

**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

**Курсовая работа по курсу**

**«Теория и проектирование радиосистем  
передачи информации и управления»**

Выполнил:  
Константинов К.В.  
Группа 14-502

Проверил:  
Баранников Л.Н.

**Москва 2011**

**МАИ Каферда 402**  
Задание на курсовой проект  
**Теория и проектирование радиосистем  
передачи информации и управления**

**№ 10**

Студенту группы 14-502 Константинову Константину

- 1) Спроектировать многоканальную цифровую радиосистему передачи информации «ИСЗ-ретранслятор - ИСЗ-абонент»
- 2) Исходные данные для проектирования:
  - дальность 40 000 км
  - частота 600 МГц
  - мощность передатчика 10 Вт
  - Коэффициент усиления прд. Антенны 10 дБ
  - эффективная площадь приёмной антенны 1 кв. м
  - Суммарная шумовая температура 5000 К
  - число уплотняемых каналов 20
  - частота среза датчиков 0,16 Гц
- 3) Дополнительные требования и условия:
  - Уплотнение: циклическое временное
  - Суммарные потери сигнала по мощности: -3 дБ
  - Суммарная относительная погрешность передачи: 1%

Дата выдачи задания: \_\_\_\_\_ Консультант: \_\_\_\_\_

## Содержание:

1. Введение.....	4
2. Оценка энергетических характеристик радиолинии.....	4
3. Ошибки дискретизации и восстановления.....	5
4. Шумы квантования.....	6
5. Аномальная ошибка.....	6
6. Оптимизация частоты опроса датчиков.....	7

## 1. Введение

Многоканальные цифровые радиосистемы передачи информации (РСПИ) находят применение в радиокомплексах, обеспечивающих управление и функционирование космических и атмосферных летательных аппаратов (ЛА), так как обладают высокой точностью и помехоустойчивостью передачи сообщений, легко сопрягаются с бортовыми и наземными вычислительными комплексами. Однако до сих пор первичные датчики сообщений выдают их чаще всего в аналоговом виде, поэтому в цифровых РСПИ приходится предусматривать передачу и аналоговых и цифровых первичных сообщений. Для этой цели в передающей аппаратуре осуществляется преобразование первичных аналоговых сообщений в цифровой вид.

Одним из главных достоинств цифрового метода передачи является то, что цифровые массивы аналоговых сообщения могут практически неограниченное время храниться в электронном виде на цифровых носителях, без ухудшения качества многократно перезаписываться, подвергаться цифровой обработке и преобразованиям, передаваться по высоконадежным цифровым проводным и радиоканалам, локальным и глобальным вычислительным сетям.

## 2. Оценка энергетических характеристик радиолинии

В радиолиниях независимо от того, в каком диапазоне они работают, всегда присутствуют естественные шумы, принятые антенной, и собственные шумы приемных устройств. На входе приемника мощность помехи суммируется с мощностью принятого сигнала, имеют гауссово распределение и практически равномерный спектр в пределах полосы пропускания приемника.

Энергетический потенциал радиолинии - это отношение средней мощности сигнала  $P_c$  к спектральной плотности шума  $G_{ш}$ , пересчитанное ко входу приемника:

$$Q = P_c / G_{ш} \text{ [Гц]}$$

Мощность сигнала на входе приемника радиолинии, работающей в пределах прямой геометрической видимости, находится по формуле:

$$P_c = P_{прд} D_{прд} S_{прм} L_{пот} / 4\pi R^2$$

где  $P_{прд}$  - мощность передающего устройства;  $D_{прд}$  - коэффициент усиления передающей антенны;  $S_{прм}$  - эффективная площадь приемной антенны;  $L_{пот}$  - коэффициент, учитывающий дополнительное ослабление сигнала в радиолинии ( $L < 1$ );  $R$  - расстояние между передающей и приемной антеннами.

$$P_c = (10 \text{ Вт} \cdot 10 \cdot 1 \text{ м}^2) / (4\pi \cdot (40 \cdot 10^6 \text{ м})^2) = 2,48 \cdot 10^{-15} \text{ Вт}$$

Уровень шума на входе приемного устройства зависит от собственных шумов приемника и шумов поступающих из антенно-фидерного тракта. Спектральная плотность шума, приведенная ко входу приемника может быть вычислена по формуле:

$G_{ш} = k \cdot T_{ш}$  , где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/град – постоянная Больцмана,  $T_{ш}$  – суммарная температура шума, в градусах Кельвина ( $K^0$ ).

$$G_{ш} = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 5000 = 6,9 \cdot 10^{-20} \text{ Вт} \cdot \text{с}$$

Зная спектральную плотность шума  $G_{ш}$  , можно вычислить энергетический потенциал радиолинии:

$$Q = 2,48 \cdot 10^{-15} \text{ Вт} / 6,9 \cdot 10^{-20} \text{ Вт} \cdot \text{с} = 3,6 \cdot 10^4 \text{ Гц}$$

### 3. Ошибки дискретизации и восстановления.

Аналоговая форма сигнала — наиболее распространённая форма передаваемой информации в системах связи с подвижными объектами (СПРС). Для передачи по цифровой радиолинии аналоговое сообщение сначала подвергается дискретизации по времени (заменяется последовательностью дискретных отсчетов).

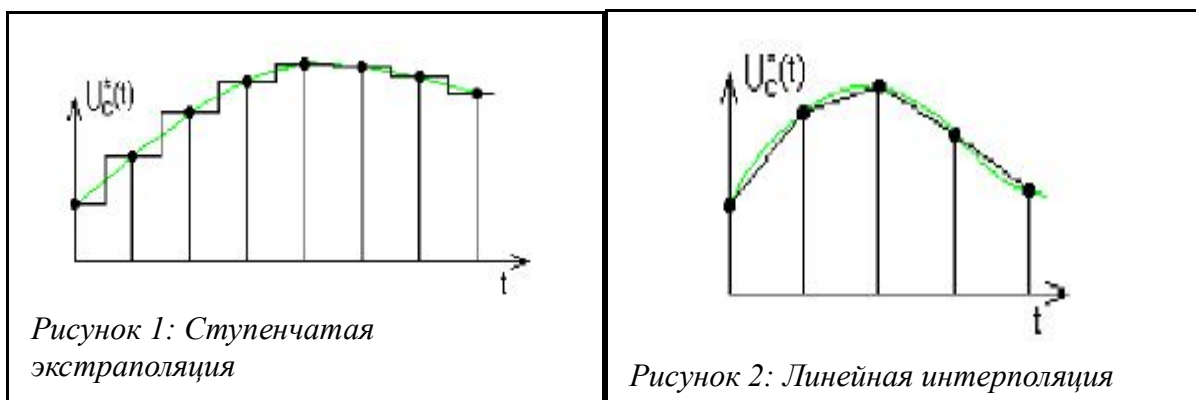
Теорема Котельникова устанавливает, что для сообщений с ограниченным спектром достаточно знать значения передаваемой функции в соответствующих равноотстоящих по времени точках и тогда все промежуточные значения передаваемого сообщения можно восстановить абсолютно точно при интерполяции отсчетов в месте приема.

Однако реальные сообщения всегда ограничены по времени и вследствие этого имеют неограниченный спектр. Теорема Котельникова к таким сигналам неприменима.

На практике используется передача равноотстоящих отсчетов сообщения. Но такой способ передачи не обеспечивает отсутствия искажений сигнала.

Степень искажения сигнала зависит от способа его восстановления, частоты дискретизации и ширины спектра сигнала.

Рассмотрим 2 способа восстановления сигнала: ступенчатую экстраполяцию (рис. 1) и линейную интерполяцию (рис. 2).



Ступенчатая экстраполяция менее требовательна к вычислительным ресурсам, однако, линейная интерполяция дает лучшие результаты и среднеквадратическую ошибку в 1,5 раза меньше.

Формулы для расчёта ошибок:

$$\text{Ступенчатая экстраполяция } \varepsilon_{\text{д.в.}}^2 = \pi F_{\text{ср}} / F_{\text{опр}}$$

$$\text{Линейная интерполяция } \varepsilon_{\text{д.в.}}^2 = 2\pi F_{\text{ср}} / 3F_{\text{опр}}$$

где  $F_{\text{ср}}$  — частота среза датчиков,  $F_{\text{опр}}$  — частота опроса датчиков.

Так как суммарная погрешность включает в себя 3 составляющие ошибки: дискретизации и восстановления, квантования и аномальную; то для дальнейших расчетов можно предположить, что все эти составляющие равны между собой

$$\varepsilon_{\text{д.в.}}^2 = \varepsilon_{\text{кв}}^2 = \varepsilon_{\text{ан}}^2 = 10^{-2} / 3$$

Теперь можно вычислить частоту опроса датчиков, удовлетворяющую заданной ошибке:

Ступенчатая экстраполяция

$$F_{\text{опр}} = \pi F_{\text{ср}} / \varepsilon_{\text{д.в}}^2 = \pi * 0,16 \text{ Гц} / (10^{-2} / 3) = 150 \text{ Гц}$$

Линейная интерполяция

$$F_{\text{опр}} = 2\pi F_{\text{ср}} / 3\varepsilon_{\text{д.в}}^2 = 2\pi * 0,16 \text{ Гц} / 3(10^{-2} / 3) = 100 \text{ Гц}$$

#### 4. Шумы квантования.

При квантовании сообщения по амплитуде весь диапазон возможных значений сообщения разбивается на конечное число уровней квантования. Вместо значения амплитуды сообщения передается номер уровня квантования, в котором находится в данный момент сообщение. В приемном устройстве при декодировании восстанавливается сообщение с амплитудой, равной значению середины уровня квантования. При этом (при большом числе уровней квантования) обеспечивается наименьшая ошибка восстановления сообщения. Разность между амплитудой мгновенного отсчета и значением сообщения после схемы декодирования образует помеху, которая называется шумом квантования. Шумы квантования приводят к погрешности при передаче сообщений:

$$\varepsilon_{\text{кв}}^2 = 1/L^2, \text{ где } L - \text{ количество уровней квантования}$$

Рассмотрим 2 варианта АЦП, с разрядностью 4 ( $L = 16$ ) и 5 ( $L = 32$ ), тогда ошибки квантования будут такими:

$$\text{четырёхразрядный АЦП} \quad \varepsilon_{\text{кв}}^2 = 1 / L^2 = 1/16 = 3,9 * 10^{-3}$$

$$\text{пятиразрядный АЦП} \quad \varepsilon_{\text{кв}}^2 = 1 / L^2 = 1/32 = 9,7 * 10^{-4}$$

#### 5. Аномальная ошибка

Возможности современных АЦП и ЦАП позволяют свести величину ошибок квантования и восстановления к ничтожно малым значениям. К сожалению эти возможности невозможно полностью использовать при передаче цифрового сообщения по каналу связи с шумами. Помехи в канале связи и в аппаратуре обработки цифровых потоков приводят к трансформациям одних кодовых комбинаций в другие, а значит, к значительному искажению первичного дискретного отсчета, т.е. к значительным, "аномальным" ошибкам  $\varepsilon_{\text{АН}}^2$ . Чтобы определить величину этой ошибки необходимо вычислить вероятность ошибки приема двоичного символа, которая зависит соотношения сигнал/шум на входе приемника  $h_0^2$  и вида манипуляции сигнала. Рассмотрим 2 варианта манипуляции сигнала при некогерентном приеме:

При частотной манипуляции сигнала ошибка приема двоичного символа будет следующей:

$$P_{\text{ош}} = 0,5 * \exp \{- h_0^2 / 2\}$$

При относительной фазовой манипуляции:

$$P_{\text{ош}} = 0,5 * \exp \{- h_0^2\}$$

Аномальная ошибка находится как:  $\varepsilon_{\text{АН}}^2 = 4 * P_{\text{ош}}$

Чтобы найти вероятность ошибки приема двоичного символа необходимо вычислить длительность кадра, затем длительность слова и символа:

$$T_k = 1/F_{\text{опр}} \quad T_{\text{сл}} = T_k / (N+1) \text{ ,где } N\text{- число каналов}$$

$$\tau_c = T_{\text{сл}} / n \text{ ,где } n\text{- разрядность АЦП}$$

$$h_0^2 = Q * \tau_c$$

Проделав все необходимые вычисления мы получим 8 вариантов аномальной и суммарной ошибки.

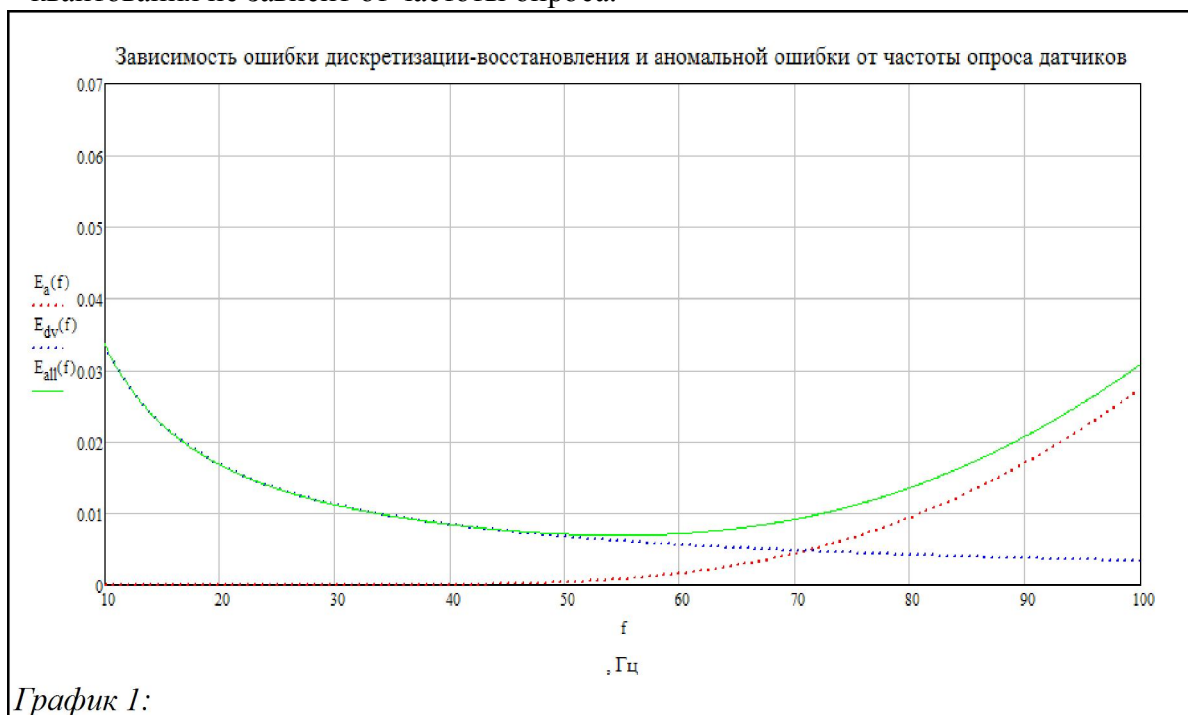
Полученные данные сведены в таблицу 1.

**Таблица 1: Суммарная погрешность.**

Метод восст. сигнала	Разрядность АЦП	Модуляция	T кадра (мс)	T слова (мкс)	T символа, (мкс)	Сигнал/ шум	$\epsilon_{\text{АН}}^2$	$\epsilon_{\Sigma}^2$
Ступенчатая экстраполяция	Четыре разряда	КИМ-ЧМ	6,6	317	79	2,86	0.472	0.486
		КИМ-ОФМ	6,6	317	79	2,86	0.114	0.122
	Пять разрядов	КИМ-ЧМ	6,6	317	63	2,28	0.637	0.641
		КИМ-ОФМ	6,6	317	63	2,28	0.203	0.207
Линейная интерполяция	Четыре разряда	КИМ-ЧМ	10	476	119	4,29	0.234	0.241
		КИМ-ОФМ	10	476	119	4,29	0.027	0.035
	Пять разрядов	КИМ-ЧМ	10	476	95	3,43	0.359	0.364
		КИМ-ОФМ	10	476	95	3,43	0.065	0.069

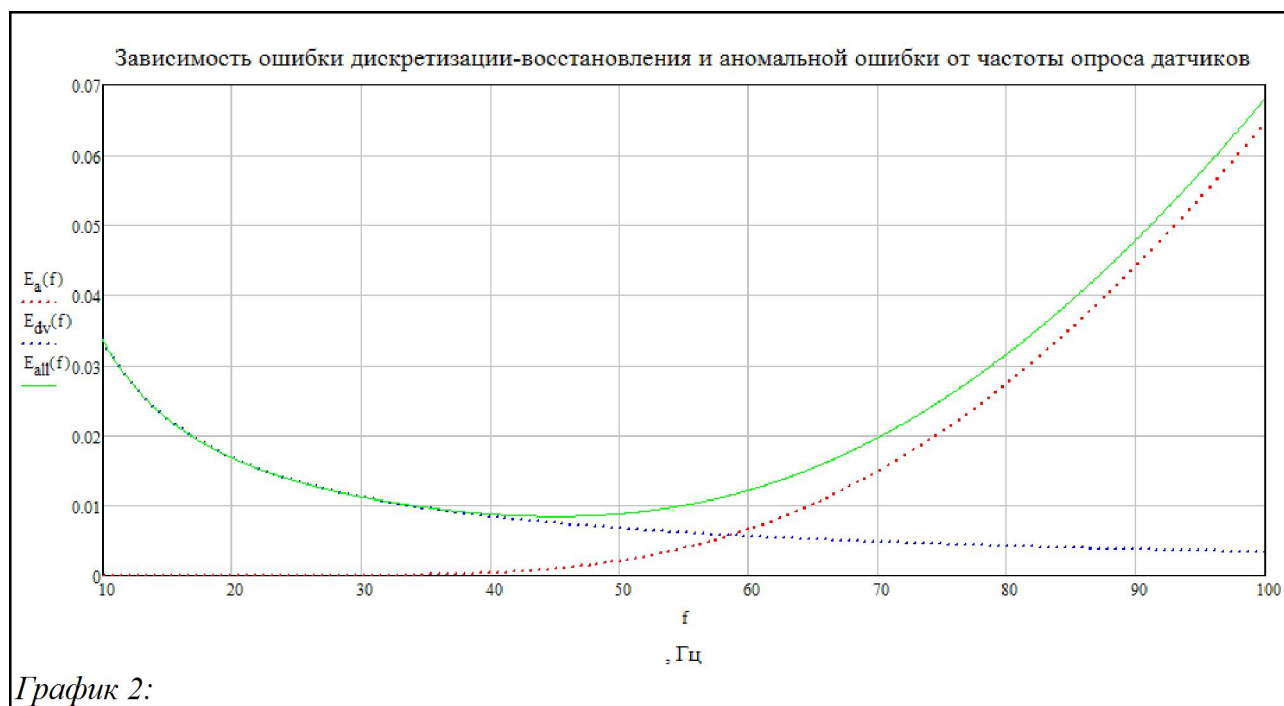
## 6. Оптимизация частоты опроса датчиков

Из таблицы 1 видно, что минимальное значение суммарной погрешности ( $\epsilon_{\Sigma}^2=3.5*10^{-2}$ ) достигается при восстановлении сигнала методом линейной интерполяции, использования четырехразрядного АЦП и относительной фазовой манипуляции при некогерентном приеме. Так как эта величина больше чем  $10^{-2}$ , то необходимо провести оптимизацию частоты опроса датчиков для нахождения оптимального значения  $\epsilon_{\text{д.в}}^2 + \epsilon_{\text{АН}}^2$ . Можно заметить, что ошибка квантования не зависит от частоты опроса.



В ходе оптимизации выявлено, что даже при оптимальном значении частоты опроса (55 Гц), суммарная относительная погрешность превышает значение  $10^{-2}$  из-за того, что при использовании четырёхразрядного АЦП  $\epsilon_{\text{кв}}^2=3,9*10^{-3}$ , а минимум суммы  $\epsilon_{\text{д.в}}^2+\epsilon_{\text{АН}}^2$  имеет значение  $7*10^{-3}$  (см. график 1).

Заменим АЦП на пятиразрядный. Для пятиразрядного АЦП  $\epsilon_{\text{кв}}^2=9,7*10^{-4}$ , а минимум суммы  $\epsilon_{\text{д.в}}^2+\epsilon_{\text{АН}}^2$  имеет значение  $8,4*10^{-3}$  на частоте 45 Гц (см график 2). При этом общая ошибка  $\epsilon_{\Sigma}^2=9,3*10^{-3} < 10^{-2}$ , следовательно суммарная относительная погрешность удовлетворяет требованиям задания.



Итоговые параметры радиосистемы передачи информации сведены в таблицу 2:

**Таблица 2**

Метод восст. сигнала	Разрядность АЦП	Модуляция	T кадра (мс)	T слова (мс)	T символа, (мкс)	Сигнал/ шум	$\epsilon_{\text{АН}}^2$	$\epsilon_{\Sigma}^2$
Линейная интерполяция	Пять разрядов	КИМ-ОФМ	22	1,05	211	7,62	$9,7*10^{-4}$	$9,3*10^{-3}$

## 7. Список использованной литературы

- 1) Принципы построения и основные этапы проектирования многоканальных цифровых радиосистем передачи информации ЛА. Баранников Л.Н. 1999г.
- 2) Конспект лекций по курсу ТП РСПИУ.