

КАФЕДРА 23

КУРСОВАЯ РАБОТА
ЗАЩИЩЕНА С ОЦЕНКОЙ
РУКОВОДИТЕЛЬ

Канд. техн. наук, доцент

О. Л. Балышева

ОТЧЁТ О КУРСОВОЙ РАБОТЕ
«ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛА ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНУЮ
ЦЕПЬ»

По дисциплине: РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. №

2310

А. А. Щербань

Санкт-Петербург 2025

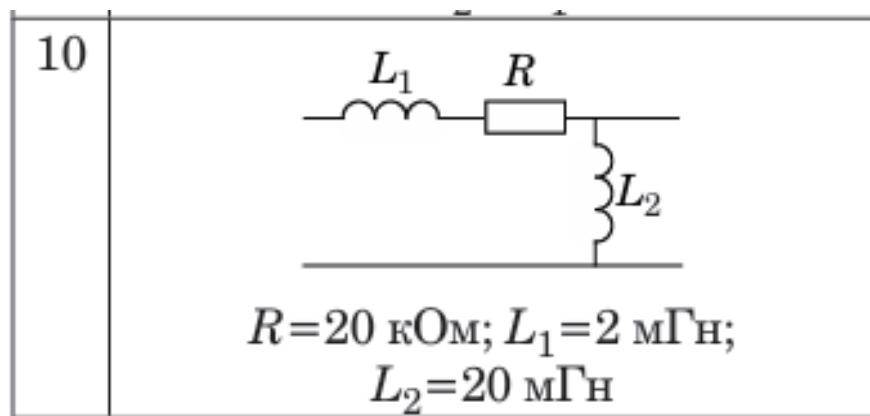
1 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ И ВАРИАНТЫ

Вариант сигнала и линейной цепи:

1) Исходный сигнал варианта 7:

| | |
|---|--|
| 7 | $s(t)=E \exp(-t/t_I)$ при $t > 0$ $s(t)=0$ при $t < 0$ $E=6$ В, $t_I=10$ мкс, $T=60$ мкс |
|---|--|

2) Линейная цепь варианта 10:



Задание на курсовую работу:

Заданы:

- Функция $s(t)$, определенная на интервале времени $-T/2 < t < T/2$ (исходный сигнал варианта 7)
- Принципиальная схема радиотехнической цепи с номиналами элементов (линейная цепь варианта 10)

Используя систему MathCAD требуется:

1. Построить график исходной функции $s(t)$, задавая необходимый диапазон значений ее аргумента и выбрав удобный масштаб.
2. Образовать периодический сигнал путем повторения функции $s(t)$ с периодом T . Вычислить амплитудный и фазовый спектры этого сигнала. Построить спектральные диаграммы. Найти эффективную ширину спектра (по выбранному уровню). Вычислить какая часть средней за период мощности сигнала содержится в эффективной части спектра.

3. Синтезировать периодический сигнал по эффективной части его спектра. Построить на одном графике исходный и синтезированный сигналы. Определить погрешность синтеза. Показать возможность уменьшения этой погрешности.

4. Образовать непериодический сигнал, приняв его равным $s(t)$ на интервале $-T/2 < t < T/2$, и равным нулю за пределами этого интервала. Вычислить амплитудный и фазовый спектры непериодического сигнала. Построить спектральные диаграммы. Найти ширину эффективной части спектра (по выбранному уровню). Сравнить спектры периодического и непериодического сигналов (по форме огибающей спектральной функции, по ширине эффективной части, по размерности).

5. Определить амплитудно-частотную, фазочастотную характеристики цепи. Построить графики характеристик, выбрав удобные масштабы координат. Найти ширину полосы пропускания цепи. Сравнить частотные диапазоны полосы пропускания цепи и активной части спектра сигнала.

6. Используя спектральный метод анализа, вычислить напряжение на выходе цепи при условии, что входное напряжение является периодическим сигналом (п. 2 задания). Сравнить сигналы на входе и выходе цепи и сделать выводы о причинах искажений.

2 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Построить график исходной функции $s(t)$, задавая необходимый диапазон значений ее аргумента и выбрав удобный масштаб.

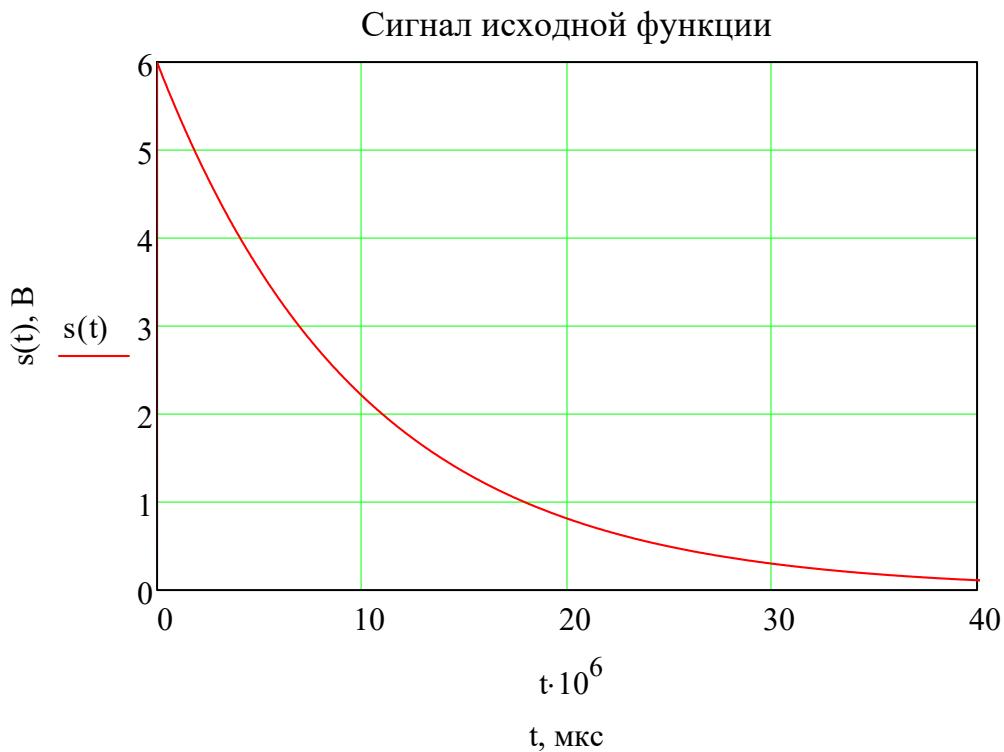
Исходные данные:

$$E := 6 \quad t_i := 10 \cdot 10^{-6} \quad T := 60 \cdot 10^{-6}$$

$$s(t) := \begin{cases} E \cdot \exp\left(\frac{-t}{t_i}\right) & \text{if } t > 0 \\ 0 & \text{if } t < 0 \end{cases}$$

Построение графика исходной функции:

$$t := \frac{-T}{2}, \frac{-T}{2} + \frac{t_i}{200} .. T$$

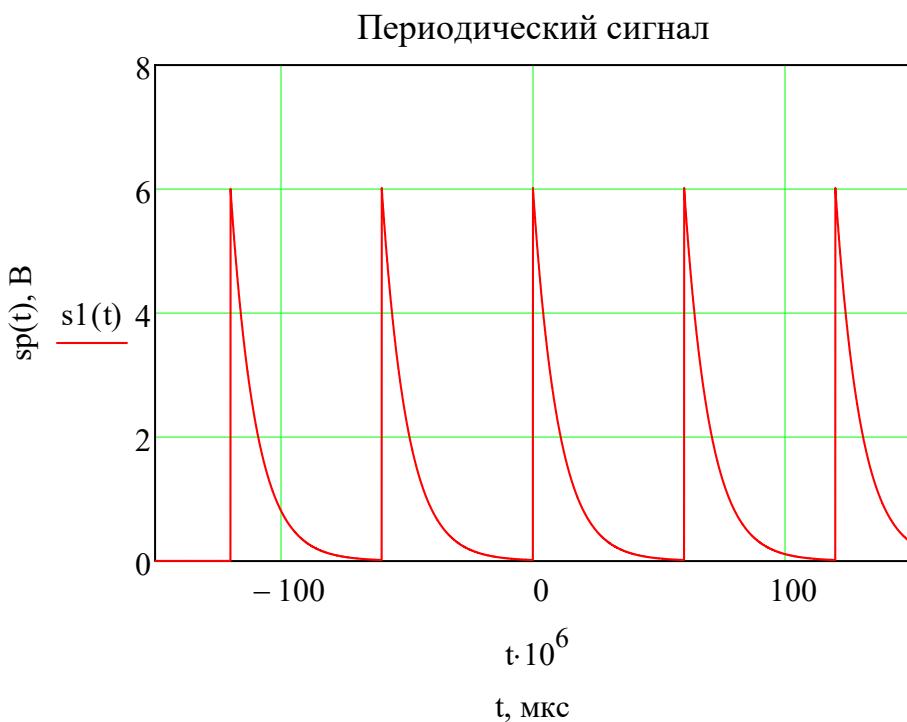


2. Образовать периодический сигнал путем повторения функции $s(t)$ с периодом T . Вычислить амплитудный и фазовый спектры этого сигнала. Построить спектральные диаграммы. Найти эффективную ширину спектра (по выбранному уровню). Вычислить какая часть средней за период мощности сигнала содержится в эффективной части спектра.

Образование периодического сигнала:

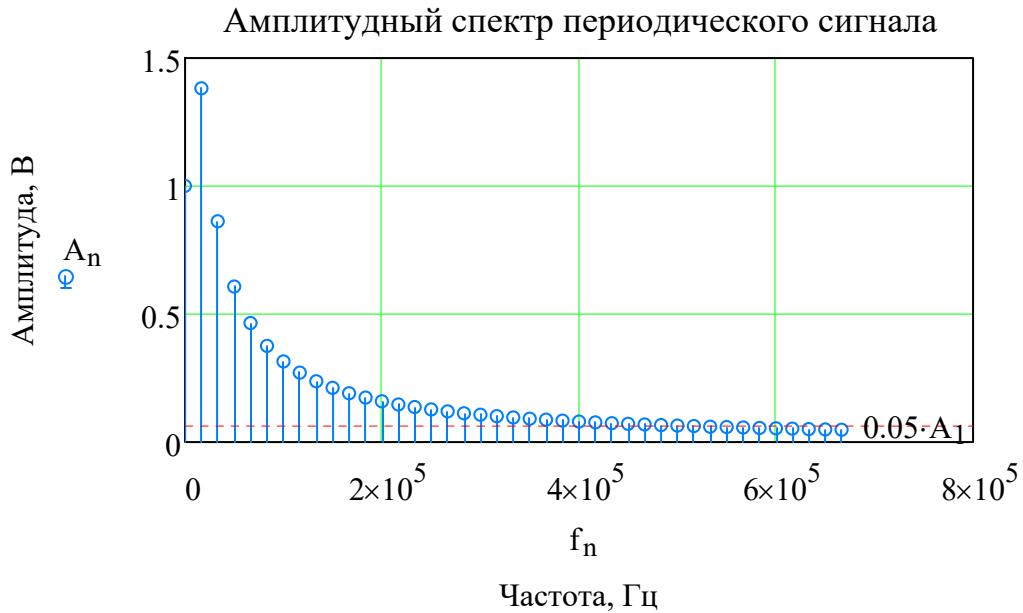
$$t := -2.5T, -2.5T + \frac{ti}{200} .. 2.5 \cdot T$$

$$s1(t) := \sum_{k=-2}^2 s(t - k \cdot T)$$



Расчёт амплитудного и фазового спектров периодического сигнала общего вида:

$$\begin{aligned} N := 40 & \quad n := 0 .. N & f_n := \frac{n}{T} \\ A_{kn} := \frac{2}{T} \cdot \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} s1(t) \cdot \exp(-2i \cdot \pi \cdot f_n \cdot t) dt & \quad |A_{kn}| := |A_{kn}| \\ A_0 := 0.5 |A_{k0}| \end{aligned}$$



Нахождение эффективной ширины спектра:

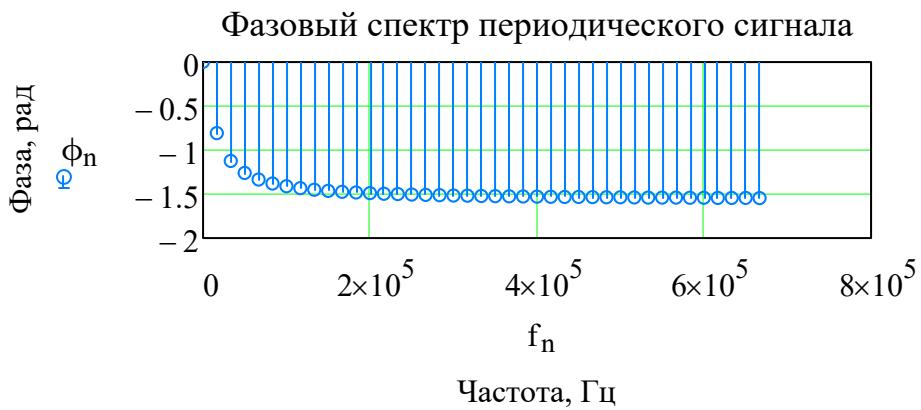
$$\frac{33}{T} = 5.5 \times 10^5$$

Эффективная ширина спектра составляет 550 кГц (33 гармоник по уровню 0,05)

Номер последней гармоники: $N_a = 33$

$$N_a := 33$$

$$\phi_n := \text{if}(A_n \neq 0, \arg(A_{kn}), 0)$$



Средняя за период мощность периодического сигнала:

$$P := \frac{1}{T} \cdot \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} s1(t)^2 dt = 3.015$$

$$P = 3.015 \text{ Вт}$$

Мощность, содержащаяся в эффективной части спектра:

$$P_a := (A_0)^2 + \sum_{n=1}^{N_a} [0.5 \cdot (A_n)^2]$$

$$P_a = 2.96 \text{ Вт}$$

Часть средней за период мощности, которая содержится в эффективной части спектра:

$$\frac{P_a}{P} \cdot 100 = 98.195$$

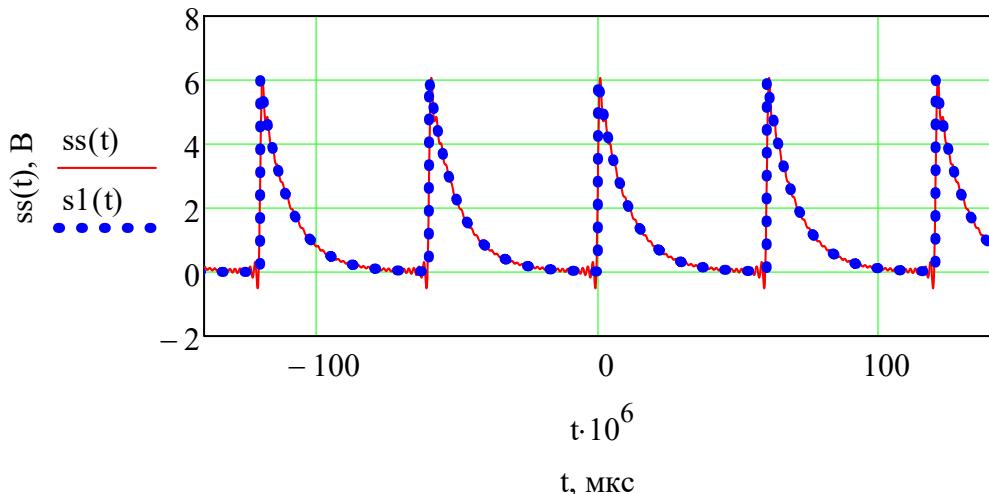
В эффективной части спектра содержится 98.2% средней за период мощности

3. Синтезировать периодический сигнал по эффективной части его спектра. Построить на одном графике исходный и синтезированный сигналы. Определить погрешность синтеза. Показать возможность уменьшения этой погрешности.

$$\text{Na} := 33$$

$$ss(t) := A_0 + \sum_{n=1}^{\text{Na}} (A_n \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t + \phi_n))$$

Синтезированный сигнал



Определение среднеквадратической погрешности синтеза:

$$\varepsilon := \frac{1}{T} \cdot \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} (s1(t) - ss(t))^2 dt \quad \frac{\varepsilon}{P} = 0.018$$

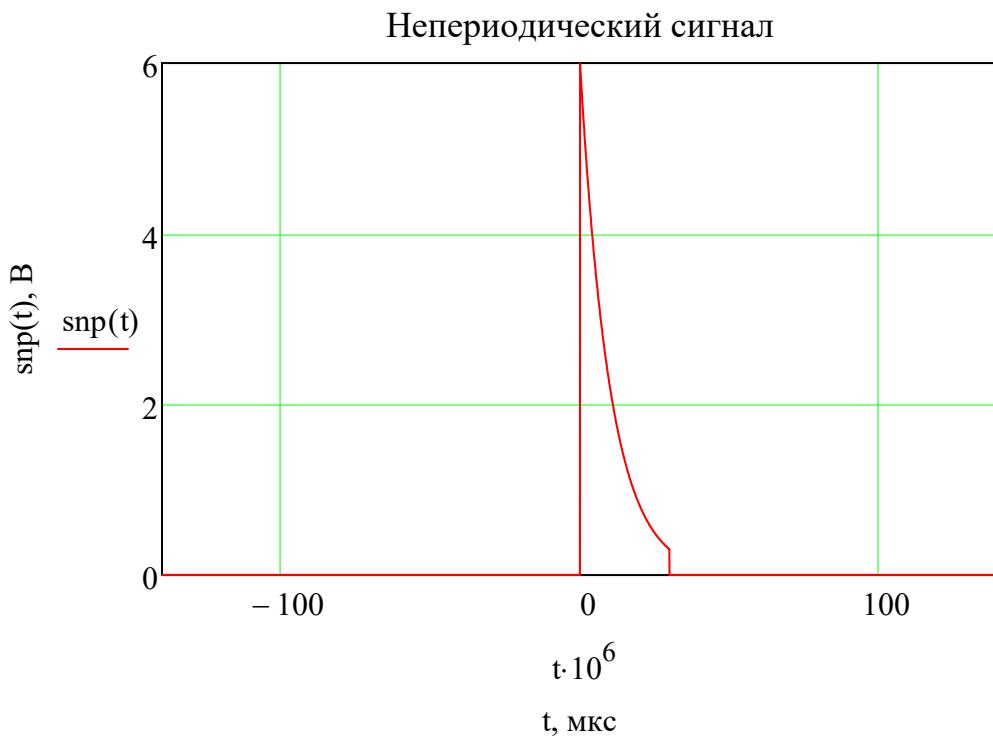
При $\text{Na} = 33$ погрешность составляет 1.8 %

Вывод: если увеличить количество гармоник в активной части спектра, погрешность уменьшается. Погрешность составляет 1.8%

4. Образовать непериодический сигнал, приняв его равным $s(t)$ на интервале $-T/2 < t < T/2$, и равным нулю за пределами этого интервала. Вычислить амплитудный и фазовый спектры непериодического сигнала. Построить спектральные диаграммы. Найти ширину эффективной части спектра (по выбранному уровню). Сравнить спектры периодического и непериодического сигналов (по форме огибающей спектральной функции, по ширине эффективной части, по размерности).

Образование непериодического сигнала:

$$snp(t) := \begin{cases} s(t) & \text{if } -\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



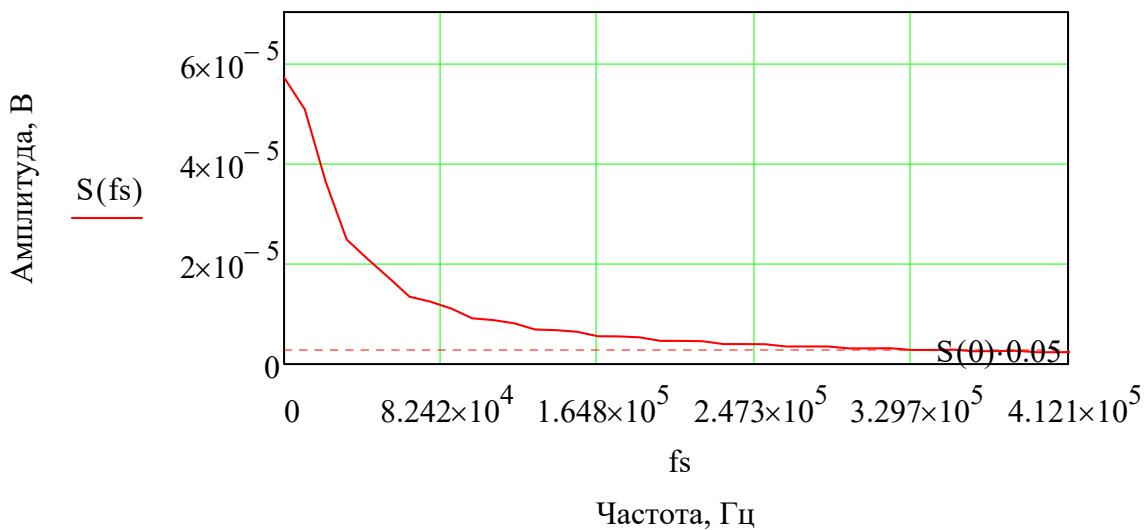
Расчёт амплитудного и фазового спектров непериодического сигнала общего вида:

$$F_m := 2 \cdot f_{Na} \quad df := 0.01 \cdot F_m \quad fs := 0, df .. 3F_m$$

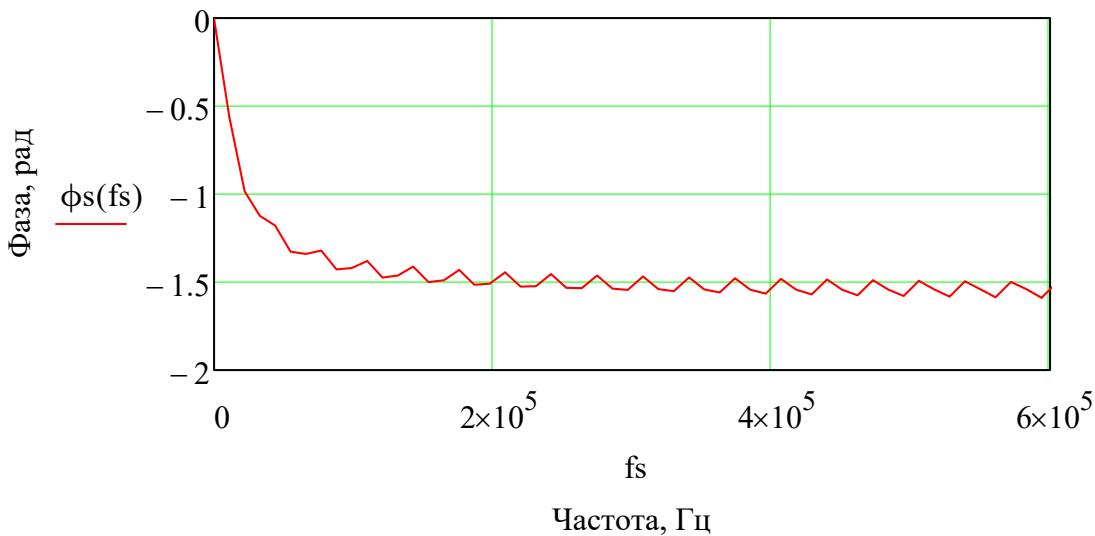
$$Sk(fs) := \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} snp(t) \cdot \exp(-2i \cdot \pi \cdot fs \cdot t) dt \quad S(fs) := |Sk(fs)|$$

$$\phi_s(fs) := \text{if}(S(fs) \neq 0, \arg(Sk(fs)), 0)$$

Амплитудный спектр непериодического сигнала



Фазовый спектр непериодического сигнала

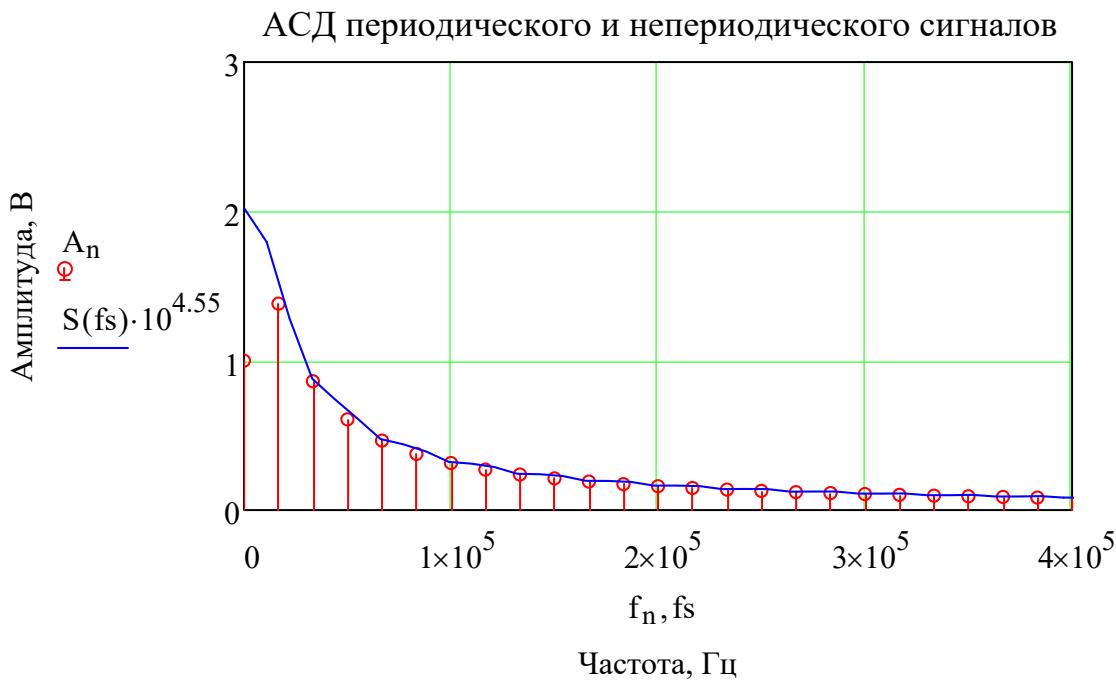


Нахождение ширины эффективной части спектра (по выбранному уровню, с помощью масштабирования графика):

$$3.473 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

Эффективная ширина спектра составляет 347,3 кГц (по уровню 0,05)

Сравнение спектров периодического и непериодического сигналов (по форме огибающей спектральной функции, по ширине эффективной части, по размерности):



Сравнение:

- 1) АСД периодического сигнала - дискретная, а АСД непериодического сигнала - непрерывная;
- 2) Спектр непериодического сигнала совпадает с огибающей спектра периодического сигнала;
- 3) Эффективная ширина спектра непериодического сигнала, равная 347,3 кГц меньше, чем у периодического сигнала, 550 кГц)

5. Определить амплитудно-частотную, фазочастотную характеристики цепи. Построить графики характеристик, выбрав удобные масштабы координат. Найти ширину полосы пропускания цепи. Сравнить частотные диапазоны полосы пропускания цепи и активной части спектра сигнала.

$$R := 2 \cdot 10^3 \quad L_1 := 2 \cdot 10^{-3} \quad L_2 := 20 \cdot 10^{-3}$$

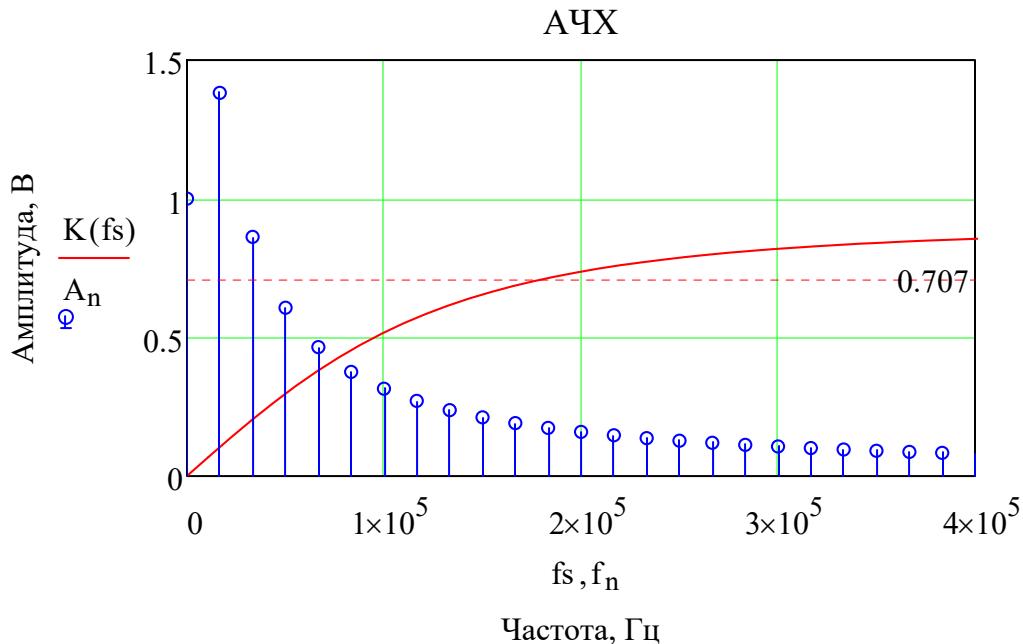
$$Z1(fs) := i \cdot 2 \cdot \pi \cdot fs \cdot L_1 + R \quad - \text{Комплексное сопротивление последовательной ветви схемы}$$

$$Z2(fs) := i \cdot 2 \cdot \pi \cdot fs \cdot L_2 \quad - \text{Комплексное сопротивление параллельной ветви схемы}$$

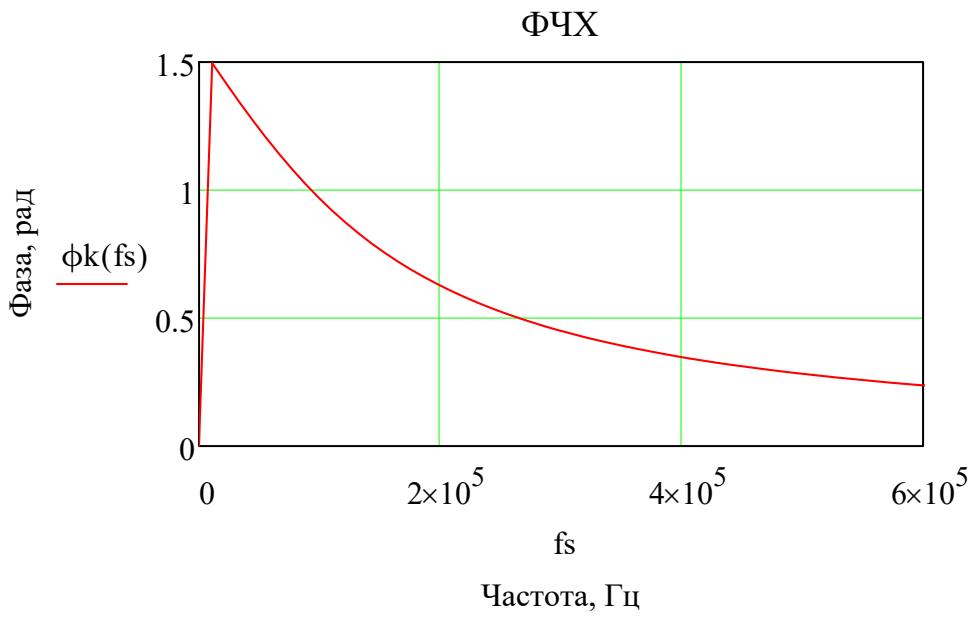
$$Zk(fs) := \frac{Z2(fs)}{Z2(fs) + Z1(fs)} \quad - \text{Комплексное сопротивление схемы}$$

Расчёт амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик цепи чётного сигнала:

$$K(fs) := |Zk(fs)|$$



$$\phi_k(fs) := \text{if}(K(fs) \neq 0, \arg(Z_k(fs)), 0)$$

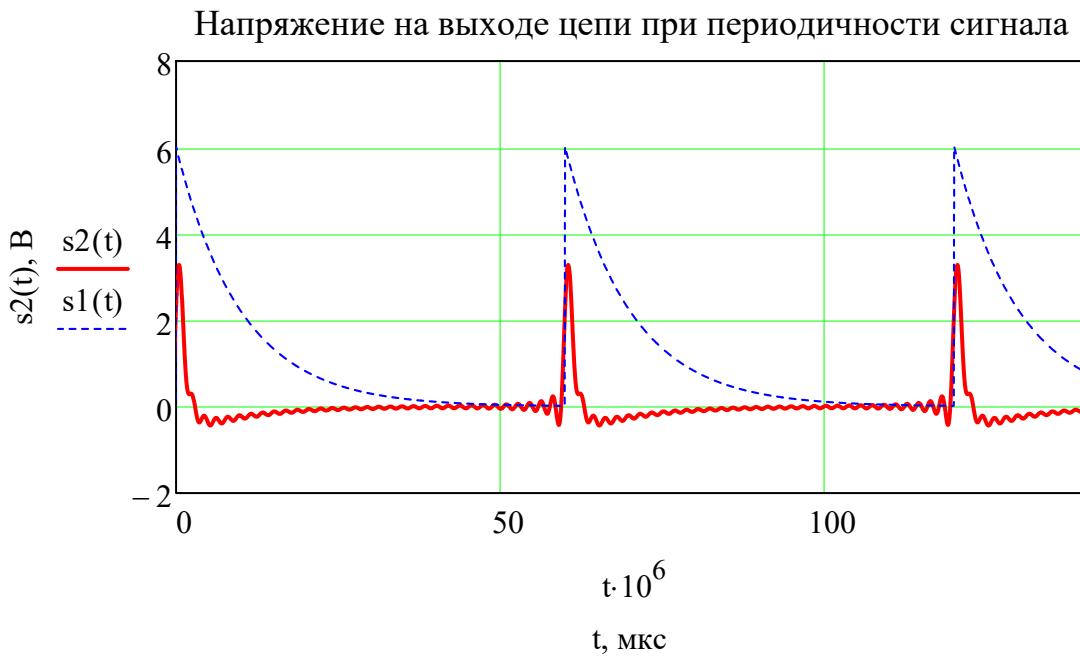


Определение полосы пропускания цепи и сравнение полосы пропускания с активной частью спектра сигнала.

Исходя из АЧХ, видно, что представленная цепь является фильтром.

6. Используя спектральный метод анализа, вычислить напряжение на выходе цепи при условии, что входное напряжение является периодическим сигналом (п. 2 задания). Сравнить сигналы на входе и выходе цепи и сделать выводы о причинах искажений.

$$33 \\ s2(t) := A_0 \cdot K(f_0) + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cdot K(f_n) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t + \phi_n + \phi_k(f_n)))$$



Сравнение сигналов на входе и выходе цепи и выводы о причинах искажений:

Сигнал на входе цепи представляет собой классический экспоненциально затухающий импульс. Он начинается с амплитуды 6 В и плавно, без колебаний, спадает до нуля с постоянной времени 10 микросекунд. Его форма является монотонной и однополярной, что соответствует простейшему переходному процессу в RC-цепи.

После прохождения через заданную LR-цепь форма сигнала претерпевает кардинальные изменения. На выходе наблюдается принципиально иной сигнал: он начинается с резкого положительного выброса, затем переходит через ноль в отрицательную область, демонстрируя затухающие колебания вокруг нулевого уровня.

Основная причина таких искажений заключается в частотных свойствах цепи. Анализ АЧХ показывает, что цепь подавляет низкие частоты, включая постоянную составляющую. Именно поэтому площадь под кривой выходного сигнала стремится к нулю - положительная и отрицательная части импульса компенсируют друг друга.

Границная частота определена графически и составляет

$\omega_g = 1,76 \cdot 10^5$. Таким образом цепь, являющаяся фильтром верхних частот, подавляет низшие гармоники и пропускает высшие вплоть до 3-ей, остальные "обрезаются". При этом цепь устраняет постоянную составляющую сигнала, так как при нулевой частоте АЧХ цепи равна нулю.