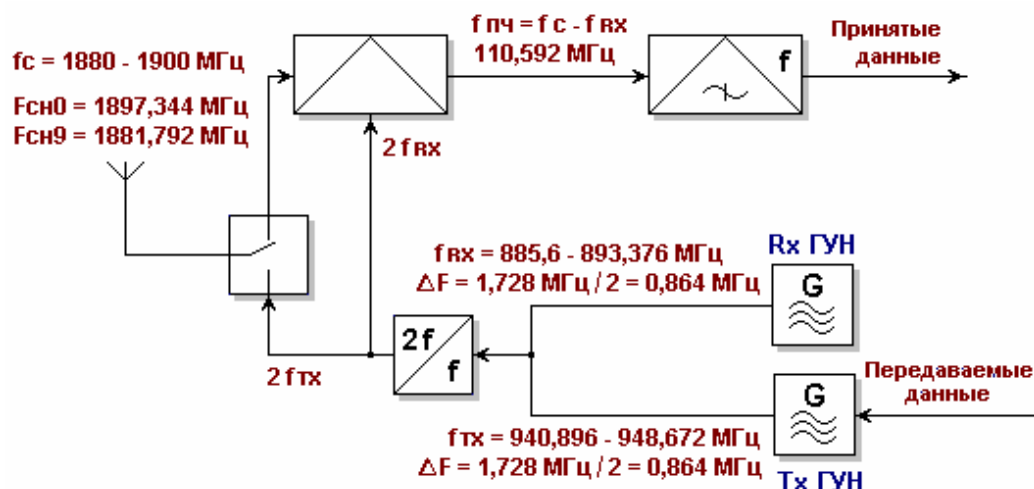


Рис.1. Пример частотного плана РЧ блока приемопередатчика DECT

В качестве примера на рис. 1 приведен частотный план РЧ блока приемопередатчика DECT.

Выбор частотного плана и архитектуры РЧ блока

Выбор архитектуры РЧ блока и соответствующих частот внутренних сигналов должен производиться так, чтобы выполнялись все требования соответствующих стандартов с использованием наименьшего количества компонентов, достижения низкого потребления мощности от источников питания и минимальной стоимости. При этом разработчики, как правило, решают ряд **конкретных задач**:

- На начальном этапе проектирования тщательно рассчитывают наличие и величины нежелательных комбинационных составляющих на выходах преобразователей сигналов и учитывают их влияние;
- Минимизируют количество используемых в РЧ блоке генераторов и синтезаторов частоты, так как эти компоненты и, особенно, внешние ГУН ИС являются достаточно дорогими;
- Минимизируют диапазон перестройки ГУН для того, чтобы упростить разработку и стоимость используемых генераторов;
- Минимизируют количество используемых дорогих РЧ фильтров;
- Минимизируют потребляемую РЧ блоком мощность, тщательно прорабатывая режимы уменьшения энергопотребления (*Standby Modes*);
- Выбирают правильное соотношение используемых аппаратных и программных средств, учитывая энергопотребление АЦП и применяемого в байпасном тракте процессора ЦСП;
- При расчетах всех параметров РЧ блока с некоторым запасом учитываются практические ограничения, накладываемые параметрами имеющихся в распоряжении реальных РЧ компонентов.

Частотный план (*frequency plan*) устройства напрямую зависит от архитектуры и топологии реализуемого РЧ тракта, количества преобразований вниз и режимов работы, например, учета симплектности или дуплектности работы. При комплексном частотном планировании необходимо произвести изучение блокирующих сигналов, сигналов на частотах зеркальных каналов и каналах побочного излучения и приема. Эти РЧ компоненты являются радиосигналами, которые передаются в эфире другим радиооборудованием, и могут проникнуть в различные участки РЧ тракта приема. Они могут или сразу насытить РЧ тракты, или взаимодействовать с полезным (формируемым или принимаемым) сигналом, ухудшая качество его обработки.

Комбинационные составляющие на выходе преобразователя частоты сигнала

При преобразовании сигналов в РЧ блоках используются операции сложения и вычитания частот, производимые с помощью преобразователей сигналов. На выходе преобразователей наряду с полезными сигналами образуется целый ряд **комбинационных составляющих КС**, являющихся паразитными, мешающими (*Spurious Response*).

Вообще говоря, на выходе преобразователя формируются ряд **комбинационных составляющих** с частотами $\pm m f_{рч} \pm n f_{гет}$, где m и $n=1,2,3...$. Комбинационную составляющую принято характеризовать ее порядком, который равен сумме чисел $m+n$.

Нежелательные компоненты на выходе преобразователя отфильтровываются с помощью фильтров с необходимыми параметрами. Однако, зачастую, комбинационные составляющие попадают непосредственно в полосу пропускания выходных фильтров преобразователей и в силу этого **не могут быть удалены**. Уровень такой составляющей на выходе узла зависит только от типа преобразователя, используемого активного элемент и его режима (рис. 2).

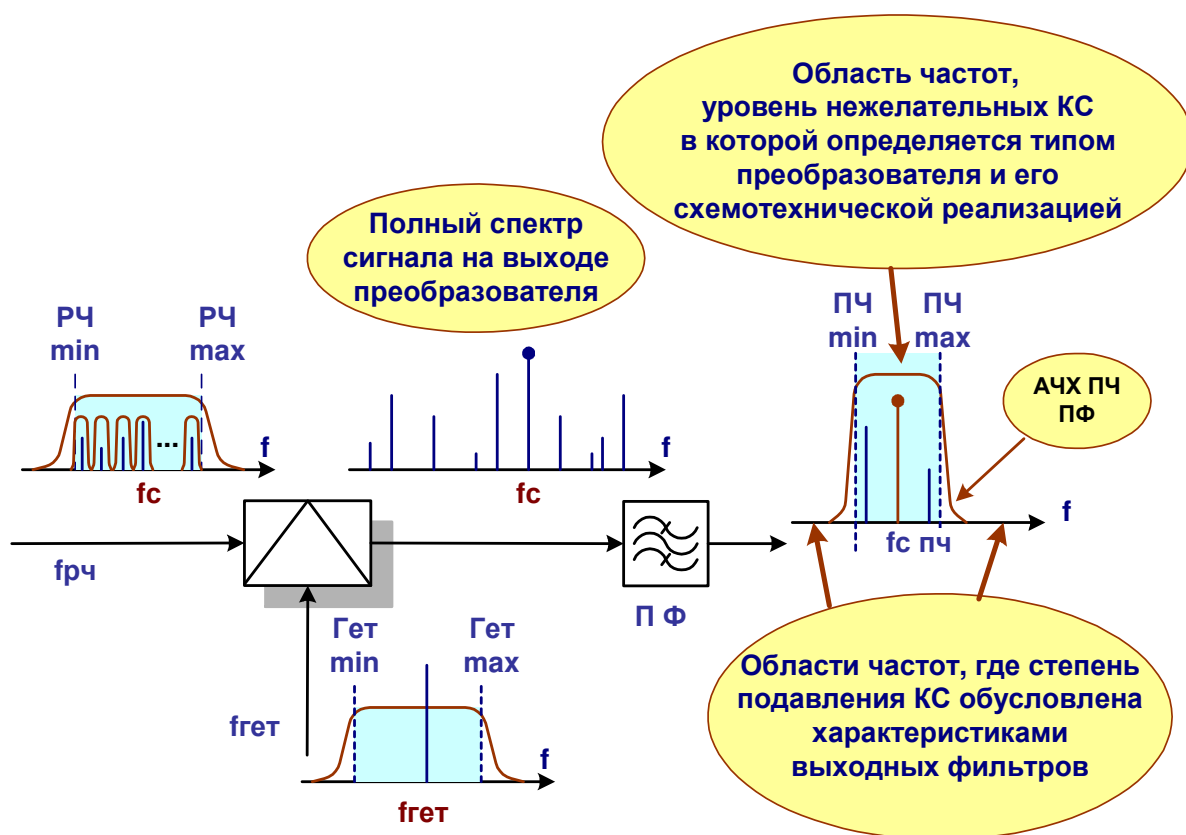


Рис. 2. Частотные спектры преобразователя

Особенно острой является проблема подавления нежелательных компонент при преобразовании сигналов в РЧ блоках устройств мобильной связи, где обрабатываются многоканальные сигналы, 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.

Использование номограмм комбинационных составляющих

Определение наличия возможных комбинационных составляющих на выходе преобразователя может быть произведено с помощью различного рода номограмм [1 (с. 346), 2 (46-56)]. Один из вариантов номограммы приведен на рис. 3. При этом по осям откладываются входная $PЧ/Гет$ и выходная $ПЧ/Гет$ частоты преобразователя, отнормированные относительно частоты гетеродина $Гет$.

По этой номограмме может быть определен частотный спектр сигнала на выходе преобразователя и найдены КС до восьмого порядка. Для определения комбинационных составляющих, совпадающих с полезной КС на выходе преобразователя, надо построить на диаграмме две прямые, проходящие через точки $f_{пч}/f_{гет}$ и $f_{пч}/f_{гет}$ 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.

В качестве **примера** использования номограммы рассмотрим преобразователь с входной частотой 1800 МГц и выбранной ПЧ, равной 360 МГц. Частота гетеродина при нижней настройке должна быть равна 1440 МГц. При выборе такого частотного плана и выполнении соответствующих построений на номограмме, показанных на рис 4, можно видеть, что КС $4f_{гет}-3f_{пч}$ точно совпадает по частоте $f_{пч}=360$ МГц - точка **A**. Эта КС, появляющаяся на выходе преобразователя при подаче полезного сигнала и ухудшающая качество сигнала на выходе преобразователя, не может быть отфильтрована. Таким образом, выбор такого значения промежуточной частоты является неудачным.

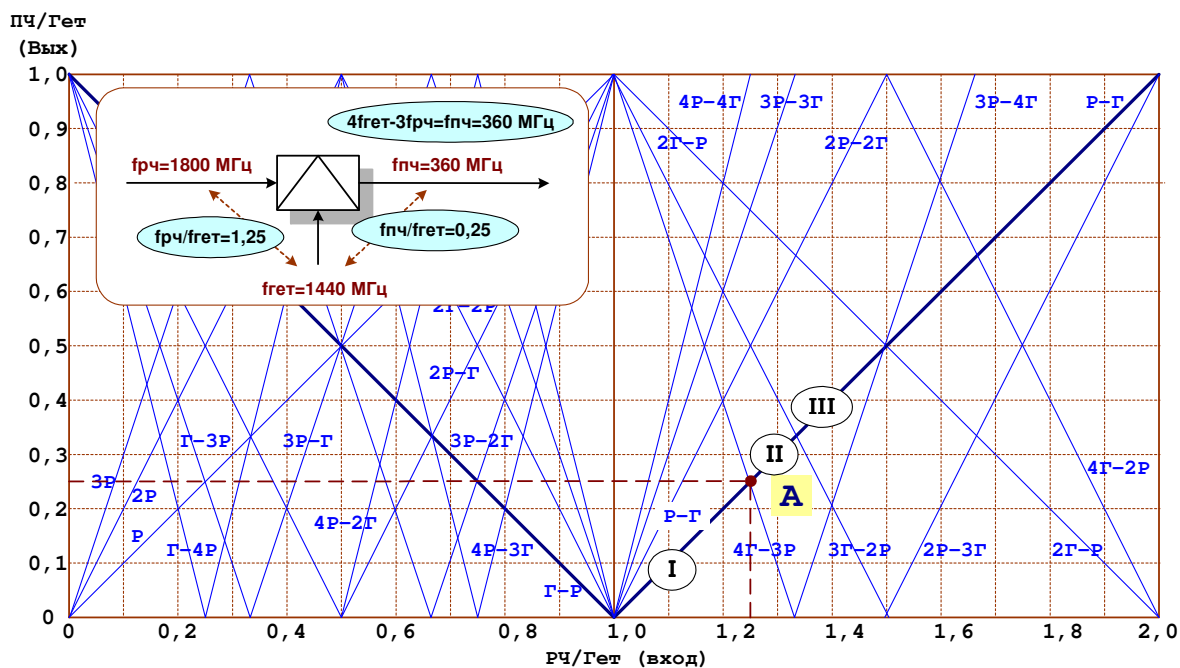


Рис. 4. Использование номограммы для определения КС, совпадающих с полезным сигналом на выходе преобразователя.

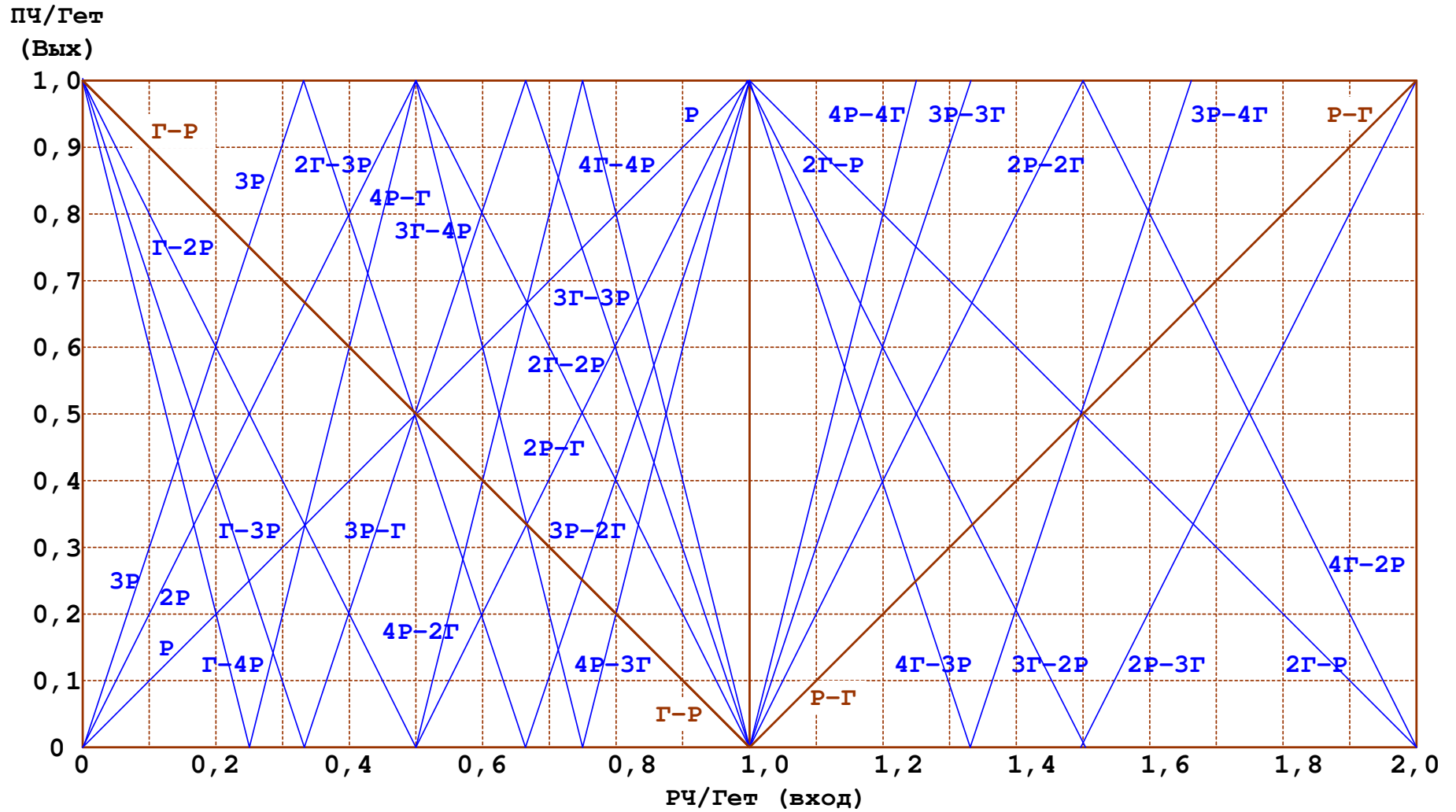


Рис. 3. Номограмма для определения возможных комбинационных составляющих на выходе преобразователя сигнала вниз по частоте

Учет диапазона перестройки гетеродина

В реальных радиосистемах, например, в мобильной связи на вход используемых функциональных узлов, и в частности, преобразователей, подается **многочастотный** (многоканальный) сигнал, занимающий достаточно широкую полосу частот. Причем сигнал может появиться в любом из рабочих каналов.

Рассмотрим ситуацию, когда на вход преобразователя подается многоканальный сигнал, занимающий полосу 1600 - 2000 МГц с разносом рабочих каналов 1 МГц (рис. 5). Для того чтобы выделить на выходе преобразователя сигнал только одного необходимого рабочего канала с частотой f_c , частота сигнала гетеродина $f_{гет}$ должна изменяться в диапазоне 1440 - 1640 МГц так, чтобы выполнялось условие $f_{пч} = f_c - f_{гет}$.

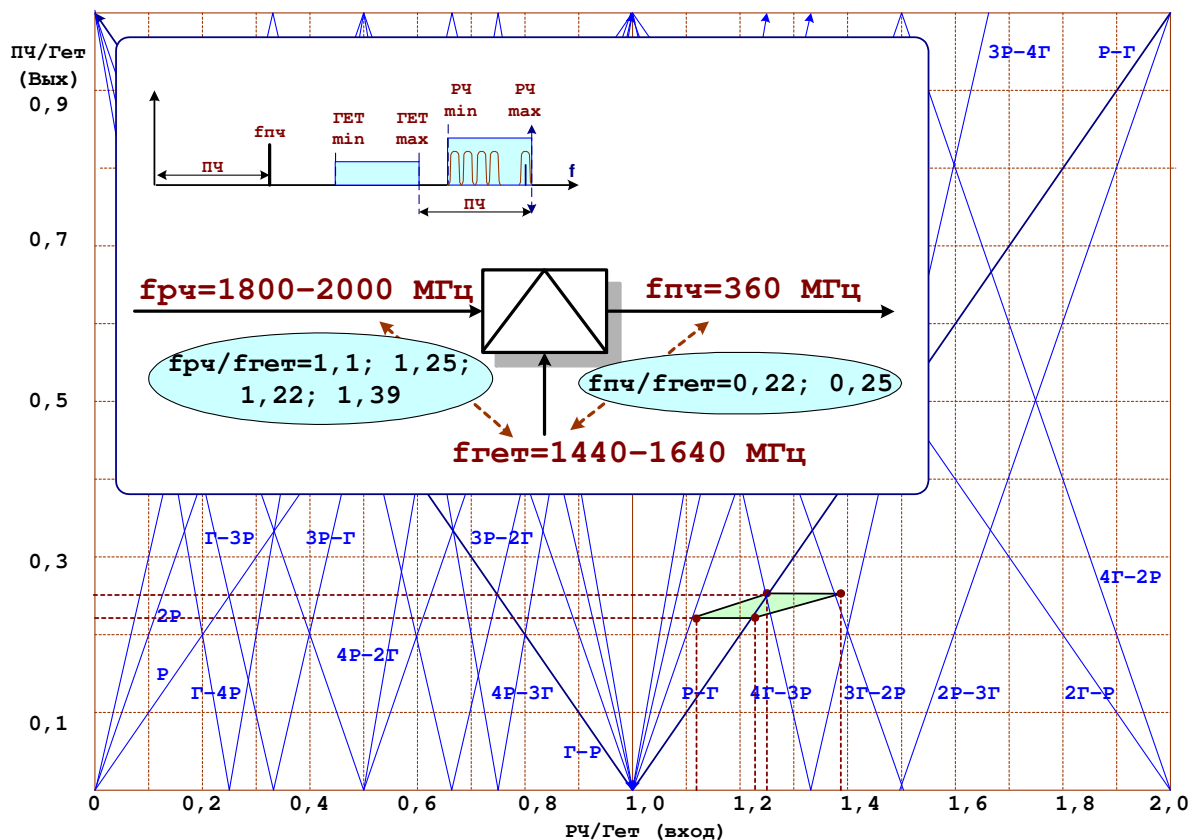


Рис. 5. Номограмма комбинационных составляющих при изменении частот гетеродина

Координаты вершин области на номограмме, в которую попадают возможные КС, могут быть найдены по формулам:

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

Искомая область на номограмме, называемая **апертурой сигнала** (*Bandwidth Aperture*), построена на рис. 5. 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	$f_{pч}$	$f_{гет}$	КС
1	1800	1440	$4f_{гет}-3f_{pч}$
2	1807	1627	$-2f_{гет} + 2f_{pч}$
3	1818	1638	$-2f_{гет} + 2f_{pч}$
4	1844	1473	$4f_{гет}-3f_{pч}$
5	1888	1506	$4f_{гет}-3f_{pч}$
6	1932	1539	$4f_{гет}-3f_{pч}$
7	1976	1572	$4f_{гет}-3f_{pч}$
8	1980	1440	$3f_{гет}-2f_{pч}$

Учет полосы выходного фильтра

Для более точного нахождения всех нежелательных КС, которые могут появиться на выходе преобразователя следует учесть **реальную полосу пропускания полосового фильтра** ПФ на выходе преобразователя (рис. 2), 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* построена на рис. 6. 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. 6 это комбинационные составляющие $2Гет-РЧ$, $2РЧ-2Гет$, $3РЧ-3Гет$, $3Гет-2РЧ$. Для верхней границы гетеродина $f_{гет}=ГЕТ_{min}$ может быть построен еще один прямоугольник *II*, ограниченный прямыми $PЧ_{min}/ГЕТ_{min}$, $PЧ_{max}/ГЕТ_{min}$, $PЧ_{min}/ГЕТ_{min}$, $PЧ_{max}/ГЕТ_{min}$.

Таким образом могут быть определены все опасные комбинационные составляющие, возникающие **при перестройке гетеродина** на выходе фильтра с **заданной конечной полосой**. Они соответствуют прямым, пересекающим апертуру, ограниченную построенными прямоугольниками и пунктирными линиями, соединяющими их вершины [3].

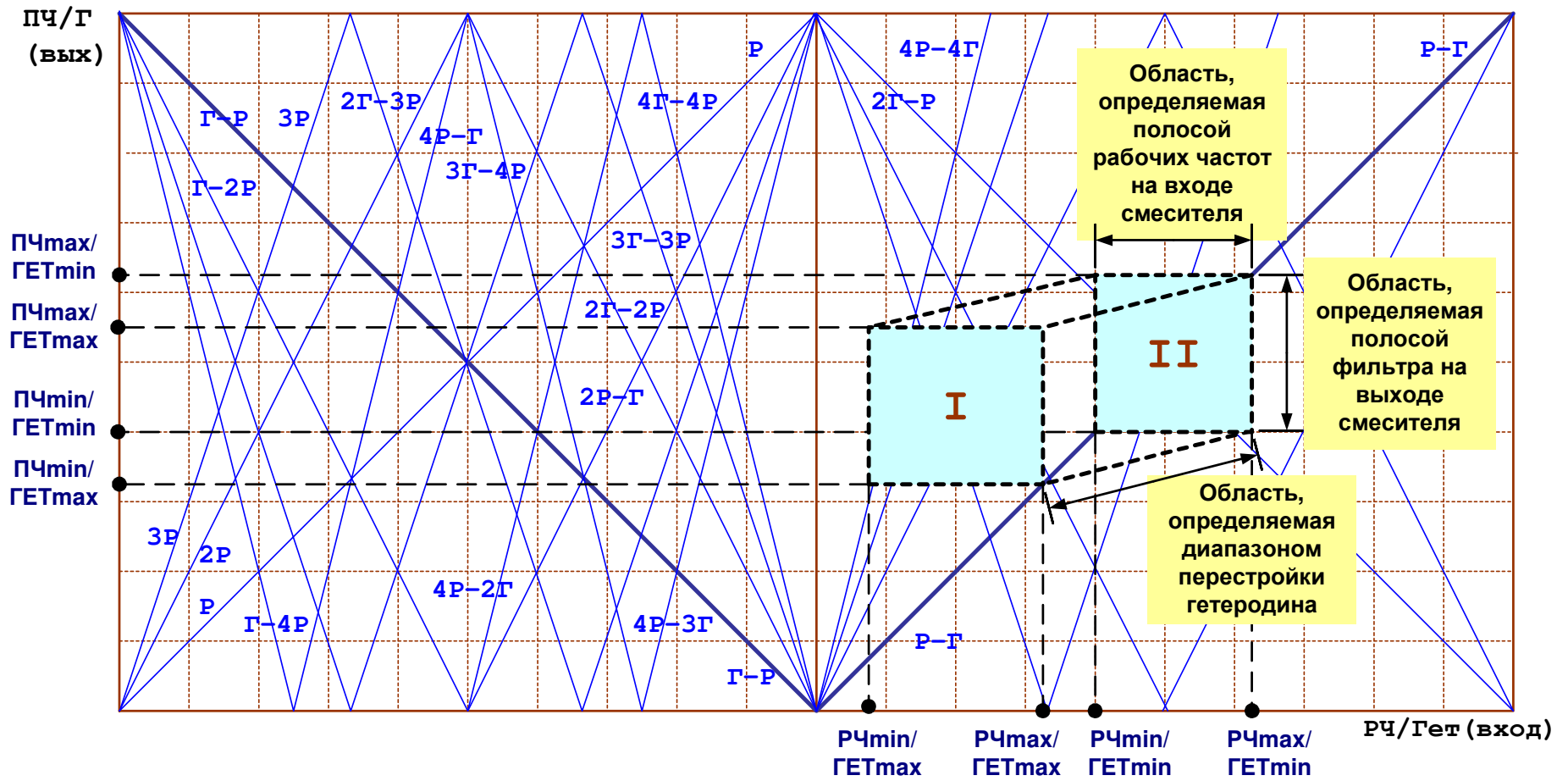


Рис. 6. Трехмерная апертура на номограмме преобразования сигнала вверх

Использование номограмм позволяет сделать первичное размещение ПЧ – выбор приемлемой области ее значений. Интерес представляют области на номограмме, наиболее свободные от КС, например области I, II, III на рис. 4.

При первичном выборе значения ПЧ следует помнить о том, что, выбор **высокого значения промежуточной частоты $f_{пч}$** облегчает подавление зеркального канала. Однако при выборе **низких значений промежуточной частоты** обеспечивается более **устойчивая работа** каскадов ПЧ и высокая **избирательность по соседнему каналу**. С учетом этого **противоречия** и происходит выбор значений промежуточных частот.

После первичного выбора области размещения можно уже определить точное значение $f_{пч}$. Например, при размещении апертуры в области I (рис. 4) целесообразно сместить апертуру как можно левее по линии основного преобразования, уменьшив значение $f_{пч}$ так, чтобы апертура почти соприкасалась с расположенными слева линиями наиболее опасных четных КС низких порядков. При этом будет обеспечено максимальное удаление от нечетных КС высоких порядков, расположенных справа от апертуры.

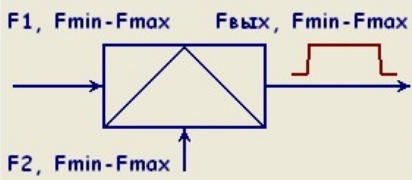
В этом случае можно считать выполненной задачу **оптимального выбора значения ПЧ**:

- Обеспечивается отсутствие на выходе преобразователя частот наиболее опасных КС низкого порядка;
- Достигнуто наличие наибольших из возможных КС высоких порядков.

Следует отметить, что **только использование на начальном этапе проектирования номограммы** – графического, полного визуального представления частотного плана - позволяет найти разумные решения по ЧП: области с минимальными КС, разумные значения частот ПЧ, частоты гетеродинов и т.д.

Дальнейшее, детальное проектирование, оптимизация ЧП, могут производиться уже с применением специализированных компьютерных программ. Данную процедуру проиллюстрируем на простом примере. Для тракта передачи с $f_{пч}=45$ МГц при преобразовании сигнала вверх по частоте в диапазон 935-960 МГц и шагом сетки частот 200 кГц, необходимо использовать $f_{гет}=890-915$ МГц. Окно расчета ЧП, полученного с помощью компьютерной программы поиска КС «Радиодизайн-КС» [3], выглядит, как показано на рис... При выборе такого частотного плана, как видно из рисунка, на выходе преобразователя присутствует КС с минимальным порядком, равным 21.

Калькулятор комбинационных составляющих



F1, Fmin-Fmax **Fвых, Fmin-Fmax**
F2, Fmin-Fmax

F1, МГц	F min	F max	шаг	n / m
44,9	44,9	45,1	0,1	40
F2, МГц	890	915	0,2	40

Диапазон выходных частот

F вых 935 960

Найдено комбинационных: 494
Минимальный порядок: 21

Поиск комбинационных составляющих

Номограмма

Выход

Fвых	F1	Гарм1	F2	Гарм2	Порядок
957,2	45,2	-38	891,6	3	41
957,8	45,2	-38	891,8	3	41
958,4	45,2	-38	892	3	41
959	45,2	-38	892,2	3	41
959,6	45,2	-38	892,4	3	41
935,3	44,9	-19	894,2	2	21
935,7	44,9	-19	894,4	2	21
936,1	44,9	-19	894,6	2	21
936,5	44,9	-19	894,8	2	21
936,9	44,9	-19	895	2	21
937,3	44,9	-19	895,2	2	21
937,7	44,9	-19	895,4	2	21
938,1	44,9	-19	895,6	2	21
938,5	44,9	-19	895,8	2	21

Координаты апертуры

1,0491803278688	0,0492896174863
1,0786516853932	0,0506741573033
1,0218579234972	0,0490710382513
1,0505617977528	0,0504494382022

Рис.7. Окно расчета ЧП, полученного с помощью компьютерной программы «Радиодизайн-КС»

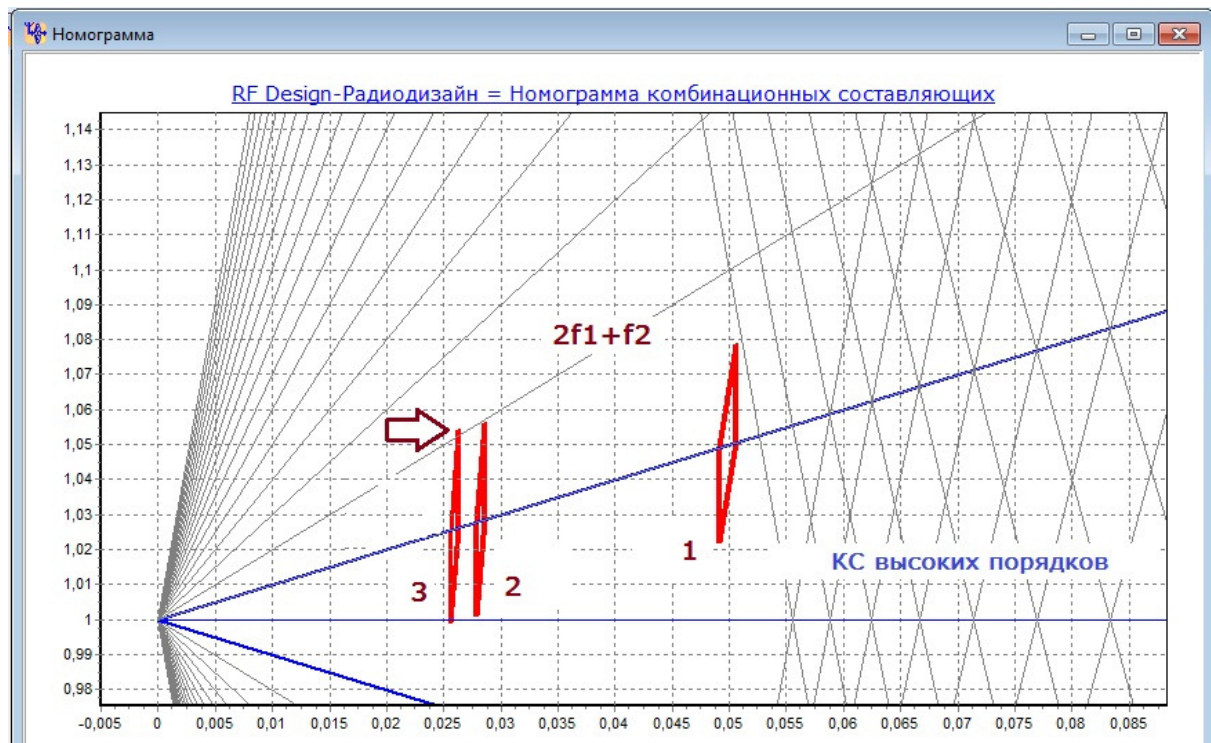


Рис.8. Процесс поиска наилучшего значения промежуточной частоты при преобразовании сигнала вверх по частоте

Данному ЧП соответствует, крайнее правое положение (1) апертуры на номограмме, приведенной на рис. 8. Анализируя положение апертуры на номограмме, можно заметить, что апертуру целесообразно сместить вправо. Это приведет к увеличению порядка минимальной КС в тракте. При $f_{пч}=26$ МГц ($f_{гет}=909-934$ МГц), минимальный порядок равен 35, среднее положение (2) апертуры на номограмме.

Если попробовать еще уменьшить значение $f_{пч}$, можно получить резкое ухудшение частотного плана. При $f_{пч}=25$ МГц ($f_{гет}=910-935$ МГц), минимальный порядок равен 3 ($2f_1+f_2$), чему соответствует крайнее левое (3) положение апертуры на номограмме. Это видно и по номограмме – в помеченной стрелкой области апертура задевает КС третьего порядка.

Таким образом, при выборе $f_{пч}=26$ МГц был получен **наилучший вариант ЧП**, для которого минимальный порядок КС равен 35.

Данные построения могут быть сделаны и без применения компьютерных программ путем построения апертуры на номограмме в укрупненном масштабе.

1. 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.
2. Манассевич В. Синтезаторы частот (Теория и проектирование): пер. с англ./ Под ред. А.С.Галина. М.: Связь, 1979. -384 с.
3. Материалы интернет-сайта «Радиодизайн»: www.rfdesign.ru.