Оценка потенциальных значений основных технических параметров контрольного ответчика

1. Анализ основных технических характеристик контрольного ответчика

Технические характеристики и параметры дают возможность оценить количественно и качественно электрические свойства и конструктивные особенности устройства и, в совокупности, характеризуют их соответствие назначению. Необходимо отметить, что ряд характеристик предъявляются к системам вторичной радиолокации не только с точки зрения технической целесообразности, но и с учетом требований, устанавливаемых конвенцией о международной гражданской авиации.

Основные тактико-технические характеристики контрольного ответчика СОМ-64К приведены в таблице 1.

Таблица 1 Тактико-технические характеристики контрольного ответчика СОМ-64К

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры | Режим работы РСП, УВД, УВД-М | Режим работы RBS |
| Частота приемника | 837,5 и 1030 МГц | 1030 МГц |
| Промежуточная частота приемника | 24,4 МГц | 24,4 МГц |
| Чувствительность приемника | Не менее 65 дБ/Вт на частоте 837,5 МГц. Не менее 85 дБ/Вт на частоте 1030 МГц | Не менее 85 дБ/Вт |
| Полоса пропускания приемника | 5 МГц | 5 МГц |
| Динамический диапазонприемника | 30 дБ/Вт | 50 дБ/Вт |
| Подавление боковых лепестков по запросу | Трехимпульсное  | Трехимпульсное |
| Код запроса номера | 9,4 мКс | 8 и 17 мКс |
| Код запроса высоты | 14 мКс | 21 мкс |
| Частота передатчика в режимах РСП и УВД | 730; 740; 750 МГц | 1090 МГц |
| Стабильность частотыпередатчика | ±1,8 МГц | ±3 МГц |
| Частота передатчика в режиме УВД-М | 1090 МГц |  |
| Стабильность частоты передатчика | ±3,0 Мгц |  |
| Мощность передатчика | 0,2 ÷ 1 кВт | 0,25÷1 кВт |
| Длительность импульса передатчика  | 0,6 ÷ 1,0 мКс | 0,35÷0,55 мКс |
| Координатные коды ответа | 11 и 14 мКс |  |
| Координатный код индивидуального опознавания | 6 мКс |  |
| Объем передаваемой информации в режимах УВД и УВД-М:номеравысотызапас топлива | 100000до 15 км (градация 10м)10 разовых сообщений | 4096до 15 км (градация 31м) |
| Задержка ответных сигналов на время, соответствующее дальностям | 30, 50, 100 и 150 км | 30, 50, 100 и 150 км |

Питание от сети 220 В 420 Гц и +27 В

Мощность потребления от 220 В 420 Гц -250 Вт и от сети +27 В -50 Вт

Анализ приведенных в таблице 1 основных тактико-технических характеристики контрольного ответчика СОМ-64К, показывает, что каждый из приведенных параметров реализуется с помощью конкретных устройств, входящих в систему в целом. Например, за реализацию таких параметров как: чувствительность, промежуточная частота, полоса пропускания, динамический диапазон и некоторых других параметров отвечает радиоприемное устройство контрольного ответчика.

К основным характеристикам, по которым формулируются технические требования к приемникам, относятся чувствительность, избирательность, помехозащищенность, уровень сигнала на выходе, динамический диапазон, диапазон принимаемых частот, стабильность характеристик и потребляемой энергии.

Чувствительность характеризует способность приемника выполнять свои функции при слабых входных сигналах. Количественно чувствительность оценивается минимальным уровнем сигнала, наведенным в антенне, при котором обеспечивается заданное качество обработки информации в приемнике. Чем меньше уровень сигнала на входе, тем выше чувствительность приемника.

В диапазонах длинных, средних, коротких и ультракоротких волн чувствительность обычно определяется минимальной ЭДС сигнала в антенне ЕС. МИН , а приборы для измерения чувствительности градуируются в единицах напряжения. При длинах волн λ< 50 см чувствительность измеряется в единицах мощности и обозначается РС. МИН. Линейные тракты современных супергетеродинных радиолокационных приемников обеспечивают чувствительность

РС. МИН = 10-14 ÷ 10-19 Вт

Критерий, отвечающий требованиям качества обработки сигнала всей приемной системой, зависит от вида сигналов и помех, воздействующих на приемник. При отсутствии специально организованных помех с конкурирующей в приемных устройствах чувствительность ограничивается уровнем внешних и внутренних помех. Внутренние помехи представляют собой флюктуационные шумы усилительных электронных приборов и радиоэлементов электрических цепей, входящих в состав приемника. Внешние помехи делятся на естественные (электромагнитные излучения атмосферы, Земли, Солнца, космические лучи), индустриальные (создаются промышленными установками) и помехи за счет излучений других работающих радиоэлектронных средств.

Указанные источники помех и шумов существенно ограничивают предельную чувствительность приемника, под которой понимается минимальная мощность сигнала на входе приемника при отношении сигнал/шум на выходе его линейной части , равен единице.

Избирательность – способность приемника выделять полезный сигнал из всех сигналов, возбужденных в антенне от посторонних источников помех. Все способы повышения избирательности базируются на использовании различий между характеристиками полезного сигнала и помех. Выявленные различия обеспечивают подавление (компенсацию) помех, в случае отсутствия различий подавление помех невозможно.

Важной функцией приемника является его частотная избирательность, которая зависит от частотных свойств антенны и способа обработки сигнала в приемнике.

При количественной оценке частотной избирательности понимают величину коэффициента ослабления помех, принимаемых по соседнему каналу. Для этого измеряют характеристику избирательности приемника, выражающую нормированную зависимость чувствительности приемника от частоты входного сигнала. По мере увеличения расстройки приемника чувствительность уменьшается. Если полоса пропускания приемника выбрана так, что обеспечивает прохождение всего спектра сигнала или наиболее интенсивной его части, то для лучшей избирательности желательно иметь боковые ветви характеристики возможно более крутыми. Коэффициент ослабления по соседнему каналу приема σП определяется из графика избирательности при величине расстройки относительно частоты ƒ0 на величину полосы пропускания П:

σП = ЕС (ƒ0±П)/ ЕС (ƒ0)

Идеальная с точки зрения избирательности была бы характеристика, имеющая прямоугольную форму. Поэтому избирательность иногда оценивается коэффициентом прямоугольности:

k П = Пσ / П

где Пσ - ширина характеристики на заданном уровне σ (обычно σ =10; 100; 1000).

Из последнего выражения следует, что идеальная прямоугольная характеристика имеет коэффициент прямоугольности равный k П =1, что соответствует наивысшей степени частотной избирательности приемника.

В супергетеродинных приемниках из-за наличия преобразователя частоты (смесителя) появляются дополнительные каналы приема. Частоты настройки этих каналов определяются частотой помехи ƒ1 , комбинация гармоник которой с гармониками гетеродина дает промежуточную частоту ƒП = m ƒГ +n ƒ1 .полоса частот, соответствующая настройке приемника ƒ0 , называется основным каналом приема, а полосы ухудшения избирательности на определенных частотах ƒ1 – побочными или паразитными каналами приема. По дополнительным каналам приема внутренние шумы и помехи различного происхождения могут проходить на оконечное устройство. Механизм образования дополнительных каналов приема связан с образованием промежуточной частоты как вычитание частот кратных частоте гетеродина и частот воздействующих на вход приемника. Паразитный канал, симметричный сигнальному, называется симметричным или зеркальным.

Кроме частотной избирательности, для борьбы с помехами используются также пространственная избирательность, использующая пространственные различия в приходе полезного сигнала и помеховых колебаний.

Важной функцией приемника является также качество воспроизведения принятого сигнала, которое зависит от степени искажений, вносимых каскадами приемника. При этом существуют следующие виды искажений: амплитудно-частотные, фазочастотные и нелинейные. Первый вид искажений вызывается неравномерностью амплитудно-частотной характеристики приемника в полосе частот принимаемого сигнала. Второй вид искажений обусловлен нелинейностью фазочастотной характеристики и разбросом времени запаздывания различных спектральных составляющих сигнала при его прохождении через приемный тракт. Наличие нелинейных искажений сопровождается не только искажением формы сигнала, но и неодинаковым усилением различных уровней входного сигнала. Диапазон уровней входного сигнала, при котором обеспечивается необходимое качество приема сигналов, называется динамическим диапазоном приемника. Количественно динамический диапазон ДПР определяется как отношение уровня максимально допустимого сигнала (РВХ.МАКС) на входе к минимальному (Р МИН):

ДПР = РВХ.МАКС / Р МИН

Так как реальные сигналы зачастую обладают большим динамическим диапазоном, чем приемник, то в состав его включают дополнительные устройства и применяют специальные методы формирования амплитудных характеристик, обеспечивающие расширение и согласование его динамического диапазона с динамическим диапазоном оконечных устройств (регулировки усиления, усилители с логарифмическими амплитудными характеристиками и т.д.).

Динамический диапазон приемника в значительной степени определяет его помехозащищенность, так как большинство существующих методов помехозащиты являются наиболее эффективными при условии, когда уровень помехи не превышает динамического диапазона приемника.

Диапазон принимаемых частот – это совокупность частот, на которые может настраиваться приемник, сохраняя в заданных пределах свои основные технические параметры (чувствительность, избирательность и т.д.).

Частотная стабильность – это способность приемника сохранять основные технические параметры при настройке на частоту принимаемого сигнала. В реальных условиях качество приема может нарушаться вследствие нестабильности частоты передатчика и расстройки отдельных элементов приемника. Для осуществления нормального приема применяют меры, обеспечивающие регулировку частоты генераторов, входящих в приемо-передающую систему, и стабилизацию настройки резонансных элементов приемника при воздействии различных дестабилизирующих факторов (температуры, влажности, давления, вибрации и т.д.). Играет большую роль также старение радиоэлементов усилительных трактов приемника и отклонение режимов работы источников питания от номинальных.

Для систем вторичной радиолокации важным является учет влияния боковых лепестков диаграммы направленности антенны. Из-за наличия боковых лепестков антенны запросчика возможен ложный запуск ответчика, особенно на малых дальностях, что приводит к перегрузке аппаратуры ответчика. Подавление приема ответного сигнала по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны запросчика осуществляется обычно с помощью введения дополнительного приемного канала со слабонаправленной антенной, диаграмма направленности которой охватывает боковые лепестки основной антенны ответчика. Параметры дополнительного канала приема подбираются таким образом, чтобы сигналы на его выходе превышали по амплитуде сигналы на выходе основного канала, принятые по боковым лепесткам, но были бы меньше сигналов, принятых по главному лепестку. Выделение и отбраковка ложных запросных сигналов осуществляется с помощью схемы вычитания.

2. Особенности построения структурных схем приемной части контрольного ответчика

При выборе и обосновании структурной схемы радиоприемного устройства необходимо стремиться к более полному удовлетворению требований технического задания на весь контрольный ответчик в целом . Вид структурной схемы приемного устройства в основном определяется типом схемы радиоприемника.

Для радиолокационной техники характерным являются три основных схемы радиоприемников: детекторная, прямого усиления и супергетеродинная.

Детекторные приемники отличаются простотой схемы и конструкции, малыми габаритами и весом, небольшим потреблением электроэнергии. Однако низкая чувствительность (порядка 10-8 Вт) и невысокая избирательность позволяют применять такие приемники только для приема сравнительно мощных сигналов. Приемники прямого усиления благодаря наличию усилителя высокой частоты обладают лучшими чувствительностью и избирательностью. При фиксированной частоте настройки конструкция преемника достаточно проста, а основные технические показатели приемника приближаются к показателям супергетеродина. Приемник прямого усиления не имеет собственного излучения и побочных (паразитных) каналов приема.

Наиболее совершенным является супергетеродинный приемник. Он позволяет получить высокую избирательность и полосу пропускания практически любой необходимой величины: как широкую (десятки МГц), так и весьма узкую (сотни Гц). В зависимости от полосы пропускания в приемнике может быть реализована чувствительность 10-14 ÷ 10-20 Вт.

Если в супергетеродинном приемнике необходимо иметь узкую полосу пропускания и одновременно высокую избирательность по зеркальному каналу, применяют многократное преобразование частоты. Необходимость в многократном преобразовании частоты выявляется после того, когда станет ясно, что при выбранной с точки зрения обеспечения полосы пропускания промежуточной частоте требуемая избирательность по зеркальному каналу оказывается трудно обеспечиваемой. Многократное преобразование частоты может применяться также для облегчения корреляционно-фильтровой обработки сигнала.

Основу структурной схемы радиоприемного устройства составляет сигнальный тракт. Сигнальный тракт может быть одноканальным и многоканальным. Приемное устройство оказывается многоканальным в случаях определения угловых координат по методу мгновенной равносигнальной зоны и парциальных каналов, приема сигналов на разнесенные антенны (в моноимпульсных системах радиолокации, при реализации апертурной обработки, параллельном обзоре пространства и измерении координат многих целей и т.д.).

При проектировании и конструктивном оформлении приемника выделяют три основных блока сигнального тракта: блок высокой частоты, блок промежуточной частоты и блок низкой частоты. В свою очередь блок высокой частоты (БВЧ) включает в себя входную цепь, усилитель высокой частоты (УВЧ) и преобразователь частоты. Иногда по конструктивным соображениям к этому блоку относят также и предварительный усилитель промежуточной частоты (ПУПЧ). Блок высокой частоты обеспечивает требуемую чувствительность приемника и его избирательность по побочным каналам приема (прежде всего по зеркальному).

В состав блока промежуточной частоты входит усилитель промежуточной частоты (УПЧ) (главный усилитель), обеспечивающий основное усиление и заданную избирательность по соседнему каналу приема. В случае применения многократного преобразования частоты блок промежуточной частоты может содержать несколько усилителей, работающих на разных промежуточных частотах.

Блок низкой частоты состоит из детектора и усилителя низкой частоты (УНЧ). В зависимости от числа устройств последетекторной обработки сигналов низкочастотный блок приемника может иметь различное число каналов, включать в себя устройство интегрирования на низкой частоте, а также пороговое устройство. Элементы структурной схемы сигнального тракта по своему предназначению одинаковы при различных входных сигналах. Однако в случае сложных сигналов, когда осуществляется их оптимальная обработка, обычная супергетеродинная схема дополняется новыми элементами: согласованным фильтром либо коррелятором.

Кроме блоков сигнального тракта, приемное устройство может содержать вспомогательные системы: автоматическую подстройку частоты (АПЧ), автоматическую регулировку усиления (АРУ), помехозащиту и блок питания.

Приемное устройство является составной частью контрольного ответчика. Поэтому электрические характеристики, особенности схемы и конструкции приемника должны определяться в соответствии с тактико-техническими и конструктивными особенностями ответчика в целом.

С учетом анализа особенностей различных схем построения приемных устройств, а также требований, предъявляемых к контрольному ответчику, таких как чувствительность приемника и его динамический диапазон, целесообразно радиоприемное устройство контрольного ответчика строить по супергетеродинной схеме.

3. Оценка выбора значения промежуточной частоты

При выборе промежуточной частоты необходимо исходить из следующих соображений:

1. Промежуточная частота должна лежать вне диапазона принимаемых частот и возможно дальше отстоять от границ этого диапазона.
2. Должна обеспечивать заданное ослабление зеркального и соседнего каналов приема.
3. Должна обеспечивать необходимую полосу пропускания приемника.
4. Должна обеспечивать возможность конструктивной реализации затухания контуров межкаскадных цепей

ƒПР ≤ (0,8 ÷ 1,2 ) П / dК (1)

где dК – собственное затухание контуров УПЧ.

В радиоприемниках непрерывных сигналов промежуточная частота должна удовлетворять условие ƒПР ≥(10 ÷ 20) FМАКС , где FМАКС – максимальная частота модуляции принимаемого сигнала.

Для импульсных сигналов с длительностью τИ , кроме того должно выполняться условие

ƒПР ≥(10 ÷ 20) / τИ (2)

обеспечивающее хорошее воспроизведение формы сигнала.

При уточнении промежуточной частоты следует учитывать, что более низкая промежуточная частота позволяет:

- получить меньший коэффициент шума в УПЧ, что важно для приемников сантиметровых и миллиметровых волн, не имеющих УВЧ;

- повысить коэффициент устойчивого усиления и стабильность работы УПЧ;

- снизить величину изменений показателей УПЧ (коэффициента усиления, полосы пропускания) при смене ламп;

- легче реализовать усилитель с узкой полосой пропускания.

С увеличением промежуточной частоты:

- лучше выполняются соотношения

ƒПР ≥(5 ÷ 10) ƒМ МАКС и ƒПР ≥(10 ÷ 20) / τИ

- повышается подавление зеркального и других побочных каналов приема;

- уменьшается влияние шумов гетеродина на чувствительность радиоприемника, что существенно в приемниках без УВЧ, работающих в диапазоне сантиметровых волн;

- облегчается получение широких полос пропускания в УПЧ;

-облегчаются условия надежной работы системы АПЧ гетеродина;

- уменьшаются габариты контуров УПЧ.

Если значения промежуточной частоты, определяемой из разных требований (например, фильтрация промежуточной частоты и полоса пропускания), оказываются существенно различными, то необходимо применять двойное преобразование частоты. Двойное преобразование применяется также при повышенных требованиях к подавлению помех по соседнему и зеркальному каналам приема. В таком усилителе тракт первой промежуточной частоты имеет относительно небольшое усиление и избирательность. Задачей главного усилителя, настроенного на более низкую промежуточную частоту, является обеспечение основного усиления и избирательности по сигналу.

Значения промежуточных частот приемников могут быть выбраны в диапазоне от 30 кГц до 100 МГц и определяются параметрами элементов обработки радиолокационных сигналов.

С учетом приведенных рекомендаций по выбору промежуточной частоты, тактико-технических характеристик СОМ-64К, а также данных приведенных в приложении 1, можно заключить, что разработчиками контрольного ответчика была выбрана несколько заниженное значение промежуточной частоты, которая, тем не менее, обеспечивает эффективное подавление зеркального канала приема и удовлетворяющее условиям (1 и 2). Как показывают расчеты, по выражению (1):

ƒПР ≤ (0,8 ÷ 1,2 ) П / dК ≤ (0,8 ÷ 1,2 ) 5 / 0,008 ≤ 500 МГц

и по выражению (2):

ƒПР ≥(10 ÷ 20) / τИ ≥(10 ÷ 20) / 0,6 ≥ 20 МГц.

Анализ принципиальной схемы приемника контрольного ответчика СОМ-64К показывает, что при выбранной промежуточной частоте ƒПР= 24,4 МГц , полосе пропускания П= 5 МГц и требуемом обеспечении нормальной работы детектора блок усилителей промежуточной частоты содержит восемь каскадов усиления, из которых первые шесть реализованы на двойках расстроенных контуров.

4. Оценка выбора полосы пропускания

Полоса пропускания приемника оказывает решающее влияние на ряд других технических показателей приемника.

При ее определении необходимо учитывать:

1. Максимальную ширину и ширину информативной части спектра принимаемого сигнала (в случаях частотной модуляции и фазовой манипуляции).
2. Допустимые искажения сигнала.
3. Нестабильность частот генератора передатчика и гетеродина приемника.
4. Вид обработки принимаемого сигнала (неоптимальная, квазиоптимальная, оптимальная).

Для приемников простых импульсных сигналов полоса пропускания П определяется по разному в зависимости от назначения приемника. В приемниках РЛС точного определения координат выбор полосы пропускания резонансного тракта производится из условия обеспечения заданного времени нарастания импульса (длительности фронта): П=(2÷4)/τИ , где τИ – длительность зондирующего сигнала. В приемниках РЛС обнаружения полоса пропускания резонансного тракта составляет: П=(1÷1,3)/τИ .

При наличии нестабильности частот генератора передатчика и гетеродина приемника и доплеровского сдвига частоты сигнала, отраженного от движущейся цели, полосу пропускания приемника, в котором не имеется системы АПЧ, следует расширить на величину

∆П=F(∆ƒГЕН, ∆ƒГЕТ, ∆ƒРЕЗ, ∆ƒД. .МАКС)

где ∆ƒГЕН и ∆ƒГЕТ - вероятные уходы частот задающего генератора передатчика и гетеродина приемника соответственно; ∆ƒРЕЗ – возможная расстройка резонансного тракта приемника; ∆ƒД. .МАКС – возможная максимальная частота Доплера.

Если в приемнике предусмотрена система АПЧ, обладающая коэффициентом автоподстройки КАПЧ (КАПЧ =20-30), то зависимость ∆П от ∆ƒГЕН и ∆ƒГЕТ уменьшается на соответствующую величину КАПЧ раз.

Знание полосы пропускания резонансного (линейного) тракта позволяет ориентировочно определить полосы пропускания отдельных блоков приемника на основании следующих соотношений:

ПБВЧ =(5÷15) П;

ПУПЧ =(1,1÷1,2) П;

ПБНЧ =(0,7÷0,8) П.

Чем шире полоса пропускания П, тем меньше следует брать величину коэффициента в выражении для ПБВЧ , а в выражении для ПУПЧ – больше. При этом общая полоса пропускания приемника составляет:

ППР = ПУПЧ /[ 1+( ПУПЧ / ПБВЧ )2 +( ПУПЧ / ПБНЧ )2 ]-1/2

Приемники сложных импульсных сигналов с частотной модуляцией или фазовой манипуляцией внутри импульса рассчитываются на оптимальную обработку. При оптимальной обработке с помощью согласованного фильтра, последний, как правило, устанавливается в тракте промежуточной частоты. В таком приемнике элементы резонансного тракта ( каскады усилителей высокой и промежуточной частот), расположены перед согласованным фильтром, не должны искажать спектр принимаемого сигнала. Поэтому полоса пропускания этих элементов должна в 1,2 ÷ 1,5 раз превышать ширину спектра сигнала.

Аналогичные соображения необходимо принимать во внимание при выборе полосы пропускания корреляционного приемника, в котором на входы перемножителя должны поступать усиленные сигналы без искажений.

Полоса пропускания элементов, расположенных после перемножителя, выбирается с учетом сжатия спектра принимаемого сигнала в процессе корреляционной обработки.

Для приемника сигналов непрерывного излучения ширина спектра частот определяется с учетом: индекса модуляции, максимальной частоты модуляции, максимального отклонения частоты от несущей. Далее по ширине спектра сигнала определяется полоса пропускания резонансного тракта приемника. Распределение полосы пропускания резонансного тракта приемника непрерывных сигналов производится, как и в случае приемника простых сигналов. При этом следует учитывать, что в процессе преобразования сигнала возможно сжатее его по спектру. В результате этого ширина спектра сигнала, проходящего по приемному тракту, меняется, отличаясь от спектра излучаемого (зондирующего) сигнала. Сжатие по спектру может иметь место при корреляционно-фильтровой обработке непрерывного сигнала. Тогда при выборе полос пропускания отдельных элементов резонансного тракта приемника принимаются во внимание те же соображения, что и для корреляционного приемника сложных импульсных сигналов.

Необходимая полоса пропускания супергетеродинного радиоприемника в общем случае может быть определена по формуле:

П =ПС +КЧ (2δ СƒС + 2δ ГƒГ1 +2δ ГƒГ2 +2δ ПƒП +2 ∆ ƒД )/КАПЧ , (3)

где ПС - ширина спектра принимаемого сигнала;

КЧ = (0,3 ÷ 0,8) – коэффициент совпадения уходов частоты;

КАПЧ – коэффициент автоподстройки частоты (КАПЧ = 1 – при отсутствии автоподстройки; КАПЧ = 10 ÷ 30 – при наличии частотной автоподстройке;

КАПЧ = ∞ – при наличии фазовой автоподстройке.)

δ С , δ Г, δ П – максимально возможные относительные уходы частоты передатчика, гетеродинов и промежуточной частоты от номинальных значений { δ С = (3 ÷7)\*10-5; δ Г = 5\*10-3 ÷ 10 -4 ; δ П = (1 ÷5)\*10-4 ; при однократном преобразовании частоты слагаемое 2δ ГƒГ2 приравнивается нулю};

∆ ƒД – доплеровское смещение частоты { ∆ ƒД = υРƒС / с - при приеме сигнала от подвижного передатчика; ∆ ƒД = 2 υРƒС / с - при приеме сигнала через ретранслятор, перемещающийся относительно передатчика; υР – скорость подвижного объекта; с – скорость света с =3\*108 м/сек}.

Ширина спектра принимаемого сигнала зависит от вида модуляции, числа каналов приема и некоторых других специфических факторов, зависящих от назначения приемника. Так как в рассматриваемом контрольном ответчике используется имульсно-временное кодирование, то зондирующим сигналом является прямоугольный радиоимпульс без внутриимпульсной модуляции. Для таких импульсных сигналов ширина спектра определяется по выражениям:

ПС = (1÷2) / τ И – в случае отсутствия ограничений на форму импульса;

ПС = (1÷2) / tУ - в случае требований к минимальным искажениям фронта импульса.

Выполним расчет значения ширины полосы пропускания (ПРАСЧ) для контрольного ответчика по выражению (3) и сравним полученное значение с полосой пропускания приемника заданное в тактико-технических характеристиках СОМ-64К [1].

ПС = (1÷2) / τ И =2/0,6 =3,33 МГц (для τ И=0,6 мКс)

Примем значение коэффициент совпадения уходов частоты КЧ = 0,8, что соответствует самому тяжелому режиму работы приемного устройства.

Первое слагаемое выражения (3) будет составлять на частоте сигнала

ƒС =1000МГц: 2δ СƒС = 5\*10-5\*1000\*106 = 0,1 МГц.

Второе слагаемое выражения (3) будет составлять на частоте гетеродина при промежуточной частоте равной 25 МГц:

2δ ГƒГ1 =2\*10-4\* 975\*106 = 0,2 МГц.

Третье слагаемое выражения (3) приравниваем нулю, так как в приемнике используется однократное преобразование частоты.

Четвертое слагаемое выражения (3) будет составлять на промежуточной частоте равной 25 МГц:

2δ ПƒП = 2\*5\*10-4\*25\*106 = 0,025 МГц.

Пятое слагаемое выражения (3) учитывающее доплеровское смещение частоты, вычислим для подвижного объекта летящего со скоростью 1000 м/сек :

∆ ƒД = 2 υРƒС / с = 2\*1000\*1000\*106 / 3\*108 = 0,07 МГц.

Отсюда, с учетом (3) окончательно получаем расчетную ширину полосы пропускания приемника для КАПЧ = 1 ( при отсутствии автоподстройки):

ПРАСЧ = 3,33 +0,8 (0,1 +0,2 +0.025 + 0,07) = 3,65 МГц.

Полученный результат свидетельствует о том, что полоса пропускания приемного устройства в контрольном ответчике выбрана чуть больше расчетной, так как ПРАСЧ < П. Расширение полосы пропускания связано с желанием принять и усилить импульсные сигналы (радиоимпульсы) с учетом минимального искажения их фронтов, т.е. спектр такого радиоимпульса должен быть шире по сравнению с радиоимпульсом к которому ограничения на его форму не накладываются.

5. Обоснование типа усилителя промежуточной частоты

Усилители промежуточной частоты, по величине относительной ширины полосы пропускания подразделяются на узкополосные (П /ƒП ≤ 0,05) и широкополосные (с большей относительной полосой).

При заданных тактико-технических характеристик на контрольный ответчик (П=5 МГц и ƒП = 24,4 МГц) СОМ-64К следует, что используемая схема УПЧ относится к классу (5/24,4 = 0,2) широкополосных усилителей.

По характеру распределения избирательности в каскадах УПЧ различают избирательные усилители с распределенной и сосредоточенной избирательностью. В УПЧ с распределенной избирательностью функции усиления и избирательности обеспечиваются в каждом каскаде. По числу резонансных контуров усилители подразделяются на одноконтурные и двухконтурные. В одноконтурных усилителях все контуры могут быть настроены на промежуточную частот (настроенные УПЧ) или могут иметь соответствующую расстройку (УПЧ с парами или тройками расстроенных каскадов). В двухконтурных усилителях применяются полосовые фильтры, образованные системой связанных контуров.

По способу включения электронных усилительных приборов УПЧ подразделяют на усилители с общим эмиттером и УПЧ с каскодным включением транзисторов (чаще по схеме ОЭ-ОБ). Широко используются УПЧ на интегральных схемах.

Усилители промежуточной частоты могут выполняться либо в виде одного блока с приблизительно однотипными каскадами (или группами каскадов), либо в виде двух блоков – блока предварительного и блока главного усилителя. В последнем случае, типичным для приемников, не имеющих УВЧ, предварительный усилитель (ПУПЧ) размещается вблизи антенны. Он должен обладать малым коэффициентом шума и обеспечивать усиление сигнала, достаточное для компенсации потерь сигнала в кабеле, соединяющем оба усилительных блока, и создания необходимого превышения уровня сигнала над уровнем возможных помех.

Для широкополосного усиления сигнала на промежуточной частоте широко используют одноконтурные схемы с настроенными и расстроенными каскадами, а также схемы с двухконтурными настроенными каскадами.

Выбирая тип схемы широкополосного УПЧ, необходимо учитывать достоинства и недостатки различных схем по простоте настройки и регулировки, качеству воспроизведения формы сигнала, избирательности по соседнему каналу, критичности к разбросу параметров усилительных электронных приборов, стабильности фазового сдвига и времени запаздывания.

С точки зрения простоты схемы лучшими являются одноконтурные настроенные усилители. Эти усилители по сравнению с другими типами УПЧ при равных полосах пропускания в меньшей степени искажают форму радиоимпульса и менее чувствительны к разбросу параметров ламп и транзисторов.

В процессе эксплуатации приемных устройств с многоканальными трактами промежуточной частоты существенное значение имеет стабильность их амплитудно-частотных характеристик. В этом отношении также предпочтительнее одноконтурные настроенные усилители.

Вместе с тем по эффективности и избирательности более совершенными являются усилители на расстроенных тройках, затем следуют усилители двухконтурные и на парах, а самые низкие показатели имеют одноконтурные настроенные усилители.

Практически одноконтурные настроенные УПЧ применяются, если требуемая полоса пропускания не превышает 2 ÷ 3 МГц; одноконтурные расстроенные на парах - 5 ÷ 10 МГц и одноконтурные расстроенные на тройках - 15 ÷ 20 МГц. Однако при высоких требованиях к избирательности по соседнему каналу, с целью повышения прямоугольности формы амплитудно-частотной характеристики усилителя, схемы на парах и тройках расстроенных контуров могут использоваться и при меньших значениях ширины полосы пропускания.

В узкополосных усилителях промежуточной частоты применяют схемы с полосовыми фильтрами распределенной избирательности (двухконтурные или трехконтурные) и с фильтрами сосредоточенной избирательности. Последние позволяют получить высокую избирательность и очень узкую полосу пропускания. Такие свойства в усилителе обеспечиваются при введении в его состав многозвенных полосовых или электромеханических фильтров (пьезоэлектрических и магнитострикционных).

Одноконтурные усилители промежуточной частоты целесообразно применять в случаях, когда к избирательности по соседнему каналу не предъяляются высокие требования. Они обычно реализуются на биполярных транзисторах с общим эмиттером, на каскодных схемах включения транзисторов ОЭ-ОБ или на интегральных микросхемах К171, К175 сериях (К175УВ4).

Противоречия, возникающие между необходимостью обеспечения широкой полосы пропускания, с одной стороны, максимальным коэффициентом усиления и избирательностью, с другой, вынуждает искать пути их разрешения. Одним из путей разрешения этих противоречий является переход от одноконтурных настроенных усилителей к усилителям с взаимно расстроенными каскадами. Наиболее широкое применение нашли усилители с парами и тройками расстроенных каскадов. Характерной особенностью усилителей с парами расстроенных каскадов является то, что каждый из двух каскадов, составляющих пару, расстраивается относительно средней частоты ƒП полосы пропускания усилителя: первый каскад настраивается на частоту ƒП1 , несколько большую, чем частота ƒП , второй каскад – на частоту ƒП2 , несколько меньшую, чем частота ƒП. Форма амплитудно-частотной характеристики пары каскадов зависит от начальной (фиксированной) расстройки каскадов ε0 . при малых расстройках характеристика имеет один максимум; по мере увеличения ε0 вершина характеристики становится все более и более плоской. Максимально плоская вершина получается при критической расстройке: ε0 = 1. При дальнейшем увеличении расстройки ε0 характеристика становится двугорбой с провалом по частоте ƒП и с максимумами при ε =± (ε0 – 1)1/2.

Особенностью усилителей с тройками расстроенных каскадов является то, что в каждую такую группу входит три каскада. Два из них симметрично расстроены относительно промежуточной частоты ƒП , а третий настроен на промежуточную частоту ƒП . Симметричность расстройки и равенство добротностей (затуханий) контуров двух расстроенных каскадов обеспечивает симметрию результирующей резонансной кривой УПЧ.

Форма амплитудно-частотной характеристики (резонансной кривой) рассматриваемого трехкаскадного усилителя может в зависимости от того, превышает или нет расстройка контуров ε0 критическую величину ε0 КР , иметь один или три максимума.

По мере уменьшения начальной расстройки ε0 максимумы и минимумы сближаются и при критической расстройке ε0 КР = 31/2 амплитудно-частотная характеристика УПЧ будет иметь максимально плоскую вершину и ее форма еще больше приближается к прямоугольной. Выполним сравнение между собой рассмотренных схем УПЧ выполненных на усилителях с одноконтурными фильтрами. Будем полагать, что все три типа усилителей (одноконтурными настроенными каскадами, с парами расстроенных каскадов и с тройками расстроенных каскадов) имеют одинаковое число каскадов m = 6 (mП = 3; mТ =2), усилительные элементы во всех усилителях одинаковы, коэффициенты усиления и резонансные частоты всех трех усилителей равны между собой. Результаты сравнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика УПЧ с одноконтурными фильтрами

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип усилительного каскада | Полоса пропускания  | Коэффициент ослабления помех, принимаемых по соседнему каналу |
| С одноконтурными одинаково настроенными фильтрами | П | 3,2 |
| С парами взаимно расстроенных одноконтурных каскадов | 2,05П | 11,8 |
| С тройками взаимно расстроенных одноконтурных каскадов | 2,5П | 26 |

Анализ данных приведенных в таблице 2, показывает, что наиболее эффективным усилителем по коэффициенту ослабления помех, принимаемых по соседнему каналу, является усилитель выполненный на тройках взаимно расстроенных одноконтурных каскадах. Однако необходимо отметить, что такое повышение коэффициент ослабления помех, связано с увеличением числа усилительных каскадов на одну треть и со сложностью настройки всего УПЧ в целом. На основании этого можно сделать вывод, что выполненная схема УПЧ на парах взаимно расстроенных одноконтурных каскадах в контрольном ответчике СОМ-64К является наиболее целесообразной и обоснованной, так как способна обеспечить требуемые тактико-технические характеристики всего устройства в целом.

6. Обоснование схемы регулировки усиления амплитудной характеристикой усилителя промежуточной частоты

Одним из основных требований, предъявляемых к современному приемному устройству, является отсутствие в нем перегрузки. Часто это требование обеспечивается введением в приемный тракт усилителей с логарифмической амплитудной характеристикой (ЛАХ). Качество работы УПЧ с ЛАХ характеризуется следующими показателями:

1) динамическим диапазоном по входному напряжению

D ВХ =U ВХ.К / U ВХ.Н или в децибелах D ВХ = 20 lg (U ВХ.К / U ВХ.Н),

где U ВХ.Н и U ВХ.К – уровни входных напряжений, при которых начинается и кончается логарифмический участок амплитудной характеристики;

2) динамическим диапазоном по выходному напряжению

D ВЫХ =U ВЫХ.К / U ВЫХ.Н или в децибелах D ВЫХ = 20 lg (U ВЫХ.К / UВЫХ.Н),

где U ВЫХ.Н и U ВЫХ.К – уровни выходных напряжений соответствующие началу и концу логарифмического участка амплитудной характеристики;

1. коэффициент сжатия усиливаемого напряжения

С = D ВХ / D ВЫХ

1. коэффициент усиления К0 при работе усилителя в линейном режиме

(U ВХ. ≤ U ВХ.Н)

5) полосой пропускания ПУПЧ.

Все многообразие схемных решений усилителей с ЛАХ можно свести к двум модификациям:

1) усилителям с переменным коэффициентом усиления;

2) усилителям с переменным числом каскадов.

В первую группу объединены усилители, содержащие в своей нагрузке нелинейные сопротивления, величина которых является функцией приложенного к ним напряжения, за счет этого и производится регулировка коэффициента усиления усилителя. Наиболее распространенным примером второй группы усилителей является многокаскадный усилитель с последовательным детектированием. Схема такого усилителя предполагает, что к выходу каждого или группы каскадов УПЧ подключены амплитудные детекторы. Поскольку все детекторы подключены к общей нагрузке, то усиливаемый сигнал попадает на выход усилителя, минуя перегруженные каскады. Таким образом, усилитель в целом не перегружается до тех пор, пока не войдет в насыщении первый каскад усилителя.

Поскольку каскады логарифмического УПЧ с последовательным детектированием должны быть идентичными, то они могут выполняться только по схеме усилителей с настроенными каскадами (одноконтурными или двухконтурными).

Согласно технического описания на контрольный ответчик СОМ-64К, канал УПЧ обеспечивает амплитудную логарифмическую характеристику приемника на частоте 1030МГц в динамическом диапазоне 50дБ (316,2 раза), благодаря наличию трех раздельных амплитудных детекторов на выходах 4, 6 и 8 каскадов усиления.

Отсюда следует, что разработчиками контрольного ответчика СОМ - 64К была выбрана наиболее простая и достаточно эффективная схема регулировки усиления, путем использования логарифмической амплитудной характеристики приемника, реализуемой за счет последовательного детектирования многокаскадного УПЧ.