

О СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ НАСТРОЙКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ

ON THE STABILITY OF THE TUNING FREQUENCY OF THE TELECOMMUNICATION RECEIVERS

В статье показано, что телекоммуникационные супергетеродинные приемники с многократным преобразованием частоты и несколькими разными гетеродинами имеют, в общем случае, худшую стабильность частоты по сравнению с приемниками, имеющими один общий опорный гетеродин. Эффект особенно заметен в инфрадинах, т. е. при промежуточных частотах, лежащих выше частоты сигнала. Сделан вывод о целесообразности применения одного опорного гетеродина.

Ключевые слова: супергетеродинные радиоприемники, инфрадины, преобразование частоты, стабильность частоты, гетеродины.

The article shows that telecommunication superheterodyne receiver with multiple frequency conversion and several different oscillators are, in general, inferior frequency stability as compared with receivers having a common reference oscillator. The effect is especially noticeable in infradyne receivers, i.e. at intermediate frequencies lying above the signal frequency. The appropriateness of a reference oscillator is concluded.

Keywords: superheterodyne radio receivers, infradyne, frequency conversion, frequency stability, heterodynes.

В настоящее время подавляющее большинство телекоммуникационных приёмников выполняют по супергетеродинной схеме с двойным или тройным преобразованием частоты. Промежуточные частоты (ПЧ, IF) выбираются, чаще всего, из соображений использования доступных и выпускаемых промышленностью фильтров ПЧ, имеющих заданные полосы пропускания, крутизну скатов амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) и подавление сигналов за пределами полосы. Главные трудности состоят в надлежащем подавлении зеркальных частот при каждом преобразовании частоты.

Так, например, типовой современный связной КВ-приёмник имеет три ПЧ: первую не ниже 50 МГц, вторую – около 9 МГц и третью порядка 0,5 МГц. Высокая первая ПЧ нужна для высокого подавления зеркального канала и для непрерывной перестройки в КВ-диапазоне 2...30 МГц, или даже 0,1...30 МГц при ограни-

ченном коэффициенте перекрытия по частоте первого гетеродина или синтезатора. Поскольку хороших фильтров с узкими полосами пропускания на частоты первой ПЧ в десятки мегагерц нет, вторым преобразователем переносят сигнал на вторую ПЧ, но она не может быть слишком низкой опять-таки из-за проблемы зеркального канала, который должен быть подавлен фильтрами первой ПЧ. Выбор второй ПЧ 9 МГц обусловлен наличием выпускаемых промышленностью кварцевых фильтров на эту частоту. Однако использовать целый набор кварцевых фильтров основной селекции с полосами пропускания от 0,1 до 6 кГц и к тому же обеспечивающих хорошую прямоугольность частотной характеристики и высокое затухание вне полосы было бы слишком сложно и дорого. Поэтому на второй ПЧ часто используют один фильтр с широкой полосой и преобразуют сигнал еще раз на третью ПЧ 450...500 кГц. На эти частоты имеется большой набор относительно дешевых электро-механических (ЭМФ) и пьезокерамических (ПФ)

¹ Кандидат технических наук, профессор НОУ ВПО «Российский новый университет».

фильтров с нужными параметрами, тем более, что значения ПЧ 455, 465 и 500 кГц стандартизованы. Только здесь эти фильтры и осуществляют основную селекцию сигнала. Не рассматривая другие недостатки столь сложного технического решения, такие, как обилие комбинационных частот, ложных настроек, интермодуляционные помехи и общее ухудшение динамического диапазона из-за множества узлов приёмника, расположенных до фильтров основной селекции, рассмотрим лишь проблему стабильности частоты настройки.

Для упрощения изложения и без потери общности на рис. 1 приведена типовая структурная схема супергетеродинного приёмника с двойным преобразованием частоты, пригодного для регистрации телеграфных (CW), однополосных (SSB) и цифровых (RTTY, PSK и т.д.) сигналов. Если первые два вида сигналов могут приниматься на слух, то для цифровых сигналов требуется демодулятор, работающий, как правило, также в диапазоне звуковых частот, преимущественно 500...1500 Гц.

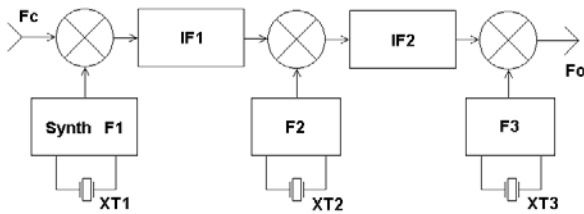


Рис. 1. Структурная схема супергетеродинного приёмника с двойным преобразованием частоты

Как видим, в самом приёмнике нет никаких демодуляторов, а происходит лишь перенос спектра принимаемого сигнала в область звуковых частот. Соотношения между частотами иллюстрирует рис. 2.

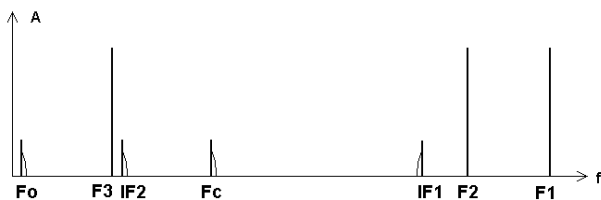


Рис. 2. Диаграмма частот в супергетеродине с двойным преобразованием

Такие приёмники удобны для доплеровских ионосферных исследований [1], поскольку имеются простые программы для ПК со звуковой картой, выполняющие анализ и регистрацию спектра сигнала, искаженного ионосферой.

Порядок преобразования частот в приёмнике таков:

$$\begin{aligned} F1 - Fc &= IF1, \\ F2 - IF1 &= IF2, \\ IF2 - F3 &= Fo. \end{aligned}$$

В этом случае спектр выходного сигнала на частоте Fo не инвертирован, а прием идет в верхней боковой полосе сигнала (USB). Боковая полоса обозначена на рис. 2 тонкой изогнутой линией рядом с несущей частотой сигнала. Смена боковых полос приема обычно достигается перестройкой (переключением кварцев) третьего гетеродина на частоту выше $IF2$, тогда меняются знаки в левой части третьего уравнения. Выражая Fo и исключая промежуточные частоты, имеем:

$$Fo = Fc - (F1 - F2 + F3) = Fc - Fh,$$

где Fh – частота некоторого виртуального гетеродина, представляющая собой алгебраическую сумму частот реальных гетеродинов, взятых со знаками, соответствующими схеме преобразования частот.

Собственно говоря, этот гетеродин не обязательно должен быть «виртуальным», и вполне возможно конструирование приёмников с одним преобразованием частоты и единственным гетеродином, работающим на частоте, отличающейся на Fo от частоты сигнала. Такие приёмники называются гетеродинными (прямого преобразования) и теперь широко используются в любительской связи, пейджинге и сотовой телефонии.

Но вернемся к супергетеродину рис. 1 и оценим стабильность его выходной частоты Fo , считая входную частоту сигнала Fc абсолютно стабильной. Ясно, что нестабильность Fo определяется уходами частоты гетеродинов $\delta F1... \delta F3$. Теория ошибок учит, что абсолютные погрешности величин при их сложении и вычитании всегда складываются, поэтому

$$\delta Fo = \delta F1 + \delta F2 + \delta F3.$$

Этот факт приводит к очень большой абсолютной нестабильности выходной частоты δFo , даже если гетеродины $F1$ и $F2$ хорошего качества, но работают они на высоких частотах.

Качество гетеродина среди других параметров характеризуют его относительной нестабильностью $\epsilon = \delta F1/F1$. Для LC генераторов она обычно бывает порядка 10^{-4} , для кварцевых генераторов – 10^{-6} , для термокомпенсированных или (лучше) термостатированных кварцевых генераторов – $10^{-7}...10^{-8}$. Для доплеровских исследований в КВ-диапазоне необходима абсолютная нестабильность выходной частоты приёмника не более 0,1 Гц. Учитывая высокую

частоту гетеродинов **F1** и **F2** (порядка 50 МГц), легко найти их требуемую относительную нестабильность $\epsilon = 10^{-9}$.

Как видим, ни один из перечисленных генераторов этому требованию не удовлетворяет – требуется применение эталонов частоты, что достаточно сложно и дорого. В то же время использование гетеродинного приёмника с единственным генератором на частоту, скажем, 10 МГц, проблему решает, если использовать термостабильный кварцевый генератор с $\epsilon = 10^{-8}$.

В последние годы, с разработкой большого ассортимента цифровых микросхем и микропроцессоров, стало возможным строить синтезаторы и формирователи нужной сетки частот на основе единственного опорного кварцевого генератора высокой стабильности. Схема супергетеродинного приёмника с двойным преобразованием, гетеродинные частоты которого формируются таким способом, показана на рис. 3.

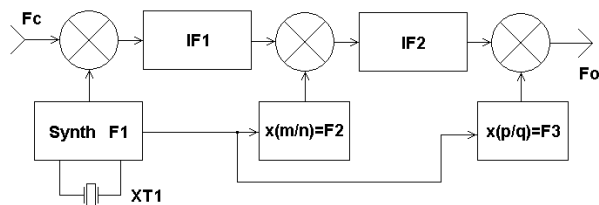


Рис. 3. Структурная схема супергетеродина с синтезом гетеродинных частот

Относительно сложным в нем оказывается лишь синтезатор частоты **F1**, обеспечивающий перестройку приёмника с необходимым шагом, обычно 10 Гц. Впрочем, он необходим и в ранее рассмотренном приёмнике по рис. 1. Синтезаторы частот **F2** и **F3** (рис. 3) должны генерировать фиксированные частоты путем умножения и деления частоты **F1** на целочисленные коэффициенты **m**, **n** для **F2** и **p**, **q** для **F3**, поэтому они довольно просты.

Легко видеть, что при умножении и делении частоты ее относительная нестабильность ϵ сохраняется, тогда как абсолютные уходы δF оказываются пропорциональны самой генерируе-

мой частоте **F**. Частота виртуального гетеродина, как и прежде, близка к частоте сигнала и равна:

$$F_h = (F_1 - F_2 + F_3) = F_1(1 - m/n + p/q),$$

имея фиксированную относительную нестабильность, такую же, как у единственного опорного генератора, например $\epsilon = 10^{-8}$.

Большим достоинством описанного приёмника (рис. 3) является уменьшение абсолютной нестабильности с понижением частоты приема **Fc** и, соответственно, **Fh**. Например, при доплеровских исследованиях на СВ (примерно 1 МГц) разрешение можно повысить до 0,01 Гц, а на ДВ (100 кГц) – до 0,001 Гц, что практически невозможно в приёмнике с независимыми гетеродинами (рис. 1).

Идея синхронизации всех гетеродинов радиотехнических и электронных устройств от единого опорного источника имеет гораздо более широкую область применения, чем описано здесь, и обладает многими достоинствами [2], которые были ясны еще четверть века назад. К сожалению, внедрение этой идеи в жизнь часто наталкивается на трудности отнюдь не технического характера. Простой пример: нужная для научных исследований комбинация радиоприемник – компьютер в современном исполнении имеет никудышнюю электромагнитную совместимость. Обилие независимых кварцевых генераторов в компьютере приводит к массе комбинационных помех и пораженных точек в диапазоне принимаемых частот. Использование одного опорного генератора для всех узлов компьютера радикально снизило бы количество этих помех.

Литература

1. Поляков В.Т. Доплеровские ионосферные наблюдения [Электронный ресурс]: CQ-QRP 2013 № 43. – URL: <http://qrp.ru/files/literature/category/15-cqqrp?download=290%3Acq-qrp-43> (дата обращения 03.05.2014).
2. Поляков В. Упорядочение эфира и когерентная радиосвязь. Радиоежегодник-89 / сост. А.В. Гороховский. – М.: ДОСААФ, 1989. – С. 9–17.