

Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Институт Радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова

**Занятие №1**  
**«Прохождение шума через БВЧ»**

Группа: ЭР-15-15  
Студент: Жеребин В. Р.  
Преподаватель: Наумова Ю.Д.

Москва  
2019

## Задача №1

Дано:

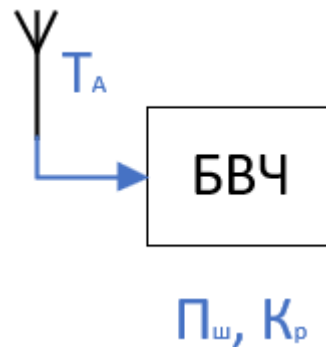
$$T_A = T_0 = 293 K$$

$$P_{\text{ш вых}} = 20 \times 10^{-9} \text{ Вт}$$

$$\Pi_{\text{ш}} = 2 \text{ МГц}$$

$$K_p = 60 \text{ дБ}$$

$$P'_{\text{ш соб}} - ?$$



Решение

$$K_p = 10^{\frac{60}{10}} = 10^6$$

$$P_{\text{ш вх}} = \frac{P_{\text{ш вых}}}{K_p} = \frac{20 \times 10^{-9}}{10^6} = 20 \times 10^{-15} \text{ Вт}$$

$$P_{\text{ш вх}} = P_{\text{ш А}} + P'_{\text{ш соб}} = k \cdot T_A \cdot \Pi_{\text{ш}} + k \cdot T_{\text{ш}} \cdot \Pi_{\text{ш}}$$

$$P_{\text{ш А}} = k \cdot T_A \cdot \Pi_{\text{ш}} = 1,38 \times 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 \times 10^6 = 8,087 \times 10^{-15} \text{ Вт}$$

$$P'_{\text{ш соб}} = P_{\text{ш вх}} - P_{\text{ш А}} = 20 \times 10^{-15} - 8,087 \times 10^{-15} = 11,913 \times 10^{-15} \text{ Вт}$$

Ответ: приведенная ко входу мощность собственного шума приемника составляет  $11,913 \times 10^{-15} \text{ Вт}$

## Лабораторная работа

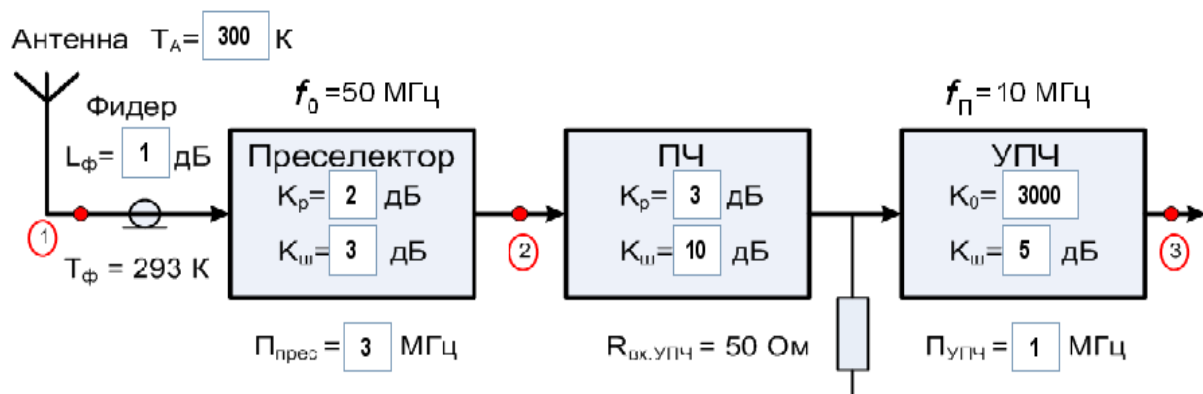


Рис.1. Схема РПУ

## Расчет параметров схемы

Перевод децибел в относительные единицы:

	Фидер	Преселектор	ПЧ	УПЧ
$K_p$	0,794	1,585	1,995	3000
$K_{ш}$	1,259	1,995	10	3,162

$$K_{шф} = 1 + (L_{\phi} - 1) \cdot \frac{T_{\phi}}{T_0} = L_{\phi} = 1,259 - \text{коэффициент шума фидера};$$

$$K_{ш} = K_{шф} + \frac{K_{шпрес} - 1}{K_{пф}} + \frac{K_{шпч} - 1}{K_{пф} \cdot K_{прес}} + \frac{K_{шупч} - 1}{K_{пф} \cdot K_{прес} \cdot K_{пч}} = 10,525 -$$

коэффициент шума БВЧ;

$$T_{шбвч} = T_0 \cdot (K_{ш} - 1) = 2791K - \text{шумовая температура БВЧ};$$

$$T_{шпу} = T_A + T_{шбвч} = 3091K - \text{шумовая температура РПУ};$$

$$G_{ш} = k \cdot T_{шпу} = 4,266 \times 10^{-20} \frac{Вт}{Гц} - \text{спектральная плотность мощности}$$

приведенного ко входу суммарного шума;

## Моделирование

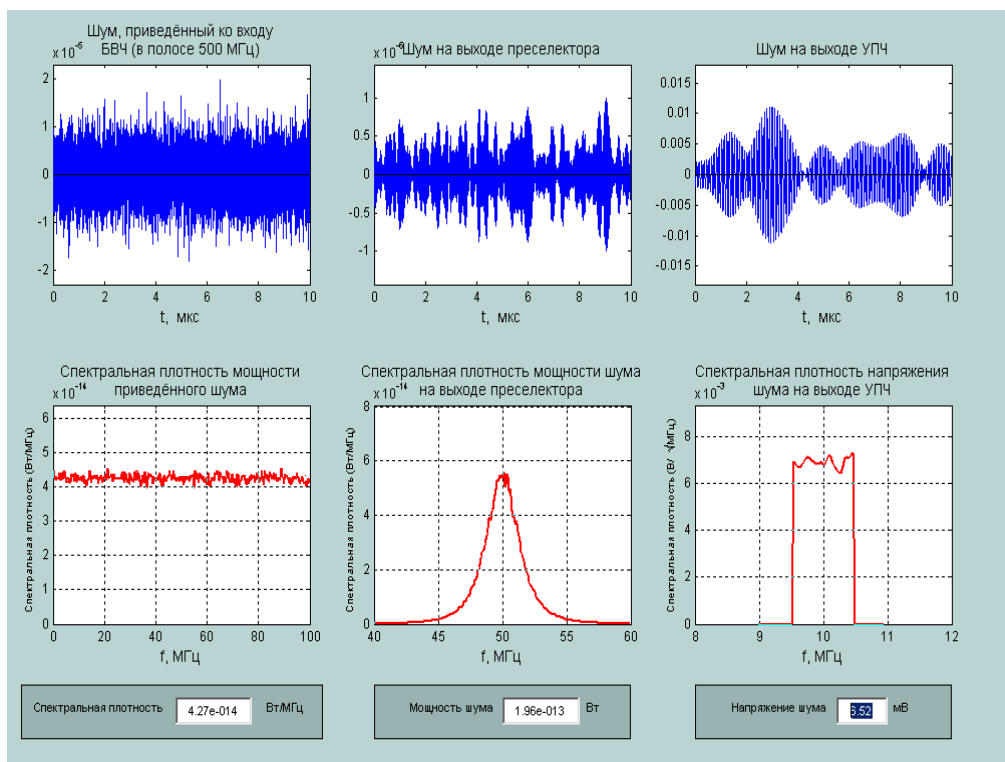


Рис.2. Результат моделирования: осциллограммы и спектры шума, приведенного ко входу, на выходе преселектора, на выходе УПЧ.

Расчётное значение спектральной плотности мощности приведенного ко входу шума совпадает с результатом моделирования.

### Измерение шумовой температуры

Для определения на модели шумовой температуры проведено два измерения СПМ приведенного ко входу шума:

- При  $T_a = T_0$ ,

- При  $T_a = 3400K$ , при котором СПМ шума увеличилась в 2 раза.

Значение шумовой температуры БВЧ:

$$T_{ш\text{бвч}} = T_a - 2 \cdot T_0 = 3400 - 2 \cdot 293 = 2814K$$

Рассчитанное значение совпадает с измеренным.

### Влияние параметров БВЧ на чувствительность РПУ

а) Чувствительность повышается при увеличении  $K_{прес}$

При увеличении коэффициента передачи преселектора с 2 дБ до 6,5 дБ СПМ приведенного шума уменьшается в 2 раза, поскольку уменьшается коэффициент шума и шумовая температура БВЧ. В связи с этим уменьшается мощность приведенного ко входу шума, а значит номинальное значение мощности принятого сигнала в антенне становится меньше. Соответственно, чувствительность РПУ повышается.

б) Чувствительность повышается при уменьшении  $K_{шпч}$

При уменьшении коэффициента шума ПЧ с 10 дБ до 5,5 дБ уменьшается коэффициент шума и шумовая температура БВЧ, значение СПМ приведенного шума становится в 2 раза меньше. При этом уменьшается мощность приведенного ко входу шума и мощность принятого сигнала в антенне. Соответственно, чувствительность РПУ повышается.

в) Чувствительность не меняется при уменьшении потерь в фидере.

Исключив потери в фидере  $L_\phi = 0$  дБ, коэффициент шума и шумовая температура БВЧ немного уменьшатся. Мощность приведенного ко входу шума станет меньше на незначительную величину. Значит, номинальное значение мощности принятого сигнала и чувствительность изменятся не существенно. Соответственно, чувствительность РПУ повышается незначительно.

## Характеристики шума в различных точках приемного тракта

$$G_{шпрес} = G_{ш} K_{pf} K_{прес} = 53,68 \times 10^{-21} \frac{Вт}{Гц} - \text{максимальное значение СПМ шума на}$$

выходе преселектора;

$$P_{шпрес} = G_{шпрес} \Pi_{ш} = 1,96 \times 10^{-13} Вт - \text{мощность шума на выходе преселектора;}$$

$$G_{Uш} = 58,37 \times 10^{-21} \frac{Вт}{Гц} - \text{максимальное значение спектральной плотности}$$

дисперсии шума на выходе УПЧ;

$$U_{шунч} = \sqrt{P_{шунч} \cdot R_{exунч}} = \sqrt{G_{Uш} \cdot \Pi_{унч} \cdot R_{exунч}} = 6,42 мВ - \text{эффективное напряжение}$$

шума на выходе УПЧ.

Измеренная полоса пропускания преселектора по уровню 0,5 составляет 3 МГц, что совпадает с заданной полосой пропускания.

## «Характеристики шума на выходе ФСС»

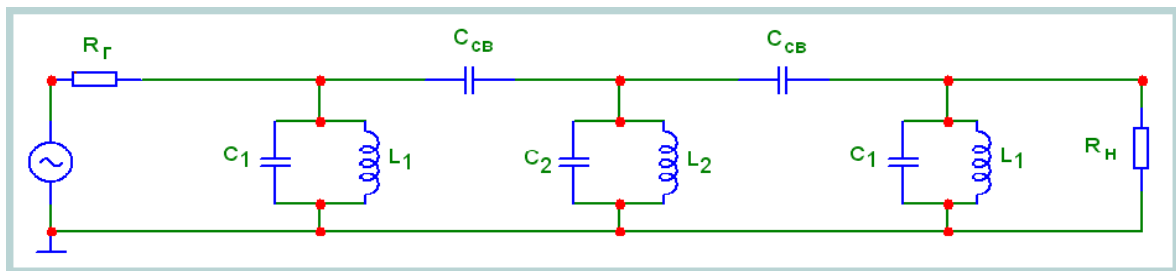


Рис.3. Схема 3-звенного ФСС

Параметры схемы:

$$f_n = 10 \text{ МГц} \quad \rho = 1,8 \text{ кОм} \quad \Pi_{фсс} = 0,9 \text{ МГц} \quad G_{Uш} = 2,5 \times 10^{-11} \frac{В^2}{Гц} \quad R_H = R_F = \rho$$

Номиналы элементов схемы:

$$C_{св} = \frac{1}{2\pi f_n \rho} = 8,842 \text{ нФ}$$

$$C_2 = \frac{1}{\pi \Pi_{фсс} \rho} - 2C_{св} = 178,804 \text{ нФ}$$

$$C_1 = \frac{C_2}{2} = 89,402 \text{ нФ}$$

$$L_2 = \frac{\Pi_{фсс} \rho}{2\pi f_n^2} = 1,289 \text{ мкГн}$$

$$L_1 = 2L_2 = 2,578 \text{ мкГн}$$

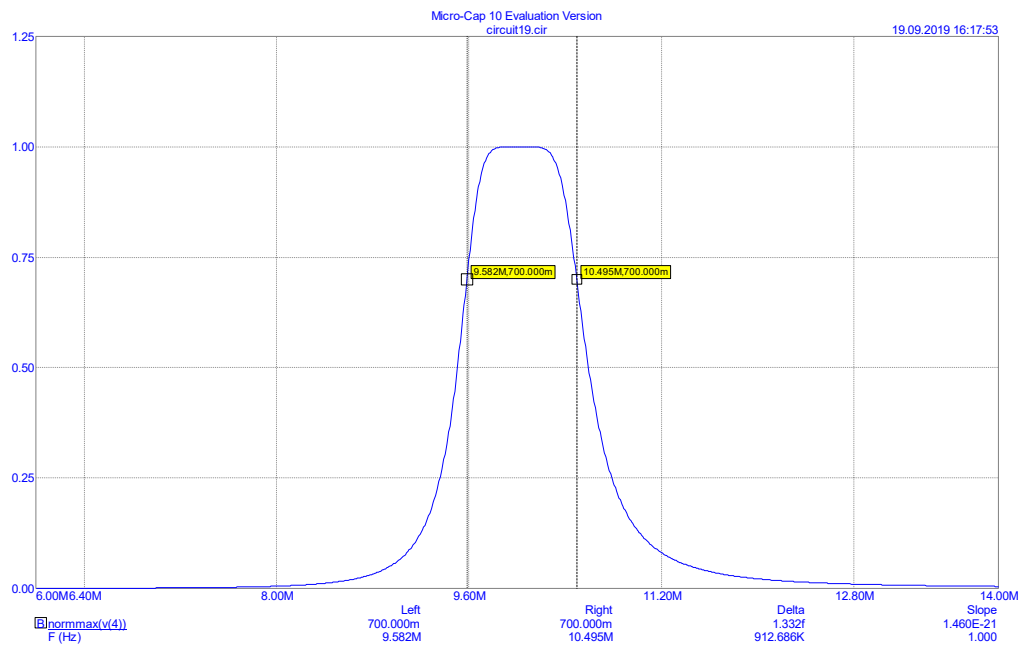


Рис.4. АЧХ ФСС

АЧХ ФСС имеет симметричную форму относительно центральной частоты 10 МГц, с плоской вершиной и полосой пропускания 900 кГц.

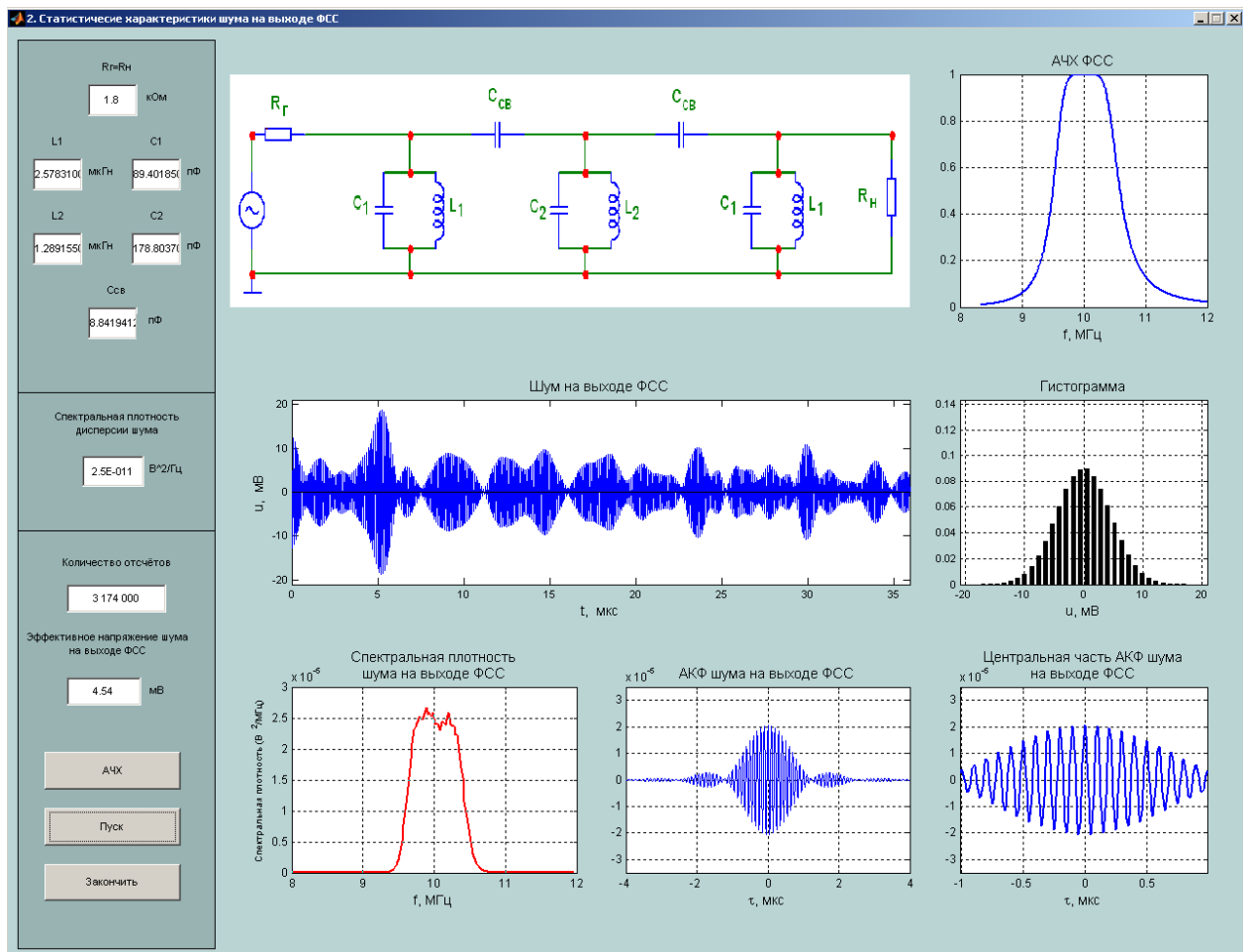


Рис.5. Результат моделирования: статические характеристики шума на выходе ФСС.

$U_{ш\text{ фсс}} = \sqrt{G_{ш} \cdot P_{фсс}} = 4,743 \text{ мВ}$  – приближенное значение эффективного напряжения шума на выходе ФСС.

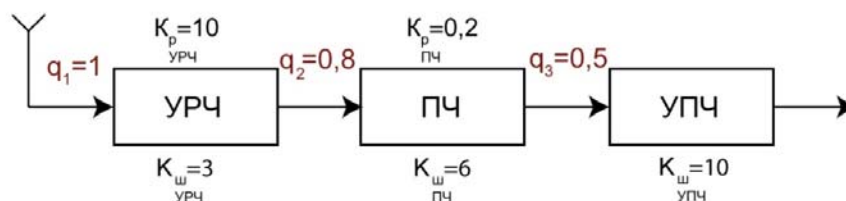
Рассчитанное значение отличается от измеренного на 0,2 мВ.

Вид гистограммы показывает, что мгновенные значения напряжения шума имеют нормальный закон распределения с нулевым мат. ожиданием и СКО равным 4,7 мВ. Все значения случайной величины для нормального закона распределения лежат в интервале от  $-3\sigma$  до  $+3\sigma$ .

Спектральная плотность шума на выходе ФСС имеет схожую форму с АЧХ ФСС: симметричность, центральная частота 10 МГц, полоса пропускания совпадает АЧХ ФСС. Максимальное значение АКФ при  $t=0$  равняется  $2 \times 10^{-6}$ . Частота заполнения АКФ совпадает с центральной частотой сигнала  $f_{акф} = f_n = 10 \text{ МГц}$ .

### Задача Д1

Дано:



$T_{ш}$  – ?

Решение

$$K_{р\text{ ном}} = K_p \frac{q_{\text{вх}}}{q_{\text{вых}}}$$

$$K_{р\text{ ном урч}} = K_{р\text{ урч}} \frac{q_1}{q_2} = 10 \cdot \frac{1}{0,8} = 12,5$$

$$K_{р\text{ ном пч}} = K_{р\text{ пч}} \frac{q_2}{q_3} = 0,2 \cdot \frac{0,8}{0,5} = 0,32$$

$$K_{ш} = K_{ш\text{ урч}} + \frac{K_{ш\text{ пч}} - 1}{K_{р\text{ ном урч}}} + \frac{K_{ш\text{ упч}} - 1}{K_{р\text{ ном урч}} \cdot K_{р\text{ ном пч}}} = 3 + \frac{6-1}{12,5} + \frac{10-1}{12,5 \cdot 0,32} = 5,56$$

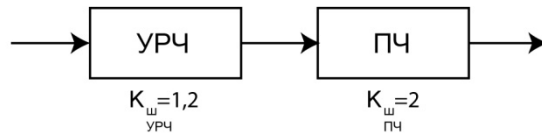
$$T_{ш} = T_0 \cdot (K_{ш} - 1) = 293 \cdot (5,56 - 1) = 1362 \text{ К}$$

Ответ: шумовая температура приемника составляет 1362 К

## Задача Д2

Дано:

$$T_{ш} = 110 K$$



$$K_{р ном урч} - ?$$

Решение

$$K_{ш} = \frac{T_{ш}}{T_0} + 1 = \frac{110}{293} + 1 = 1,375$$

$$K_{ш} = K_{ш урч} + \frac{K_{ш пч} - 1}{K_{р ном урч}} \rightarrow K_{р ном урч} = \frac{K_{ш пч} - 1}{K_{ш} - K_{ш урч}} = \frac{2 - 1}{1,375 - 1,2} = 5,714$$

Ответ: Коэффициент передачи номинальной мощности УРЧ составляет 5,714

## Задача Д3

Дано:

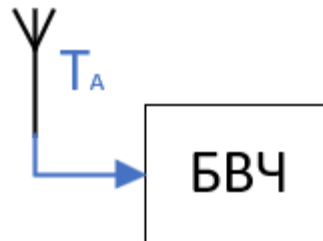
$$T_{ш} = 400 K$$

$$T_A = 570 K$$

$$\Pi_{ш} = 15 MГц$$

$$D = 2$$

$$P_c - ?$$



Решение

$$D = \frac{P_c}{P_{ш вх}} \rightarrow P_c = P_{ш вх} \cdot D$$

$$P_{ш вх} = k \cdot \Pi_{ш} \cdot (T_A + T_{ш}) = 1,38 \times 10^{-23} \cdot 15 \times 10^6 \cdot (570 + 400) = 2 \times 10^{-13} Bm$$

$$P_c = P_{ш вх} \cdot D = 2 \times 10^{-13} \cdot 2 = 4 \times 10^{-13} Bm$$

Чувствительность приемника составляет  $4 \times 10^{-13} Bm$