

Методика расчета основных параметров функциональной схемы приемной части системы радиосвязи

Method for calculating the main parameters of the functional scheme of the receiving part of the radio communication system

Габдуллин Р.Б.

Студент кафедры «Средства связи и информационная безопасность» Омского государственного технического университета
e-mail: Rustem.gabdullin@mail.ru

Gabdullin R. B.

Student, Department "Communications and information security", Omsk State Technical University
e-mail: Rustem.gabdullin@mail.ru

Аннотация

Неотъемлемую роль в системе связи играет ее приемная часть. Довольно серьезным аспектом при проектировании приемной части системы является расчет ее параметров. В данной статье рассмотрен порядок расчета таких параметров приемной части системы связи, как полоса частот генерации ЧМ-канала, полоса частотной нестабильности канала, общий коэффициент усиления приемного тракта и т.д. Перед проведением данных расчета произведено ознакомление с функциональной схемой радиоприемной части системы.

Ключевые слова: приемная часть, усилитель, схема, фильтр, частота, помеха.

Abstract

An integral role in the communication system is played by its receiving part. A rather serious aspect in the design of the receiving part of the system is the calculation of its parameters. This article describes the procedure for calculating such parameters of the receiving part of the communication system as the frequency band of the FM channel generation, the frequency instability band of the channel, the total gain of the receiving path, etc. Before carrying out these calculations, the functional diagram of the radio receiving part of the system was familiarized.

Keywords: the receiving part of the amplifier circuit, filter, frequency, interference.

Для начала будет рассмотрена функциональная схема приемной части системы связи (рис. 1). Для данной схемы помимо коммутатора (К) рассматриваются:

– два усилителя радиочастоты (УРЧ₁ и УРЧ₂);

– 1-й смеситель (VT1), на 2-ой вход которого через буферный усилитель (БУ₂) подается сигнал с генератора, управляемого напряжением (ГУН₂), который выполняет роль первого гетеродина приемника [1].

Диапазон перестраиваемой частоты 1-го гетеродина - 173,125 ÷ 177,400 МГц (N = 172 канала). В схеме ГУН₂ не должна производиться частотная модуляция. В целях увеличения мощности сигнала 1-го гетеродина и его надежной развязки от смесителя и синтезатора частоты должен использоваться БУ₂. Данный буферный усилитель должен быть собран по каскадной схеме «ОЭ – ОБ» [2].

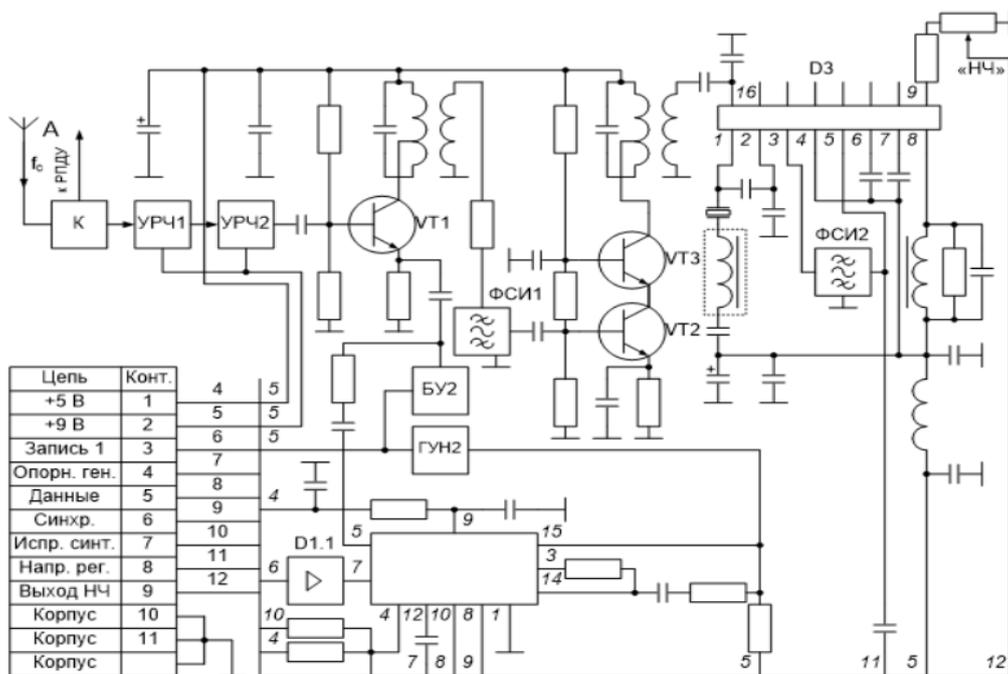


Рис. 1. Функциональная схема приемной части

Большая интегральная схема (БИС) синтезатора частоты приемника выполнена на микросхеме D2 типа КФ1015ПЛ4Б (или КР1015ХК2). Напряжение рассогласования, воссозданное частотно-фазовым детектором синтезатора, через ФНЧ проходит на варикапы колебательного контура ГУН₂ и управляет его частотой.

В приемном синтезаторе предусмотрена схема контроля (вывод 4), формирующая сигнал исправности синтезатора при наличии захвата в кольце фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

Преобразованный сигнал со смесителя (СМ₁) через фильтр сосредоточенной избирательности (ФСИ₁) проходит на усилитель первой промежуточной частоты f_{пч1}. С её нагрузки (2-контурного фильтра) сигнал проходит на вход микросхемы D3 (типа МС3371Р). Данная микросхема производит второе преобразование частоты сигнала во вторую промежуточную частоту f_{пч2}, ее усиление, частотное детектирование и предварительное усиление звуковой частоты речевого сигнала. К выводу 1 микросхемы подсоединен кварцевый резонатор (Z₁). Кварцевый генератор в данном случае необходим для генерации 2-м гетеродином частоты. Сигнал 2-ой промежуточной частоты выделяется кварцевым ФСИ₂, усиливается и детектируется [3]. Сигнал, усиленный микросхемой, проходит на активный фильтр нижних частот (ФНЧ) и конечный усилитель в блоке автоматики и управления (используется как частотный корректор, обеспечивает спад («завал») частотной характеристики сигнала -6 дБ/октава). В дальнейшем сигнал звуковой частоты используется в блоке автоматики.

Перейдем к расчетам параметров приемной части системы радиосвязи со следующими исходными параметрами:

- $f_{раб} = 152,350$ МГц;
- $U_{вх\ min} = 0,25$ мкВ;
- $f_{г2} = \Delta f_{пч1} + 455$ кГц = 21,855 МГц;
- $\Delta f_{пч1} = 21,4$ МГц;
- $\Delta f_{пч2} = 455$ кГц;
- $Se_{з.к} = 55$ дБ;
- $Se_{с.к} = 58$ дБ;
- $\delta f = 10^{-5}$;
- $\Delta f_{max} = 4$ кГц;

- $\Delta f_{\text{ном}} = 3,5 \text{ кГц}$;
- $\Delta F = 300 \div 3400 \text{ Гц}$.

Для начала произведем расчет полосы частот генерации ЧМ-канала по формуле:

$$P_c = 2 F_{\text{max}} (1 + M_f + \sqrt{M_f}), \quad (1)$$

где $M_f = \Delta f_{\text{max}} / F_{\text{max}}$ – индекс частотной модуляции (ЧМ); Δf_{max} – максимальная девиация частоты ЧМ-сигнала; F_{max} – максимальная частота телефонного спектра.

$$M_f = 4 / 3,4 = 1,176;$$

$$P_c = 2 \cdot 3400 \cdot (1 + 1,176 + \sqrt{1,176}) = 22,1 \text{ кГц}.$$

Обратим внимание на полосу частотной нестабильности канала:

$$P_{\text{нест}} = \sqrt{(\Delta f_c^2 + \Delta f_{\gamma 1}^2 + \Delta f_{\text{ПЧ}1}^2 + \Delta f_{\gamma 2}^2 + \Delta f_{\text{ПЧ}2}^2)}, \quad (2)$$

где $\Delta f_{\text{раб}} = f_{\text{раб}} \cdot \delta f_e$ и $\Delta f_{\gamma 1} = f_{\gamma 1} \cdot \delta f_{\gamma}$ – абсолютная нестабильность частоты возбуждителя и гетеродина.

$$\Delta f_{\gamma 1} = f_{\text{раб}} \cdot 21,4 \text{ МГц}.$$

Абсолютная нестабильность трактов промежуточной частоты (ПЧ) определяется следующим образом:

$$\Delta f_{\text{ПЧ}i} = f_{\text{ПЧ}i} \cdot \delta f_{\text{ПЧ}}, \quad (3)$$

где $\delta f = 10^{-5}$.

Производим расчеты:

$$-\Delta f_{\text{раб}} = 152,350 \cdot 10^6 \cdot 10^{-5} = 1,52 \text{ кГц};$$

$$-\Delta f_{\gamma 1} = 173,75 \cdot 10^6 \cdot 10^{-5} = 1,737 \text{ кГц};$$

$$-\Delta f_{\gamma 2} = 21,855 \cdot 10^6 \cdot 10^{-5} = 0,218 \text{ кГц};$$

$$-f_{\gamma 1} = 152,350 \cdot 10^6 + 21,4 \cdot 10^6 = 173,75 \text{ МГц};$$

$$-\Delta f_{\text{ПЧ}1} = 21,4 \cdot 10^6 \cdot 10^{-5} = 214 \text{ Гц};$$

$$-\Delta f_{\text{ПЧ}2} = 455 \cdot 10^6 \cdot 10^{-5} = 4,55 \text{ Гц}.$$

$$P_{\text{нест}} = \sqrt{(1520^2 + 1737^2 + 214^2 + 218^2 + 4,55^2)} = 2,53 \text{ кГц}$$

Теперь же определим ширину полосы пропускания приемного тракта по формуле:

$$P_{\text{общ}} = P_c + P_{\text{нест}} \quad (4)$$

$$P_{\text{общ}} = 22,1 \cdot 10^3 + 2,53 \cdot 10^3 = 24,63 < 25 \text{ кГц}$$

Найдем 1-ю промежуточную частоту в зависимости от заданной избирательности по зеркальной помехе $Se'_{3.п.}$, числа колебательных контуров в тракте высокой частоты (ВЧ) пвч и их эквивалентного затухания d_3 ($d_3 = 0,06$):

$$f_{\text{ПЧ}1} \geq \frac{f_c d_3}{4} \sqrt[3]{n_{\text{ВЧ}} \sqrt{Se'_{3.п.}{}^2 - 1}}. \quad (5)$$

В качестве 1-ой промежуточной частоты возьмем стандартную, принятую в радиостанциях ($f_{\text{ПЧ}1} = 21,4 \text{ МГц}$, пвч = 3).

$$Se'_{3.п.} = 10^{\frac{Se_{3.к.}}{20}} \quad (6)$$

$$Se'_{3.п.} = 10^{\frac{56}{20}} = 562$$

$$21,4 \cdot 10^6 \geq \frac{152,350 \cdot 0,06 \cdot 10^6}{4} \sqrt[3]{3 \sqrt{562^2} - 1} \Rightarrow 21,4 \cdot 10^6 \geq 18,7 \cdot 10^6$$

2-ю промежуточную частоту вычислим по формуле:

$$f_{ПЧ2} \leq \frac{2 \Delta f_{с.к}}{d_{ПЧ} \sqrt[n_{ПЧ}]{Se'_{с.к}{}^2 - 1}}, \quad (7)$$

где $\Delta f_{с.к} = 25$ кГц;

Имеем, что:

$$- Se'_{с.к} = 10 \left(\frac{Se_{с.к}}{20} \right);$$

- $d_{ПЧ} \leq 0,02$ (при использовании ФСИ);

- $n_{ПЧ} = 9$.

Получаем:

$$- Se'_{с.к} = 794;$$

$$- 455 \cdot 10^3 \leq \frac{2 \cdot 25 \cdot 10^3}{0,01 \cdot \sqrt[9]{794^2 - 1}} \Rightarrow 455 \cdot 10^3 \leq 2,708 \cdot 10^6$$

В качестве второй промежуточной частоты можно выбрать стандартную для радиостанций ($f_{ПЧ2} = 455$ кГц).

Степень ослабления 2-ой зеркальной помехи в тракте преселектора (УРЧ) оценивается по формуле:

$$Se_{2з.к} = \left[\sqrt{1 + \frac{1}{d_{эВЧ}^2} \left(\frac{4 f_{ПЧ2}}{f_{раб}} \right)^2} \right]^{n_{ВЧ}}, \quad (8)$$

где $d_{эВЧ} \approx 0,06$; $n_{ВЧ} = 3$.

$$Se_{2з.к} = \sqrt{1 + \frac{1}{0,06^2} \left(\frac{4 \cdot 455 \cdot 10^3}{151.725} \right)^2}^3 = 1,06$$

Малое ослабление зеркальной помехи в преселекторе обуславливает применение в трактах УПЧ₁ и УПЧ₂ фильтров сосредоточенной избирательности (кварцевого или пьезокерамического типа). Организуем предварительное распределение усиления по каскадам приемника. Например, 2-каскадный УРЧ может обладать устойчивым коэффициентом усиления $K_{урч}$ не менее 10. В этом случае при чувствительности приемника $U_{вх.мин}$ на входе первого преобразователя образуется сигнал с некоторым напряжением:

$$U_{вх.нр1} = U_{вх.мин} K_{урч} \quad (9)$$

Получаем:

$$U_{вх.нр1} = 0,25 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 2,5 \text{ мкВ}$$

Допустим, что общий коэффициент усиления $K_{УПЧ1}$ в тракте УПЧ₁ равен 31. В таком случае на вход 2-го преобразователя будет подаваться напряжение:

$$U_{вх.нр2} = U_{вх.нр1} K_{УПЧ1} \quad (10)$$

$$U_{вх.нр2} = 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 31 = 77,5 \text{ мкВ}$$

Теперь же стоит оценить общий коэффициент усиления приемного тракта с некоторым запасом (если на предельной чувствительности микросхема МС3371Р может выдавать выходное напряжение низкой частоты (НЧ) не менее $U_{вых НЧ} = 0,12$ В)):

$$K_{общ} = \frac{U_{вых НЧ}}{U_{вх.мин}} \quad (11)$$

Получаем

$$K_{общ} = \frac{0,12}{0,25 \cdot 10^{-6}} = 0,48 \cdot 10^6$$

Коэффициент усиления, приходящийся на микросхему МС3371Р, находится по формуле:

$$K_{УПЧ_2} = \frac{K_{общ}}{K_{ВЧ} K_{УПЧ_1}} \quad (12)$$

Итого:

$$K_{УПЧ_2} = \frac{480000}{10 \cdot 31} = 1548.$$

Итак, работа по расчету основных параметров функциональной схемы приемной части системы радиосвязи считается выполненной. Навыки по данному расчету успешно отработаны.

Литература

1. *Атаев А.И.* Радиотехнический справочник по аналоговым микросхемам [Текст] / Атаев А. И., Болотников Д. А. – Москва: Изд-во МЭИ: ТОО "Позитив", 1993. – 412 с.
2. *Сифоров В.И.* Радиоприемные устройства [Текст] / Сифоров В.И. [и др.]; под ред. Сифорова В. И. – Москва: Советское радио, 1974. – 563 с.
3. *Сиверс А.П.* Проектирование радиоприемных устройств: учеб. пособие для студентов радиотехн. специальностей вузов [Текст] / Сиверс А. П. [и др.]; под общ. ред. Сиверса А. П. – Москва: Сов. радио, 1976. – 486 с.