

УДК 621.396.4

Д.П. Пашков

Національний університет оборони України, Київ

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Важным направлением повышения качества приема радиосигналов в приемных устройствах является изучение частотно-избирательных свойств. Кроме этого на прием радиосигналов влияют шумы и помехи возникающие в радиоканале. В статье предложена математическая модель частотно-избирательные свойства приемных устройств, что позволит повысить качество функционирования радиосистемы в целом.

**Ключевые слова:** радиоприемные устройства, помеха, радиотехническая система.

### Введение

Развитие и жизнь современного общества немислимы без широкого использования разнообразных средств и систем передачи сообщения. Основным элементом радиоканала является приемные устройства, в которых осуществляется прием и восстановление сигналов. При этом на вход радиоприемного устройства (РПУ) поступает большое количество электромагнитных колебаний, из числа которых необходимо выделить полезный сигнал. Однако одновременное функционирование большого количества радиотехнических систем (РТС) приводит к сложной электромагнитной обстановке.

**Анализ литературы.** Использование на космических аппаратах большого числа различных по назначению и структуре РТС определяет разнообразие применяемых в них РПУ [1]. Однако, несмотря на это разнообразие, все РПУ связывает общность построения структурной схемы, что позволяет построить его обобщенную модель [2,3]. При этом необходимо учитывать содержание задачи, для решения которой составляется данная модель. Исследования вопроса определения влияния на помехозащищенность РПУ выдвигает требование описание путей проникновения помех в приемный тракт [4].

Благодаря существенным преимуществам в настоящее время повсеместное применение нашли супергетеродинные приемники с одной, двумя и более степенями преобразования частоты. Специфика задач, решаемых РТС, часто определяет необходимость использования в одном из преобразователей частоты

следующего гетеродина, что существенно не изменяет рассматриваемую модель приемника, а приведет лишь к некоторому сужению полосы пропускания приемного тракта следующего за преобразователем частоты со следящим гетеродином [3].

**Целью статьи** является разработка математической модели радиоприемных устройств и изучение частотно-избирательных свойств приемной части.

### Разработка математической модели

Рассмотрим сначала простейший супергетеродинный РПУ с степенью преобразования частоты, блок-схема которого представлена на рис. 1 [3]: ВЦ – входная цепь и УВЧ – усилитель высокой частоты являются преселектором, который можно с достаточным приближением характеризовать колокольный амплитудно-частотной характеристикой [5]

$$H(\omega) = \frac{H_0}{\sqrt{1 + \alpha^2(\omega - \omega_0)^2}}, \quad \alpha = 1/\tilde{P}_n, \quad (1)$$

где  $H_0$  – коэффициент передачи преселектора на частоте настройки;  $\tilde{P}_n$  – полоса пропускания преселектора.

СМ – смеситель и Г – гетеродин составляют преобразователь частоты, который можно характеризовать коэффициентами передачи по всем учитываемым каналам приема  $K_{m,n}$  на частотах [5]:

$$\omega_{m,n} = \frac{m\omega_a \pm \omega_{r\pm}}{n}, \quad (2)$$

где  $\omega_r$  – частота настройки гетеродина;  $\omega_{r\pm}$  – промежуточная частота;  $m$  и  $n$  – номера гармоник гетеродина и сигнала соответственно.

УПЧ – усилитель промежуточной частоты является селективирующим устройством и характеризуется своей частотной характеристикой  $K(\omega)$ . Так как в качестве УПЧ применяется несколько каскадов резонансных усилителей с двумя и более контурами в каждом, то его частотная характеристика достаточно хорошо аппроксимируется П-образной кривой

$$K(\omega) = \begin{cases} k_0, & \omega_{\mp} - \frac{\dot{I} \dot{\epsilon}}{2} \leq \omega \leq \omega_{\mp} + \frac{\dot{I} \dot{\epsilon}}{2}; \\ 0, & \omega < \omega_{\mp} - \frac{\dot{I} \dot{\epsilon}}{2}; \quad \omega > \omega_{\mp} + \frac{\dot{I} \dot{\epsilon}}{2}. \end{cases} \quad (3)$$

где  $k_0$  – коэффициент передачи УПЧ на частоте настройки;  $\Pi_k$  – полоса пропускания УПЧ.

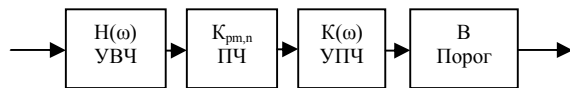


Рис. 1. Блок-схема линейной части РПУ

Оконечное устройство, которое включает всю низкочастотную часть включая детектор, можно характеризовать некоторым порогом В, который определяет амплитуду помехи, которой достаточно для ее прохождения в систему обработки сигнала в РПУ РТС. Зачастую он физически реализован в виде ограничителя. Это может быть порог фазового детектора при фазовой модуляции. В качестве порога может выбираться уровень собственных шумов РПУ и тогда он будет равняться чувствительности при единичном уровне различимости [6].

Рассмотренный приемник можно характеризовать частотно-избирательной характеристикой в виде изменяющегося по частоте порога  $S(\omega)$ , который определяет наименьший уровень помехи на входе приемника, начиная с которого мощность помехи проходит на его выход и приводит к ухудшению принимаемой информации.

Вид функции  $S(\omega)$  определяется избирательными цепями приемника и для рассматриваемой модели может иметь вид, представленный на рис. 2.

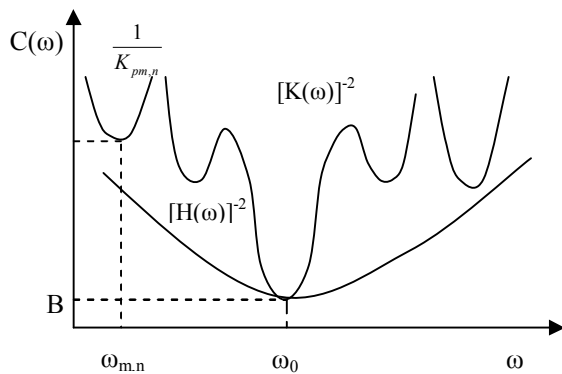


Рис. 2. Частотно-избирательная характеристика РПУ РТС

Конфигурация  $S(\omega)$  определяется следующими факторами:

1. Основная ветвь в районе частоты настройки  $\omega_n = \omega_0$  определяется частотной характеристикой УПЧ и является каналом выделения полезного сигнала (область А). Ясно, что это область частот наиболее уязвима для помех.

2. Пологие склоны основного канала избирательной характеристики (область Б) обусловлены нелинейными явлениями во входных цепях приемника. Не попадая в полосу основного канала приема, мешающие сигналы, лежащие в районе прозрачности преселектора, могут оказывать вредное влияние на прием полезного сигнала. Учесть нелинейные явления математической записью частотно-избирательной характеристики  $S(\omega)$  очень трудно, так как они зависят от уровня помехи и сигнала на входе РПУ и соотношения между ними. Следовательно,  $S(\omega)$  будет зависеть не только от параметров приемника, но и от параметров сигнала и помехи. Однако, представляется возможность, вследствие того, что помехи от нелинейных явлений образуются только в преселекторе, а нелинейными явлениями в остальном тракте приемника можно пренебречь, перенести эти помехи на вход приемника, а преселектор считать линейной системой.

3. Паразитные каналы приема (область В) образуются в смесителе за счет комбинационных частот сигнала и гетеродина частоты этих каналов, определяются формулой (2). Наличие паразитных каналов приема является основным принципиальным недостатком супергетеродинных РПУ. Физическая сущность этих каналов приема заключается в существовании в выходном токе преобразователя частоты комбинационных составляющих, обусловленных нелинейными свойствами смесительного элемента.

Подробный анализ причин возникновения паразитных каналов приема, мер борьбы с ними и способов описания приведен в работе [5,6]. Там же построена амплитудно-частотная характеристика преобразователей частоты с учетом паразитных каналов приема до десятого порядка включительно  $(m+n) \leq 10$ . Каналы более высоких порядков существенного влияния на прием не оказывают.

Анализ источников литературы показал [7, 8], что частоты паразитных каналов приема попарно и симметрично расположены относительно частоты гетеродина и ее гармоник за исключением частоты канала прямого прохождения  $\omega_{пр}$ . С ростом номера канала его коэффициент передачи уменьшается в  $\epsilon \sim (m+n)^2$  раз [8]. Конфигурация этих каналов определяется избирательной характеристикой УПЧ выражением (3).

В результате нелинейных явлений во входных цепях РПУ паразитные каналы приема также несколько расширяются. Однако, вследствие того, что для возникновения нелинейной помехи сколь ни будь заметного уровня в паразитном канале требуется очень высокий уровень помех, который практически быть не может. Этим расширением можно пренебречь.

В результате проведенных рассуждений частотно-избирательная характеристика по мощности приемника можно записать в следующем виде

$$\tilde{N}(\omega) = \hat{A} \left[ \sum_{m=0}^M \sum_{n=1}^N H^2(\omega - \omega_{m,n}) K_{pm,n} K^2(\omega) \right]^{-1}. \quad (4)$$

Если учесть, что  $K(\omega)$  описывается выражением (3), то функцию  $C(\omega)$  можно представить в следующем виде

$$\tilde{N}(\omega) = \begin{cases} \frac{\hat{A}}{K_{pmn} H^2(f_{m,n}) k_0}, & \text{їдє } f_{m,n} - \frac{\tilde{\epsilon}}{2} \leq \omega \leq f_{m,n} + \frac{\tilde{\epsilon}}{2}; \\ \infty, & \text{їдє } \omega > \omega_{m,n} + \frac{\tilde{\epsilon}}{2}; \omega < \omega_{m,n} - \frac{\tilde{\epsilon}}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

График функции выражения (5) представлен на рис. 3.

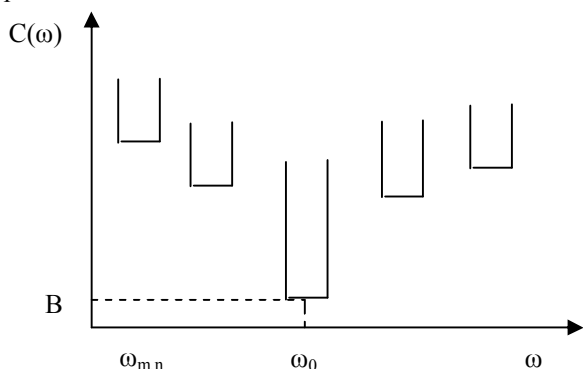


Рис. 3. Ступенчатая аппроксимация частотно-избирательной характеристики РПУ РТС

Превышение уровня помехи кривой  $C(\omega)$  приведет к ее прохождению на вход ПРУ РТС.

### Выводы

Наиболее опасными с точки зрения обеспечения помехозащищенности РПУ РТС является высокочастотные узкополосные помехи от соседних РТС способные дать при высоком качестве избирательных систем РПУ создать значительный уровень помех на его выходе, а следовательно, снизить его чувствительность, а в конечном итоге работоспособность всей РТС гораздо в большей степени, чем помехи шумового характера.

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧАСТОТНО-ВИБІРКОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РАДІОПРИМАЛЬНИХ ПРИБОРІВ

Д.П. Пашков

Важливим напрямком підвищення якості прийому радіосигналів в приймальних пристроях є вивчення частотно-вибіркових властивостей. Крім того, на прийом радіосигналів впливає шуми та завади які виникають в радіоканалі. В даній статті запропонована математична модель частотно-вибіркових властивостей приймальних пристроїв, що дозволяє підвищити якість функціонування радіосистем в цілому.

**Ключові слова:** радіоприймальні пристрої, завада, радіотехнічна система

### MATHEMATICAL MODEL OF FREQUENCY-SELECTIVE PROPERTIES OF RADIO RECEIVERS

D.P. Pashkov

The frequency selective properties is an important direction to improve the quality of reception of radio signals in the receiver. In addition to the reception of radio signals affect noise and interference encountered in the channel. A mathematical model of frequency-selective properties of receivers suggested in this article. Its will improve the quality of functioning of the radio system as a whole.

**Keywords:** radio receivers, interference, radio system.

Огибающую энергетического спектра узкополосных помех от соседних станций независимо от вида модуляции, можно с достаточной степени точности представить гауссовой кривой. При необходимости огибающую энергетического спектра помехи можно аппроксимировать колокольной кривой вида.

При расчете энергетических показателей качества ПРУ, последней наиболее полно описывается обобщенной частотно-избирательной характеристикой, записанной через параметры избирательных устройств и коэффициента передачи, входящих в состав приемника каскадов и значение уровня порога, в качестве которого можно принять существующий порог стоящий на выходе РПУ либо уровень собственных шумов входных каскадов.

### Список литературы

1. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы / В.А. Чердынцев. – Минск.: Выш. школа, 1988. – 369 с.
2. Буга Н.Н. Радиоприемные устройства / Н.Н. Буга, А.И. Фалько, Н.И. Чистяков. – М.: Радио и связь, 1986. – 320 с.
3. Апорович А.Ф. Проектирование радиотехнических систем / А.Ф. Апорович. – Мн.: Выш. шк., 1988. – 221 с.
4. Комиссаров Ю.А. Помехоустойчивость и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Ю.А. Комиссаров, С.С. Родионов. – К.: Техника, 1978. – 208 с.
5. Князев А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А.Д. Князев. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
6. Кравченко В.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В.И. Кравченко, Е.А. Болотов, Н.И. Летунова. – М.: Радио и связь, 1987. – 253 с.
7. Радиотехника. Энциклопедия / Под ред. Ю.Л. Мазора, Е.А. Мачусского, В.И. Правды – М.: Додэка-XXI, 2009. – 944 с.
8. Вдовин И.В. Проблемы подавления нежелательных колебаний в мощных широкополосных передатчиках СВЧ и перспективы повышения избирательности их антенных трактов / И.В. Вдовин, А.Л. Гутман // Радиотехника. – 1996. – № 2. – С. 90-96.

Поступила в редколлегию 30.11.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ГП «Центральный НИИ навигации и управления», Киев.