

Методическое пособие содержит общие сведения о проектировании радиоприемных устройств; требования к курсовому проекту; примеры составления структурных схем радиоприемных устройств и определения требований к их узлам; правила выполнения, оформления и защиты курсовых проектов.

Методические указания по курсовому проектированию радиоприемных устройств предназначены для студентов, выполняющих курсовой проект по курсам "Приемно-усилительные устройства", "Радиоприемные устройства систем управления летательными аппаратами".

I. ВВЕДЕНИЕ

Основная цель - курсового проектирования - развить у студентов максимальную самостоятельность, творческое мышление и инициативу в работе.

При современном подходе проектирование сложных систем рассматривается как итерационный процесс. Справедливость такого подхода отчетливо проявляется при проектировании приемно-усилительных устройств. Процесс проектирования приемно-усилительных устройств представляет собой многоэтапную процедуру с множеством обратных связей. Каждый крупный этап включает в себя изготовление макета или образца устройства. Естественно, что курсовое проектирование как учебное не может полностью отразить все этапы реального проектирования приемного устройства, но студент при выполнении курсового проекта должен отчетливо представлять полный процесс проектирования. Важным инструментом при проектировании приемно-усилительного устройства являются методы автоматизированного проектирования, позволяющие не только ускорить процесс проектирования, но и получить качественно новые решения. В методических указаниях отражены методы автоматизированного проектирования и их место при проектировании приемно-усилительных устройств.

В методических указаниях приведены два примера заданий на курсовой проект с методикой выбора структуры приемника и определения требований к его функциональным узлам.

В приложениях к методическим указаниям содержатся правила и примеры выполнения и оформления курсового проекта, примеры заданий, вспомогательные таблицы и графики.

Приложения находятся в кабинете курсового проектирования.

В кабинете курсового проектирования имеется также аннотированный указатель литературы по курсовому проектированию радиоприемных устройств.

II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

I. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Радиоприемники представляют собой сложные системы, поэтому их проектирование является задачей, которая не имеет однозначного решения. Исходные данные для проектирования приемника содержатся в техническом задании (ТЗ).

Процесс проектирования радиоприемника состоит из двух основных этапов: этапа эскизного проектирования и этапа технического проектирования. Каждый из этих этапов может содержать два подэтапа: предварительное и окончательное проектирование. Крупные этапы проектирования делятся на ряд мелких этапов (рис.1).

Этап эскизного проектирования включает в себя: выбор и обоснование структурной схемы приемника (синтез структуры), анализ приемника, оптимизацию его параметров, проектирование отдельных функциональных звеньев и электрических схем, конструктивную проработку, машинные и натурные эксперименты.

Эскизное проектирование отдельных функциональных звеньев приемника и принципиальных электрических схем содержит такие же этапы, как и эскизное проектирование приемника.

В целом этап эскизного проектирования заканчивается выпуском макетов приемника.

Этап технического проектирования радиоприемника включает в себя: разработку и выпуск технической документации для производства опытной серии, а затем для серийного выпуска приемника. Основой для выполнения этапа технического проектирования является эскизный проект.

Подробно задачи этапа технического проектирования радиоприемника в настоящем пособии не рассматриваются. При выполнении курсового проекта проектирование радиоприемника ограничивается элементами этапа эскизного проектирования.

Рассмотрим кратко основные особенности процесса эскизного проектирования радиоприемника.

Характерным моментом процесса проектирования является необходимость возвращения к предыдущим этапам. Так, например, в процессе эскизного проектирования приемника при его моделировании возможно многократное возвращение к вопросам уточнения его структуры, математического описания, дополнительного теоретического анализа. Процедура оптимизации параметров его звеньев сама по себе предусматривает возвращение в той или иной степени ко всем предыдущим этапам.

Таким образом, проектирование радиоприемника происходит путем последовательных приближений к желаемому результату. Или, как говорят, процесс проектирования носит итеративный характер.

Этапы проектирования радиоприемника можно представить с помощью структурной схемы (рис.1,2).

Отметим, что итеративный характер процесса проектирования распространяется также на техническое задание, т.е. сам замысел может изменяться (уточняться) под влиянием процесса проектирования.

Вторая существенная особенность процесса проектирования состоит в том, что каждая итерация (на любом уровне) заканчивается принятием решения. При этом решение всегда принимается в условиях неопределенности, так как оно представляет собой процесс выбора одного или нескольких предпочтительных вариантов из множества возможных (несколько вариантов выбирается, как правило, только на стадии предварительного эскизного проектирования). Именно эта неопределенность является, прежде всего, причиной неоднозначности результата проектирования. Поэтому вторым существенным свойством процесса проектирования является неоднозначность результата.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИЕМНИКА

Приемник в радиотехнической схеме предназначен для преобразования радиосигнала в сообщение.

Основной характеристикой приемника является качество воспроизведения сообщения. С количественной точки зрения качество воспроизведения сообщения характеризуется поразному. Прежде всего, на качество воспроизведения сообщения влияют различного рода помехи.

Такие характеристики, как точность воспроизведения сообщений или вероятность ошибочного приема, связаны с отношением сигнала к аддитивному шуму в полосе пропускания приемника. Эти зависимости определены в настоящее время для весьма большого количества разнообразных случаев приема. Часть из них в виде формул и графиков приведена в приложениях к пособию. Зная заранее требуемые точности или вероятности ошибок при воспроизведении сообщений с помощью этих зависимостей для конкретных случаев приема, можно определить необходимое отношение сигнала к шуму и, следовательно, необходимую реальную чувствительность приемника. Сведения о требуемой точности или о допустимых вероятностях ошибок содержатся в ТЗ.

Существенное влияние на качество воспроизведения сообщений оказывают мультипликативные (модулирующие) помехи. Для борьбы с ними в приемниках применяются различные методы, в частности автоматические регулировки. В ТЗ содержатся необходимые данные для проектирования автоматических регулировок и других устройств, для борьбы с указанными помехами.

В техническом задании имеются сведения о характере всех предполагаемых помех и задаются требования по помехоустойчивости приемника по отношению к ним, например частотная, пространственная и временная избирательность.

В ТЗ задаются также требования по допустимому уровню линейных и нелинейных искажений сообщения, перекрестных искажений в многоканальных приемниках, межсимвольных искажений в приемниках дискретных систем передачи информации.

Моменты, которые оказывают существенное влияние на качество воспроизведения сообщения, определяют основное содержание технического задания на проектирование приемника. Вместе с этим в ТЗ включаются также данные, которые не оказывают непосредственного влияния на качество воспроизведения сообщения. Это такой набор данных, с помощью которого осуществляется как бы привязка проектируемого приемника к условиям работы всей радиосистемы. Это данные о рабочем диапазоне частот, о наборе промежуточных частот, способ модуляции, число каналов, способ перестройки по диапазону и т.д. Ряд исходных требований ТЗ связан с конструктивной и эксплуатационной стороной: масса, габариты, установочные размеры, климатические условия, устойчивость к механическим перегрузкам. Часто в ТЗ накладываются ограничения на типы применяемых активных и других элементов схем, на потребление Энергии от источников питания. Задаются в ТЗ также требования по надежности работы приемника, накладываются ограничения на стоимость разработки и себестоимость приемника при его серийном производстве. ТЗ может включать и ряд других требований, например требования по внешнему оформлению, по расположению элементов управления и т.д. Набор исходных данных в задании на курсовое проектирование существенно ограничен. Ограничен также и объем выполняемых работ, который в процессе выполнения проекта может корректироваться ведущим преподавателем. В приложениях приведены примеры заданий на курсовой проект, рассматривается порядок выполнения типовых проектов, указан необходимый минимум работ.

3. ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЕМНИКА

Общие положения

Проектирование радиоприемника начинается с выбора и обоснования его общей структуры. Этот этап в настоящее время в типичных ситуациях не вызывает особых затруднений.

В результате накопленного опыта разработки общая структура приемника может быть определена практически сразу. На рис.3 показана типовая структура супергетеродинного приемника с однократным преобразованием частот. Такая структура лежит в основе построения большинства современных радиоприемников. В настоящем пособии вопросы проектирования приемника будут рассматриваться применительно к этой схеме.

Следующим шагом является определение требований к отдельным блокам приемника: определение коэффициента усиления отдельных блоков и общего коэффициента усиления, определение полос пропускания и избирательности блоков, определение их шумовых свойств.

На этом шаге устанавливаются рабочие частота блоков, требования к АРУ и АПЧ. При необходимости производится моделирование приемника или отдельных его частей на ЦВМ и оптимизация параметров его блоков.

Исходными данными для решения задач этого этапа являются сведения в ТЗ по чувствительности, динамическому диапазону входного сигнала, уровню выходного сигнала, стабильности частоты сигнала, а также сведения о рабочем диапазоне частот, способе модуляции и частотных свойствах сообщения, о требуемом качестве воспроизведения сообщения. По результатам этого шага уточняется структура приемника, в частности поясняется необходимость применения УВЧ или ПУПЧ, необходимость в дополнительных преобразованиях частоты, в блоках автоматических регулировок и т.д. Рассмотренный этап включает в себя по существу синтез структуры приемника в целом, его анализ и определение требований к функциональным звеньям.

Следующий этап - это проектирование отдельных функциональных звеньев приемника. Проектирование каждого звена (или блока) начинается с определения его структуры, затем структуры его отдельных блоков и так далее, вплоть до проектирования принципиальных электрических схем. Детально проектирование функциональных звеньев приемника, электрических схем рассматривается в пособиях, список которых приведен в указателе литературы. Отметим, что при проектировании отдельных функциональных звеньев на этапе синтеза их структуры широко применяется метода статистического синтеза.

Особенно это касается вопросов синтеза структуры оптимальных и квазиоптимальных демодуляторов различных приемников, определения временных и частотных характеристик линейной части, синтеза структуры систем последетекторной обработки и т.д.

Следует, однако, отметить, что такие функции радиоприемника, как усиление с одновременным обеспечением требуемой чувствительности и избирательности методами статистического синтеза, не рассматриваются.

III. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Каждый этап проектирования приемно-усилительного устройства может выполняться с использованием ЭВМ. Одним из пунктов задания на курсовое проектирование может являться расчет и моделирование с помощью ЭВМ отдельных узлов, частей или всего устройства.

Полная автоматизация процесса проектирования невозможна, так как процесс проектирования приемного устройства не может быть строго формализован, как указывалось выше. Однако применение средств вычислительной техники на отдельных этапах позволяет существенно ускорить процесс проектирования.

Разработанные в настоящее время метода автоматизированного проектирования позволяют решать следующие задачи при проектировании приемно-усилительных устройств:

1. Расчет по сложным формулам.

Такой расчет на ЭВМ позволяет сократить время вычислений.

2. Анализ приемно-усилительных устройств и их узлов. Расчет характеристик и параметров может быть произведен на ЭВМ с учетом действия различных факторов, которые обычно не принимаются во внимание при анализе без использования ЭВМ. В связи с этим число итераций при разработке устройства может существенно сократиться, а на стадии эскизного проектирования этап физического моделирования может быть заменен полностью или частично расчетом на ЭВМ. Характерной ситуацией в настоящее время является подробный расчет на ЭВМ части, узла приемно-усилительного устройства, для которого развиты метода анализа.

3. моделирование приемно-усилительных устройств. Под моделированием понимается имитационное моделирование, когда модель позволяет получить эквивалент сигналов, действующих в устройстве. Моделирование - это средство анализа устройств, которое используется, как правило, для получения статистических характеристик устройства в целом или его существенных частей. Метода моделирования позволяют существенно сократить время проектирования за счет уменьшения числа итераций при поиске решения, а на этапе эскизного проектирования - за счет исключения этапа физического моделирования.

4. Оптимизация узлов, входящих как составные части в приемно-усилительное устройство. В настоящее время развита и нашла широкое применение параметрическая оптимизация, при которой схема задана и производится варьирование численных значений параметров элементов схемы. Применение методов оптимизации на ЭВМ при проектировании позволяет существенно сократить время, необходимое для завершения проектирования, а также найти такие инженерные решения, которые при обычных методах расчета не могут быть найдены.

5. Синтез узлов приемно-усилительных устройств. Методы синтеза приемно-усилительных устройств в целом не разработаны. Отдельные узлы и блоки, обычно линейные, могут быть в настоящее время синтезированы с помощью ЭВМ.

Как правило, решения, которые получаются с использованием ЭВМ при синтезе, не могут быть определены другими известными в настоящее время способами. Таким образом, применение ЭВМ для синтеза узлов и блоков приемно-усилительных устройств позволяет не только ускорить, но и качественно улучшить процесс проектирования.

1У. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К УЗЛАМ ПРИЕМНИКА БОРТОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ

I. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Спроектировать приемник бортовой радиолокационной станции обнаружения по следующим исходным данным:

Качество обнаружения сигнала:

а) вероятность правильного обнаружения

$P_{ПО}$ 0,9

б) вероятность ложной тревоги

$P_{ЛТ}$ 10^{-6}

Рабочий диапазон (длина волны)

f_0 10000 МГц.

λ_0 (3 см)

Длительность зондирующего импульса

$\tau_{и}$ 1 мкс.

Частота повторения импульсов

$F_{п}$ 1 кГц.

Минимальный уровень мощности на входе приемника

$P_{В.к.min}$ $3 \cdot 10^{-13}$

Максимальное изменение мощности сигнала на входе приемника

∂_{max} 80 дБ.

Виды антенны

-

параболическая.

Максимальная радиальная скорость перемещения объекта, отражающего зондирующие сигналы, относительно РЛС

V_p 0,8 км/с.

Относительная нестабильность частоты сигнала (передатчика)

$\Delta f_{прд}/f_0$ $3 \cdot 10^4$.

Уровень сигнала на выходе видеоусилителя

U 20 В

Нагрузка видеоусилителя

R_H, C_H

Допустимое изменение сигнала на выходе приемника

p 2

2. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ.

В соответствии с ТЗ проектируемый приемник должен обладать высокой чувствительностью. Поэтому выбираем приемник супергетеродинного типа.

Структурная типовая схема такого приемника показана на рис.3.

Для получения заданного качества обнаружения сигнала необходимо иметь определенное отношение сигнала к шуму γ на входе детектора приемника. Эта величина определяется на основе заданных в ТЗ вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги по характеристикам обнаружения или по формулам. Примем, что, кроме начальной фазы, параметры обнаруживаемого радиоимпульса известны.

Начальная фаза случайна и распределена равномерно в интервале $(-\pi, \pi)$. В рассматриваемом случае значение γ можно определить по формуле

$$\gamma = E/N_0 = (\sqrt{\ln(1/P_{ЛТ})} + \sqrt{\ln(1/(1-P_{ПО}))} - 1,4)^2$$

где E - энергия сигнала; N_0 - спектральная плотность мощности шума (односторонняя).

Для заданных в ТЗ вероятностей получим

$$\gamma = (\sqrt{\ln 10^6} + \sqrt{\ln 10 - 1,4})^2 = 22 \text{ (13,5 дБ)}.$$

Обеспечение этой величины и, следовательно, требуемого качества обнаружения зависит, прежде всего, от реальной чувствительности приемника, которая определяется выражением

$$P_{\text{реал}} = k \cdot T_0 \cdot (F - 1 + t_A) \cdot \gamma \cdot \Delta f_{\text{ш}}$$

где k - постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); T_0 - абсолютная температура ($T_0 = 293$ К); F - коэффициент шума приемника; t_A - относительная шумовая температура антенны. $\Delta f_{\text{ш}}$ - шумовая полоса пропускания линейной части приемника (тракта приемника до детектора).

При известных минимальной мощности сигнала $P_{\text{вх. min}}$, температуре антенны t_A , шумовой полосе $\Delta f_{\text{ш}}$ можно оценить допустимое значение коэффициента шума F , при котором будет обеспечиваться требуемое отношение сигнала к шуму γ . Может случиться, что при оценке коэффициента шума F его значение окажется отрицательным. Это означает, что требуемое качество обнаружения в данном случае достигнуто быть не может, следовательно, необходимо или увеличивать энергию сигнала, или уменьшать температуру антенны t . Если это невозможно осуществить, то остается пойти на ухудшение качества обнаружения сигнала, т.е. уменьшать отношение сигнала к шуму на входе детектора до таких величин, при которых получается реализуемое технически значение коэффициента шума.

Для определения возможности технической реализации приемника в рассматриваемом случае примем, что $P_{\text{реал}} = P_{\text{вх. min}}$, $t_A = 0,8$ и оценим полосу пропускания приемника. Без учета нестабильностей частот сигнала и гетеродина шумовая полоса пропускания приемника, предназначенного для обнаружения одиночного прямоугольного радиоимпульса, определяется по формуле $\Delta f_{\text{ш}} = 1,1 / \tau_a$ и будет равна

$$\Delta f_{\text{ш0}} = 1,1 / 10^{-6} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ Гц} = 1,1 \text{ МГц}$$

Далее необходимо произвести оценку нестабильностей частот и доплеровского смещения частоты и определить запас по полосе пропускания и необходимость в АПЧ. Используя хорошую известную методику [1], находим, что с учетом реальных нестабильностей запас по полосе пропускания должен быть равен $\Delta f_{\text{зап}} = 6,4 \text{ МГц}$

Так как запас полосы пропускания $\Delta f_{\text{зап}}$ получился гораздо больше величины $\Delta f_{\text{ш0}}$, то вводим систему АПЧ, коэффициент регулирования которой $K_{\text{апч}}$ примем равным 30. С учетом действия АПЧ ширина полосы линейного тракта $\Delta f_{\text{ш}}$ получается

$$\Delta f_{\text{ш}} = \Delta f_{\text{ш0}} + \Delta f_{\text{зап}} / K_{\text{апч}} = 1,1 + 6,4 / 30 = 1,32 \text{ МГц},$$

Найдем необходимую полосу пропускания преселектора, т.е. всего селективного тракта до смесителя $\Delta f_{\text{прес}}$

$$\Delta f_{\text{прес}} = \Delta f_{\text{ш0}} + 2 \cdot \Delta f_{\text{прд}} + 2 \cdot \Delta f_{\text{доп}} = 1,1 + 6 + 0,106 = 7,1 \text{ МГц},$$

где $\Delta f_{\text{прд}}$ - нестабильность частоты передатчика, равная 3 МГц;

$\Delta f_{\text{доп}} = 0,053 \text{ МГц}$ - доплеровское смещение частоты.

Из формулы для реальной чувствительности найдем допустимый коэффициент шума

$$F_{\text{доп}} = P_{\text{вх. min}} / (k \cdot T_0 \cdot \gamma \cdot \Delta f_{\text{ш}}) + 1 - t_A = 3 \cdot 10^{-13} / (1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 22 \cdot 1,32 \cdot 10^6) + 1 - 0,8 = 2,7$$

Приемник с таким коэффициентом шума в трехсантиметровом диапазоне технически можно реализовать.

Следующий шаг - определение усиления приемника и его отдельных блоков с учетом затухания во входных цепях.

Потери во входной части приемника - в антенном переключателе и входной цепи (фидер, потеря на отражение, диодный ограничитель) - примем равными $L_{\text{вц}} = 1,0 \text{ дБ}$. Коэффициент передачи по мощности входной части $K_{\text{р.вц}} = 0,8$.

В качестве усилителя высокой частоты выбираем неохлаждаемый параметрический усилитель на полупроводниковом диоде. Из работы [1, табл. 1,3] для нашего диапазона ориентировочно находим:

коэффициент усиления КУБЧ 20 дБ; коэффициент шума $K_{увч} = 2,7$ дБ.

Смеситель выполним по балансной схеме на СВЧ диодах с барьером Шоттки (ДБШ).

В качестве ПУПЧ используем малошумящий однокаскадный транзисторный усилитель. По справочным данным [1] ориентировочно определяем: потери преобразования 6 дБ; относительная шумовая температура смесителя 1,5; коэффициент шума ПУПЧ 1,5 дБ; коэффициент усиления ПУПЧ 10 дБ; общий коэффициент передачи смесителя с ПУПЧ

$$K_{р.сп} = K_{ПУПЧ} / L_{ПР} = 10/4 = 2,5 \text{ а общий коэффициент шума смесителя с ПУПЧ}$$

$$F_{с.п.} = L_{ПР} * (t_{ш} + F_{ПУПЧ} - 1) = 4 * (1,5 + 1,4) = 7,6 \text{ (8,8 дБ).}$$

-

Подсчитаем напряжение сигнала на входе первого каскада ГУПЧ

$$U_{вх1} = \sqrt{(P_{вх.мин} * K_{вц} * K_{р.увч} * K_{р.сп.} * K_{рф} * R_{вх1})}$$

где $K_{рф}$ - коэффициент передачи кабеля, соединяющего высокочастотный блок приемника с каскадами основного усиления $K_{рф} = 0,9$

$R_{вх1}$ - входное сопротивление первого каскада ГУПЧ, $R_{вх1} = 100$ Ом;

$$U_{вх1} = \sqrt{(3 * 10^{-13} * 0,8 * 100 * 2,5 * 0,9 * 100)} = 55 \text{ мкВ.}$$

Для обеспечения, линейного детектирования напряжение на входе диодного детектора $U_{вхД}$ должно составлять 0,5 - 1 В (примем $U_{вхД} = 0,8$ В). Тогда коэффициент усиления ГУПЧ (по напряжению)

$$K_{У.ГУПЧ} = U_{вхД} / U_{вх1} = 0,8 / (55 * 10^{-6}) = 14,5 * 10^{-3}$$

Коэффициент передачи диодного детектора $K_{Д}$ примем равным 0,7. Следовательно, коэффициент усиления видеоусилителя $K_{ву}$ будет равен

$$K_{У.ву} = U_{вых} / U_{вхву} = U_{вых} / (U_{вхД} * K_{Д}) = 20 / (0,8 * 0,7) = 36$$

Теперь вновь оценим получившийся коэффициент шума приемника. Коэффициент шума ГУПЧ с учетом кабеля примем равным 25, тогда

$$F_{\Sigma} = [F_{увч} + ((F_{с.п.} - 1) / K_{р.увч}) + ((F_{ГУПЧ} - 1) / (K_{р.увч} * K_{р.сп.}))] * L_{вц} =$$

$$[1,9 + 6,6/100 + 24/250] * 1,25 = 2,55$$

Сравнивая F_{Σ} с $F_{увч}$, делаем вывод, что требуемые характеристики приемника будут обеспечены.

Следующим шагом является определение требования к системе АРУ. Максимальный уровень мощности на входе приемника

$$P_{вх.мах} = P_{вх.мин} * \rho = 3 * 10^{-13} * 10^8 = 3 * 10^{-5} \text{ Вт.}$$

Изменение напряжения на входе приемника

$$m = \sqrt{(P_{вх.мах} / P_{вх.мин})} = \sqrt{(3 * 10^{-5} / 3 * 10^{-13})} = 10^4$$

Необходимое изменение коэффициента усиления регулируемого усилителя μ для обеспечения заданного ρ будет равно

$$\mu = K_{мах} / K_{мин} = m / \rho = 10^4 / 2 = 5000$$

И, наконец, выберем промежуточную частоту из условия

$$f_{\text{п}} \geq (5-10) \cdot \Delta f_{\text{ш}} = 10 \cdot 1,32 = 13,2 \text{ МГц.}$$

Выберем стандартную промежуточную частоту для радиолокационных приемников 30 МГц.

На этом определении основных требований к узлам радиолокационного приемника можно считать законченным.

У. ПРИМЕР СОСТАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К УЗЛАМ ПРИЕМНИКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

I. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Спроектировать приемник наземной станции многоканальной системы связи с летательным аппаратом; проектированию подлежит часть приемника, осуществляющая обработку группового сигнала.

Исходные данные на проектирование

Вид модуляции - АМ - ЧМ.

Число каналов n_k - 20.

Максимальная частота спектра сигнала, передаваемого по одному каналу F_{max} - 3 кГц.

Защитный интервал между спектрами каналов ΔF_3 - 1 кГц.

Поднесущая первого канала F_1 - 50 кГц.

Отношение сигнала к шуму в канале γ_k не менее 30 дБ при шумоподобном сигнале сообщения с равномерным спектром.

Частота несущей f_0 - 300 МГц.

Пиковое значение индекса частотной модуляции m - 7,5.

Эффективное (среднеквадратическое) значения индекса частотной модуляции σ - 3.

Чувствительность приемника P - $2 \cdot 10^{-3}$ Вт.

Максимальное изменение мощности на входе приемника ∂_{max} - 20 дБ.

Максимальная радиальная скорость перемещения объекта V_p - 1 км/с.

Относительная нестабильность частоты передатчика $\partial_{\text{прд}}$ - 10^{-4} .

Избирательность приемника по соседнему каналу $S_{\text{ск}}$ - 20 дБ.

Частота соседнего канала $f_{\text{ск}} = f_0 \pm 10$ МГц.

Избирательность по зеркальному каналу $S_{\text{зк}}$ - 20 дБ.

2. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К УЗЛАМ ПРИЕМНИКА

Для обеспечения требуемой по ТЗ высокой чувствительности, проектируемый приемник должен быть супергетеродинным.

Для получения заданного отношения сигнала к шуму в одном канале приемника γ необходимо иметь определенное отношение сигнала к шуму γ на выходе линейной части приемника, т.е. на входе частотного демодулятора группового сигнала. Требуемое значение γ может быть определено на основе параметров группового сигнала, параметров сигнала в канале.

Определим полосу пропускания Π_c группового сигнала. Для этого предварительно вычислим частоту поднесущей последнего (двадцатого) канала F_{20} и максимальную частоту в спектре этого канала Δf_{\max}

$$F_{20} = F_1 + (n_k - 1)(2 * F_{\max} + \Delta F_3) = 183 \text{ кГц}; \quad \Delta f_{\max} = F_{20} + F_{\max} = 186 \text{ кГц}$$

$$\Pi_c = 2 * (1 + m + \sqrt{m}) * \Delta f_{\max} = 4092 \text{ кГц}.$$

Теперь есть возможность по известной Π_c определить ширину полосы пропускания Π линейного тракта.

Полоса Π должна быть выбрана с учетом нестабильностей и неточностей настроек приемника и доплеровского сдвига частот. Расширение полосы Π ухудшает отношение сигнала к шуму.

С другой стороны, уход промежуточной частоты от номинального значения может привести к нелинейным искажениям при ЧМ-демодуляции и возникновению межканальных помех. Определяя возможное изменение промежуточной частоты $\Delta f_{\text{пр}}$ выраженное доплеровским сдвигом и нестабильностями, по методике, изложенной в работе [1], получаем примерно 6 МГц. Чтобы избежать возникновения нелинейных искажения при ЧМ - демодуляции из-за большого ухода промежуточной частоты, применим систему фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ). ФАПЧ снижает уход промежуточной частоты до величины, определяемой небольшой нестабильностью частоты внутреннего генератора ФАПЧ.

Нестабильность частоты этого генератора равна $\Delta f_{\text{ФАПЧ}} = \partial_r * f_{\text{пр}} = 10^{-6} * f_{\text{пр}} \leq 100 \text{ Гц}$

где $\partial_r = 10^{-6}$ - соответствует нестабильности кварцевого генератора; $f_{\text{пр}} \leq 100 \text{ МГц}$.

Таким образом, принимаем, что проектируемый приемник должен иметь систему ФАПЧ с кварцевым опорным генератором. В этом случае ширина полосы пропускания Π линейного тракта может быть выбрана равной

$$\Pi = \Pi_c + 2 * \Delta f_{\text{ФАПЧ}} = 4092 + 2 * 0,1 = 4100 \text{ кГц}.$$

Определим теперь требуемое отношение сигнала к шуму на выходе линейной части приемника.

Отношение сигнала к шуму $\gamma_{2f_{\max}}$ на выходе линейной части приемника в полосе $2f_{\max}$ может быть определено из следующего выражения :

$$\gamma_{2f_{\max}} = \gamma_k * (1 - f_{\min} / f_{\max} - (n_k - 1) * \Delta F_3 / f_{\max}) / (2 * (f_{\max} / F_k)^2 * \sigma * \sigma)$$

где f_{\min} - минимальная частота в спектре группового сигнала;
 $f_{\min} = F_1 - F_{\max} = 47 \text{ кГц}$; F_k - частота поднесущей канала.

Наихудшее отношение сигнала к шуму при частотной модуляции несущей будет в последнем канале, так как спектральная плотность мощности шума на выходе ЧМ-демодулятора растет пропорционально квадрату частоты.

Поэтому, принимая $F_k = F_{20}$, имеем

$$\gamma_{2f_{\max}} = 1000 * (1 - 47/186 - 1/186) / (2 * (186/183)^2 * 3 * 3) = 34,3 = 15,4 \text{ дБ} .$$

Тогда γ в полосе П определится, как

$$\gamma = 2 * f_{\max} / \Pi * \gamma_{2f_{\max}} = 2 * 186 / 4100 * 34,3 = 3,15 = 5,44 \text{ дБ}.$$

Обеспечение рассчитанной величины γ зависит от мощности сигнала P_c - коэффициента шума приемника F , относительной шумовой температуры антенны t_A , шумовой полосы приемника $\Delta f_{\text{ш}}$ (см. разд. 4)

Примем

$$t_A = T_A / T_0 = 200 \text{ К} / 293 \text{ К} = 0,7$$

где $T_A = 200$, К - шумовая температура антенны [1]; $T_0 = 293$ К;

а также $\Delta f_{\text{ш}} = 1,1$ П .

Теперь можно определить требуемый коэффициент шума приемника, как и в работе [1]:

$$F \leq P_a / (\gamma * k * T_0 * \Delta f_{\text{ш}}) + 1 - t_A = 2 * 10^{-13} / (3,65 * 1,38 * 10^{-23} * 293 * 1,1 * 4,1 * 10^6) + 1 - 0,7 = 3,82$$

Приемник с таким коэффициентом шума может быть реализован в указанном диапазоне при использовании в качестве УВЧ транзисторного усилителя.

Для дальнейших расчетов положим, как и в разд.4, общие потери во входных цепях

$$L_{\text{вх}} = 1,0 \text{ дБ}; \text{ коэффициент передачи входной цепи } K_{\text{вц}} = 0,8;$$

коэффициент усиления УВЧ $K_{\text{УВЧ}} = 20$ дБ; потери преобразования $L_{\text{пр}} = 6$ дБ.

Указанные величины после окончательного расчета приемника должны быть уточнены.

Перейдем к выбору типа демодулятора группового сигнала. ЧМ-демодуляторы, как известно, имеют пороговые свойства, которые ограничивают минимальное допустимое значение отношения сигнала к шуму γ на входе демодулятора. Для частотных детекторов обычного типа пороговое значение $\gamma_{\text{пор}} = 10$ дБ. Проектируемый приемник имеет существенно меньшее значение $\gamma = 5,44$ дБ, т.е. частотный детектор в качестве демодулятора группового сигнала не может быть использован.

Оценим возможность применения в качестве демодулятора группового сигнала синхронно-фазового демодулятора, имеющего пороговое значение отношения сигнала к шуму $\gamma_{2f_{\max}}$, равное [2]

$$\text{при частотном разделении каналов } \gamma_{2f_{\max \text{пор}}} = 12,6 * \sqrt{\sigma}$$

Значение $(\gamma_{2f_{\max \text{пор}}} + 1 \text{ дБ})$ соответствует такому отношению сигнала к шуму на входе, при котором действует соотношение

между γ_k и $\gamma_{2f_{\max}}$ использованное выше для расчета $\gamma_{2f_{\max}}$

Имеем

$$\gamma_{2f_{\max \text{пор}}} = 12,6 * \sqrt{3} = 21,8 = 13,8 \text{ дБ}.$$

Так как

$$(\gamma_{2f_{\max \text{пор}}} + 1 \text{ дБ}) < \gamma_{2f_{\max}} = 15,4 \text{ дБ},$$

то принимаем, что в проектируемом приемнике в качестве демодулятора группового сигнала используется синхронно-фазовый детектор (СФД).

Зададимся требуемым $U_{\text{СФД}}$ - входным напряжением СФД. На входе СФД для стабилизации его параметров необходимо поставить ограничитель амплитуд. Входное напряжение ограничителя амплитуды должно быть более 0,5 В, поэтому принимаем $U_{\text{СФД}} = 0,5$ В.

Для определения требований к усилению УПЧ найдем входное напряжение УПЧ:

$$U_{\text{вхУПЧ}} = \sqrt{(R_C * L_{\text{вх}} * K_{\text{вц}} * L_{\text{пр}} * R_{\text{вхУПЧ}})}$$

где $R_{\text{вхУПЧ}}$ принимаем ориентировочно равным 300 Ом;

$$U_{\text{вхУПЧ}} = \sqrt{(2 * 10^{-3} * 0,8 * 0,8 * 100 * 0,25 * 300)} = 22 * 10^{-6} \text{ В}$$

Таким образом, коэффициент усиления УПЧ должен быть

$$K_{\text{УПЧ}} \geq U_{\text{СФД}} / U_{\text{вхУПЧ}} = 0,5 / 22 * 10^{-6} = 22,8 * 10^4$$

Полоса пропускания УПЧ ориентировочно должна быть равной $\Pi_{\text{УПЧ}} = \Pi = 4100$ кГц. Окончательное уточнение значения $\Pi_{\text{УПЧ}}$ может быть сделано после расчета УВЧ и ВЧ и определения их влияния на общую полосу пропускания линейного тракта.

УПЧ должен обеспечивать требуемое значение избирательности по соседнему каналу.

Входная цепь и УПЧ должны обеспечивать заданную избирательность по зеркальному каналу.

Выберем промежуточную частоту в соответствии с условием $f_{\text{пр}} \geq (5-10) * \Pi_{\text{УПЧ}} = 10 * 4100 = 40100$ кГц.

Выберем стандартное значение промежуточной частоты

$$f_{\text{пр}} = 60 \text{ МГц.}$$

Требования к ограничителю амплитуд могут быть сформулированы после расчета СФД и определения допустимого изменения сигнала на его входе. Так как принято решение об использовании ограничителя амплитуд, в приемнике не используется автоматическая регулировка усиления.

У1. ОРГАНИЗАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОФОРМЛЕНИЕ И ЗАЩИТА ПРОЕКТА

В начале курсового проектирования каждый преподаватель-консультант читает вводную лекцию. Затем еженедельно в соответствии с расписанием для студентов проводятся консультации. Кроме индивидуальных бесед, на консультациях преподаватель проводит занятия и со всей группой, посвящая их методам проектирования тех или иных систем и узлов радиоприемных устройств.

Студенты должны посещать консультации не реже двух раз в месяц и присутствовать на всех групповых занятиях.

Выполненный курсовой проект (расчетно-пояснительная записка и графический материал) представляется студентом к защите. В записку должна входить расчетная часть проекта, изложенная на 20 - 30 с. стандартной писчей бумаги. Принципиальная электрическая схема разработанного в проекте устройства, конструкция его узлов выполняются на листах чертежной бумаги в соответствии с ВСКД.

За две недели до срока защиты, указанного в бланке задания на проект, студент должен сдать оформленную расчетно-пояснительную записку на проверку консультанту.

Результаты выполнения курсового проекта оцениваются в процессе его защиты комиссией, состоящей из двух-трех преподавателей кафедры. Защита курсового проекта

состоит из краткого (6-7 мин) доклада студента, затем студент отвечает на поставленные комиссией вопросы.

В случае неудовлетворительной защиты студент в установленном порядке допускается к повторной защите или выполняет новый курсовой проект.

В некоторых случаях курсовой проект по радиоприемным устройствам с разрешения заведующего кафедрой может быть заменен исследовательской работой, выполняемой студентом по заданию того подразделения, где он занимается НИРС. Объем и характер работы в этом случае должен соответствовать курсовое проекту по радиоприемным устройствам.

Оформление и защита такой работы производится в указанном выше порядке.

РИСУНКИ.

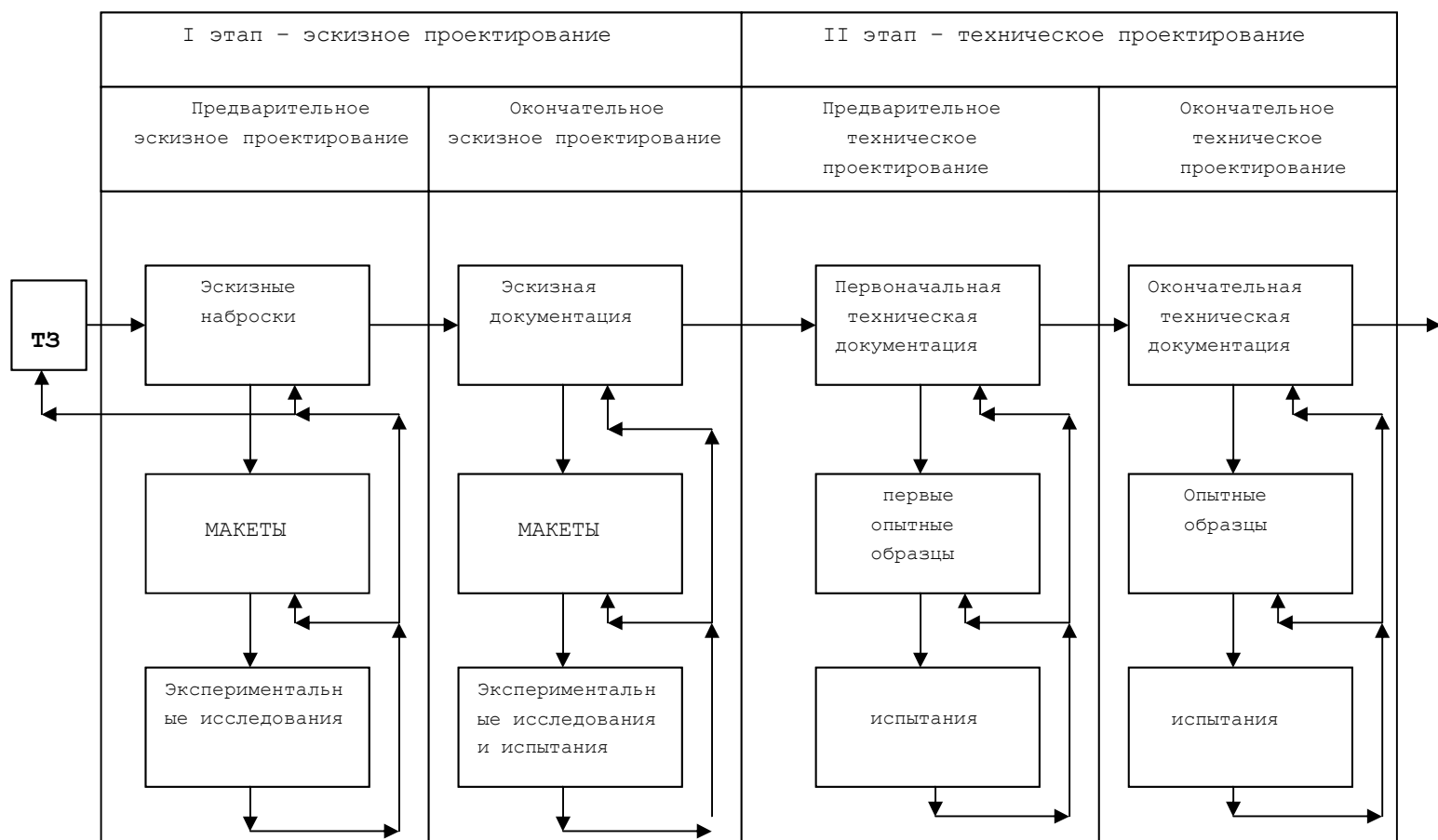


Рисунок 1. Этапы проектирования.

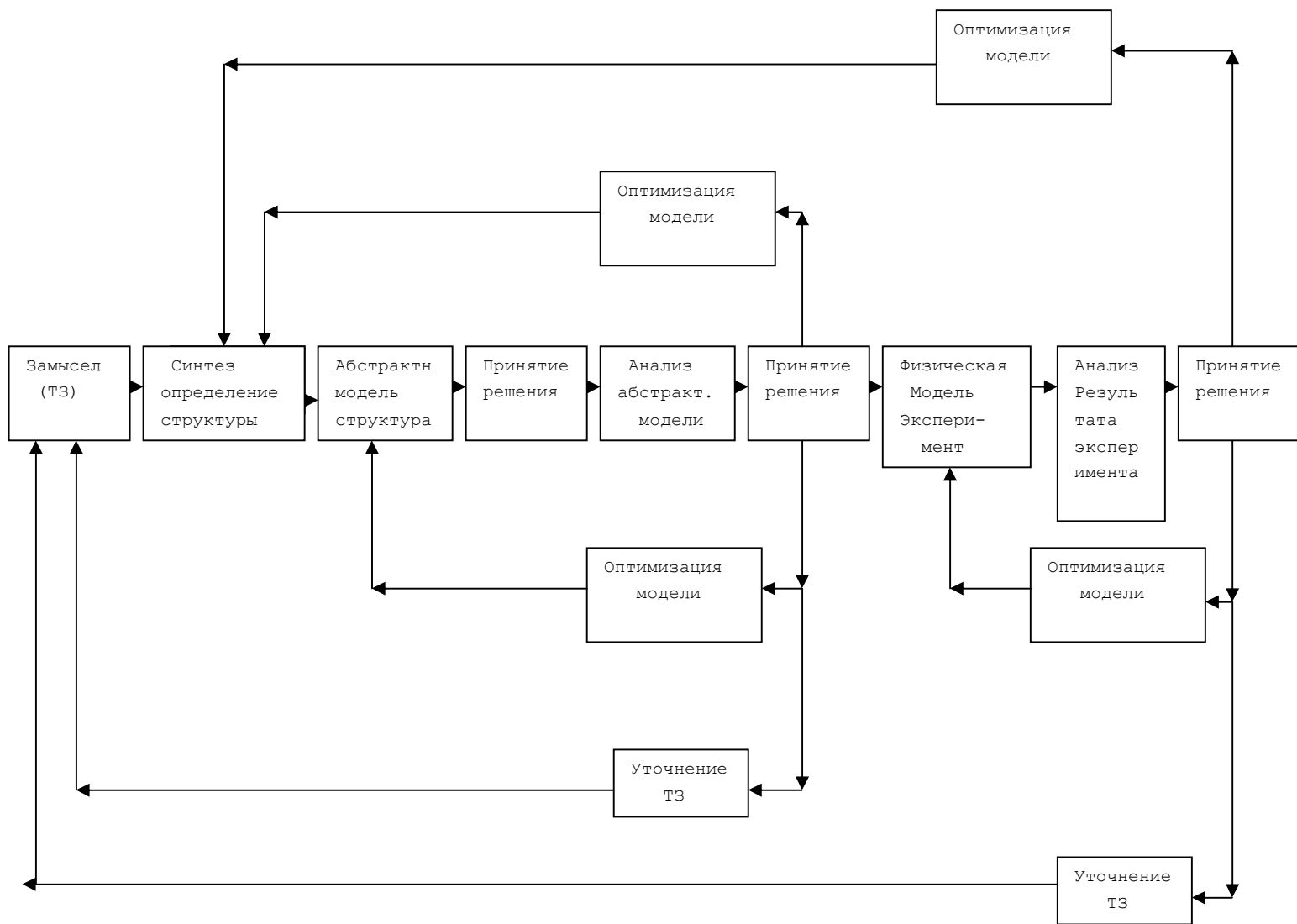


Рисунок 2. Модель процесса эскизного проектирования

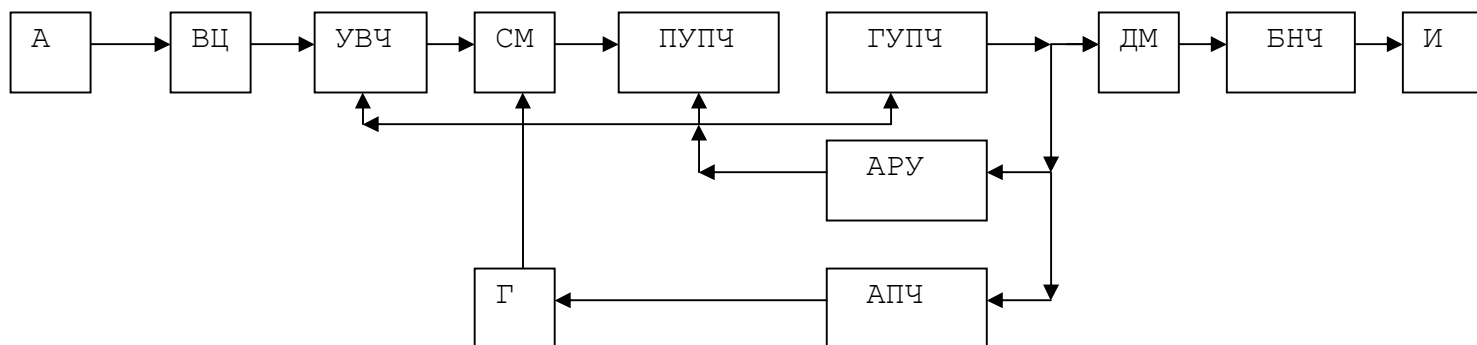


Рисунок 3. Структурная схема приемника с однократным преобразованием частоты.

А- антенна ВЦ- входная цепь УВЧ- усилитель высокой частоты СМ- смеситель Г- гетеродин ПУПЧ и ГУПЧ- предварительный и главные усилители промежуточной частоты ДМ- демодулятор БНЧ- блок низкой частоты И- индикатор сообщений АРУ- автоматическая регулировка частоты АПЧ- автоматическая подстройка частоты

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование радиоприемных устройств /Под общей редакцией А. П. Сиверса.
2. Клэппер Д., Фрэнкл Д. Системы фазовой и частотной автоподстройки частоты.