

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»**

КАФЕДРА 23

**ОТЧЕТ ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
РУКОВОДИТЕЛЬ**

О.Л. Бальшева

**ОТЧЕТ О КУРСОВОЙ РАБОТЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛА ЧЕРЕЗ ЛИНЕЙНУЮ
РАДИОТЕХНИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ**

по дисциплине: РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СИГНАЛЫ

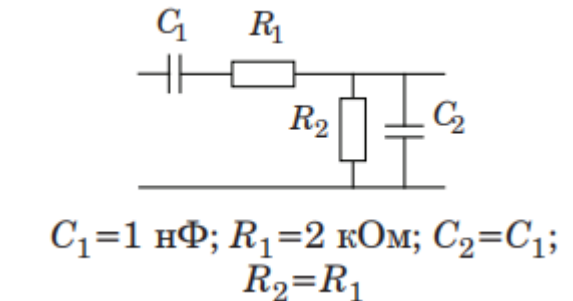
РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № 2215

Р.С. Лавочник

Санкт-Петербург 2024

Вариант задания:
Радиотехническая цепь.



Исходный сигнал.

$$s(t) = E \exp(-t/t_I) \text{ при } t > 0$$

$$s(t) = 0 \text{ при } t < 0$$

$$E = 6 \text{ В}, t_I = 10 \text{ мкс}, T = 60 \text{ мкс}$$

1.Задание.

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

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

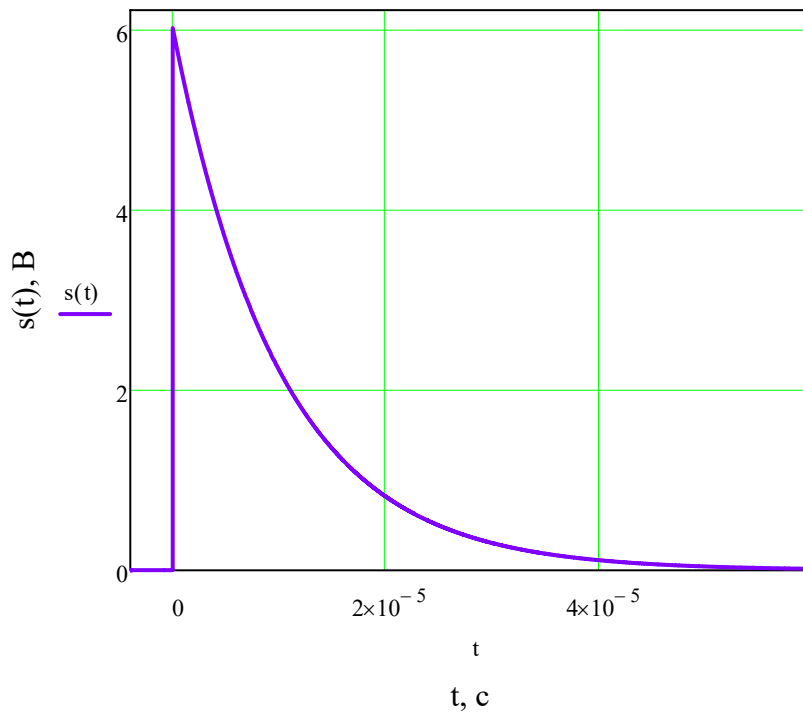
Исходные данные

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

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

Построение графика

$$dt := \frac{t_i}{1000} \quad t := \frac{-T}{2}, \left(\frac{-T}{2} + dt \right) .. T$$

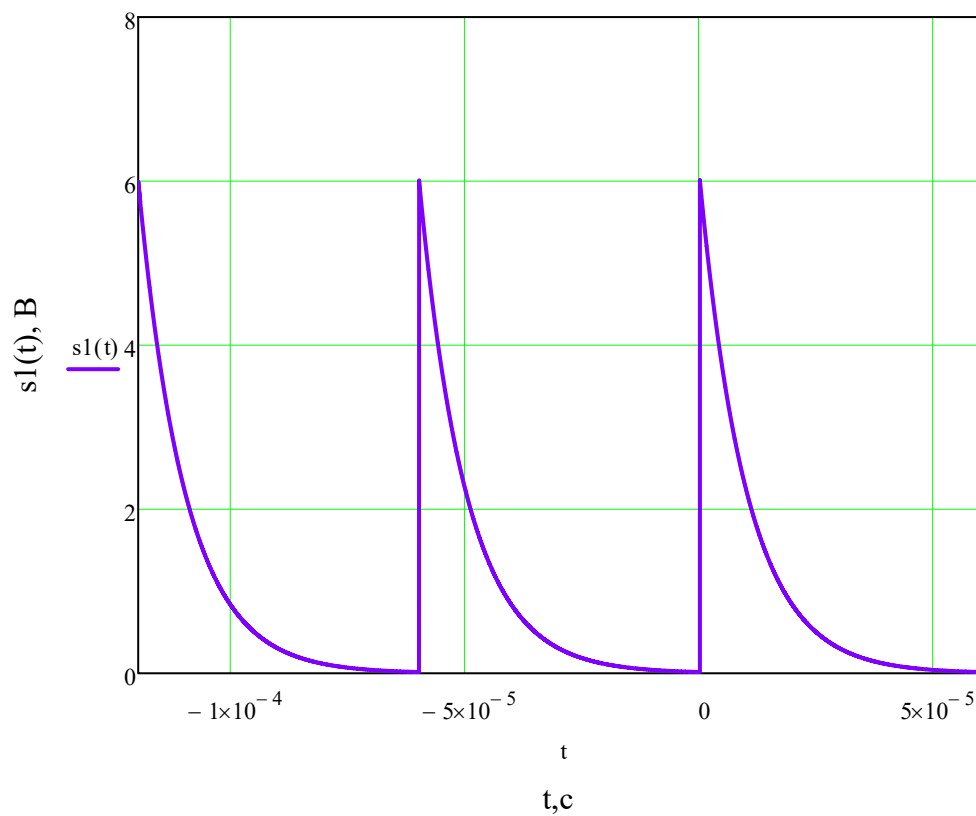


Вывод: был построен график исходной функции $s(t)$ в указанном диапазоне значений аргумента.

Задание 2. Образовать периодический сигнал 1 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.

$$t := -2T, -2T + dt .. 2T$$

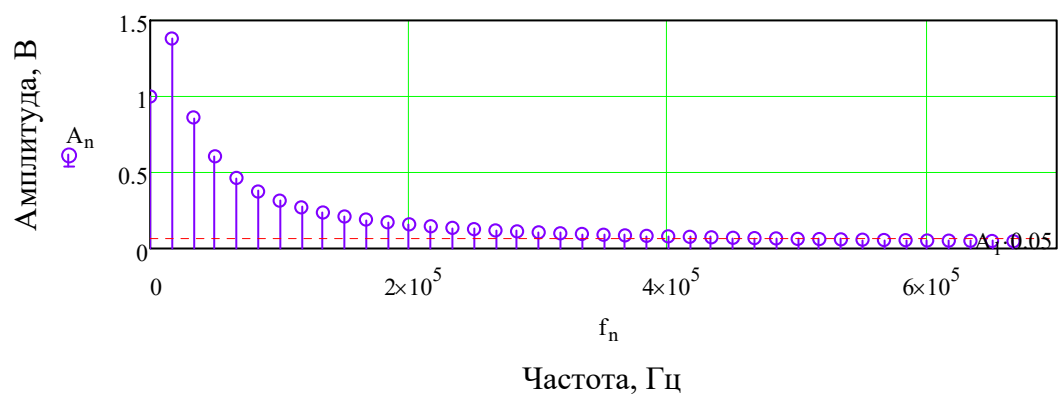
$$s1(t) := \sum_{k=-2}^2 s(t - k \cdot T)$$



Вычисление амплитудного спектра сигнала

$$N := 40 \quad n := 0 \dots N \quad f_n := \frac{n}{T}$$

$$Ak_n := \frac{2}{T} \cdot \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} s1(t) \cdot \exp(-2i \cdot \pi \cdot f_n \cdot t) dt \quad A_n := |Ak_n| \quad A_0 := 0.5 \cdot |Ak_0|$$

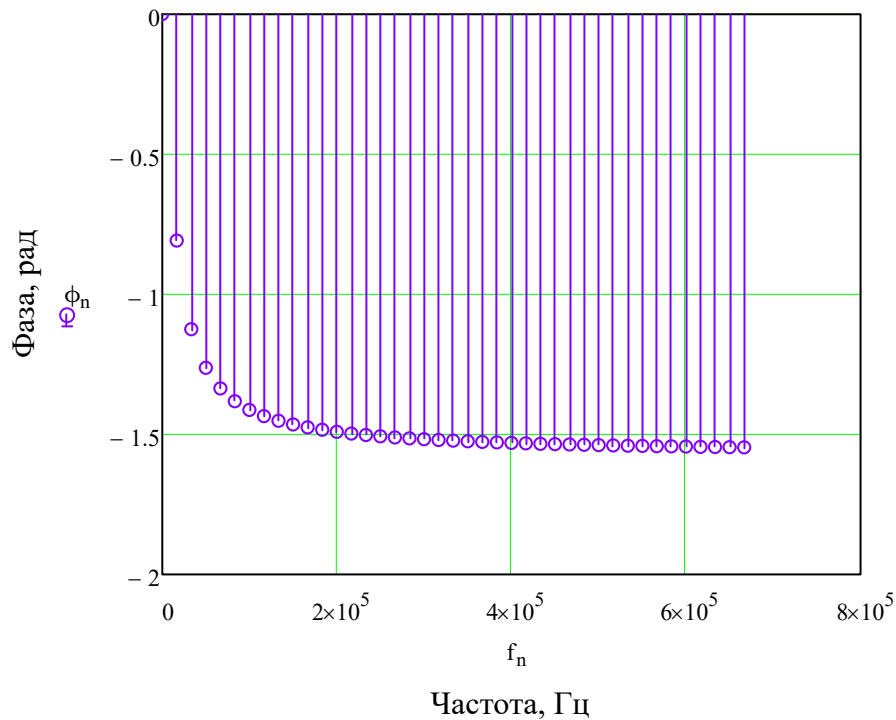


Эффективная ширина спектра (по уровню 5%) составляет 0.5МГц.

Номер последней гармоники: $N_a := 37$

Вычисление фазового спектра сигнала

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



Средняя за период мощность периодического сигнала:

$$P := \frac{1}{T} \cdot \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} s_1(t)^2 dt$$

$$P = 3.015 \text{ Вт}$$

Мощность, содержащаяся в активной части спектра:

$$P_{a_{\text{}}} := (A_0)^2 + \sum_{n=1}^{N_a} \left[0.5 \cdot (A_n)^2 \right]$$

$$P_a = 2.966 \text{ Вт}$$

Часть средней за период мощности, которая содержится в активной

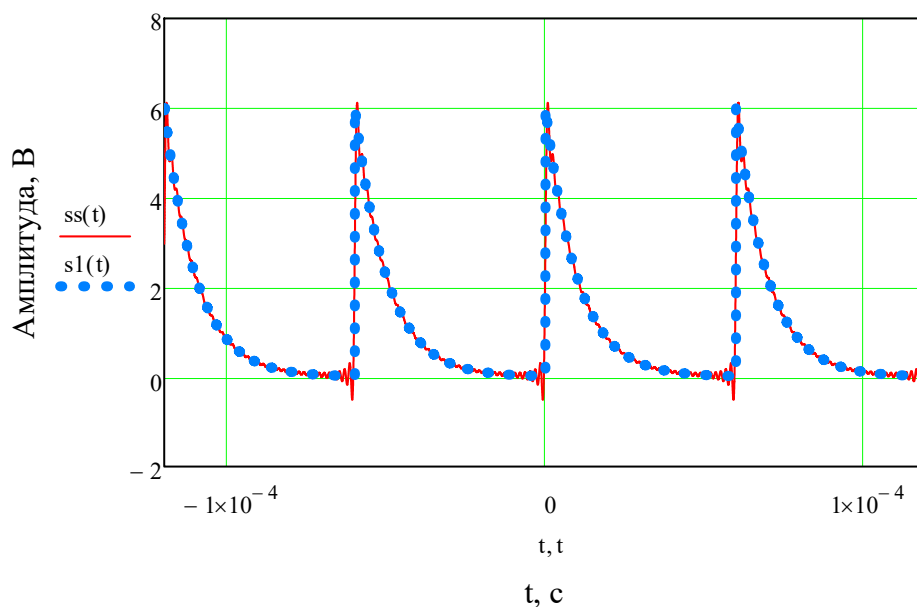
части спектра:

$$\frac{P_a}{P} = 0.984$$

Вывод. Эффективная ширина спектра, определяющая диапазон частот, в котором сосредоточена основная часть мощности сигнала, составила 0,5 МГц (по уровню 5%). Расчет доли мощности сигнала в эффективной части спектра позволил оценить его способность к передаче через канал связи с ограниченной полосой пропускания. Средняя мощность сигнала составила 3,015 Вт, активная мощность — 2,966 Вт, Часть средней за период мощности, которая содержится в активной части спектра составила 98,4%

Задание 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.

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



Среднеквадратическая погрешность синтеза:

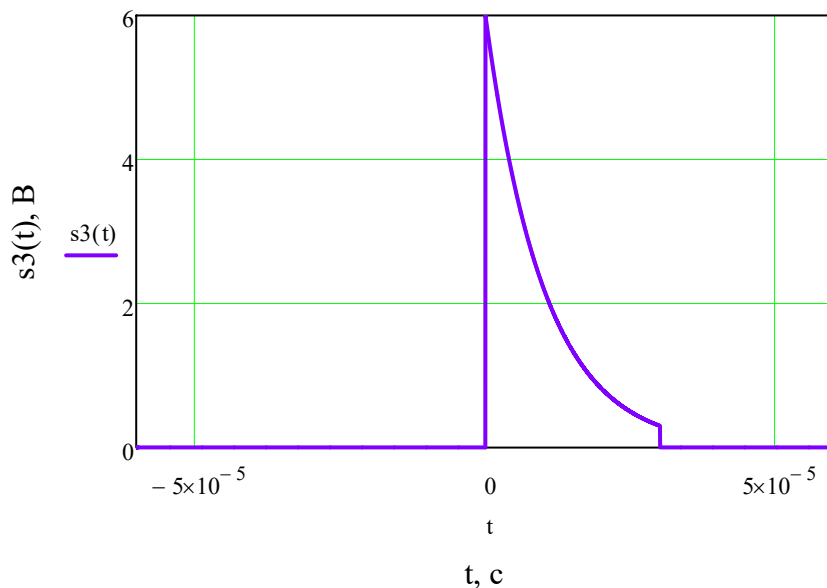
$$\varepsilon := \frac{1}{T} \cdot \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} (s_1(t) - s_s(t))^2 dt$$

$$\frac{\varepsilon}{P} = 0.016$$

Вывод: если увеличить количество гармоник в активной части спектра, погрешность уменьшается. Погрешность составляет 1.6%

Задание 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).

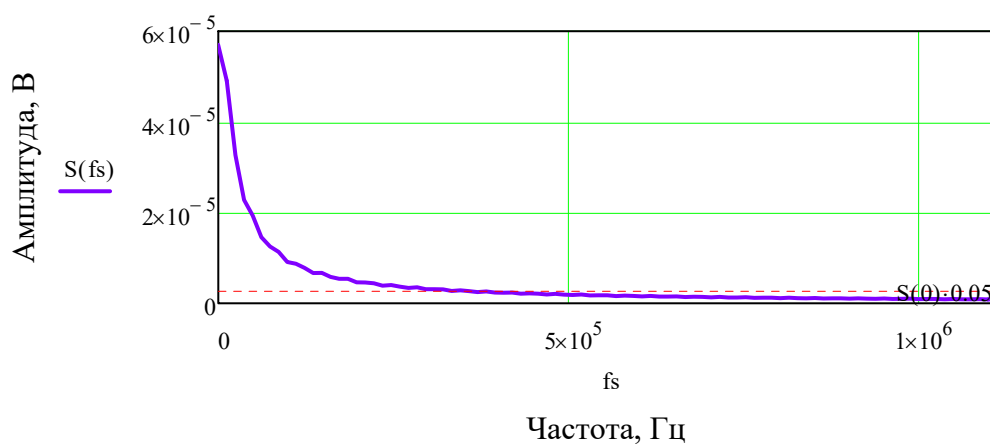
$$s_3(t) := \begin{cases} s(t) & \text{if } \frac{-T}{2} < t < \frac{T}{2} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Вычисление амплитудного спектра сигнала

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

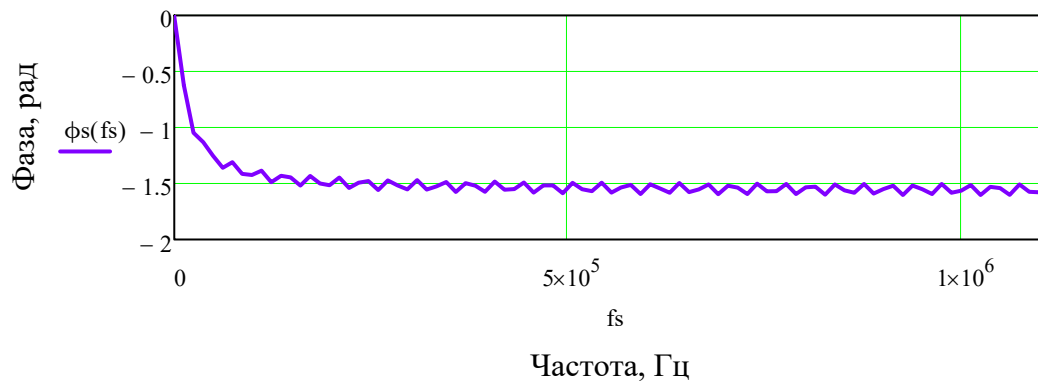
$$Sk(fs) := \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} s3(t) \cdot \exp(-2i \cdot \pi \cdot fs \cdot t) dt \quad S(fs) := |Sk(fs)|$$



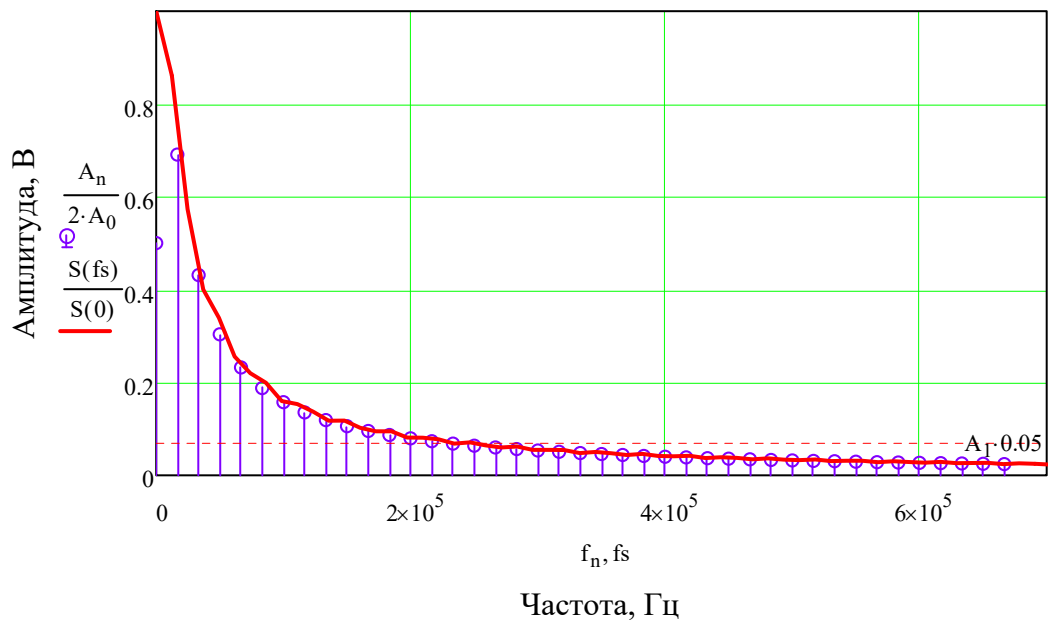
Эффективная ширина спектра составляет $3.58 \cdot 10^5$

Вычисление фазового спектра сигнала

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



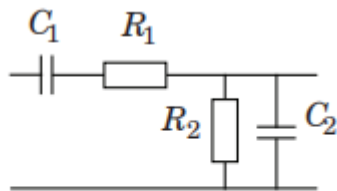
Сравнение АЧХ период и неперидод сигналов



Вывод:

Спектр неперидодического сигнала совпадает с огибающей спектра перидодического сигнала. У неперидодического сигнала меньше эффективная ширина спектра ($3,58 \cdot 10^5$), чем у перидодического ($5 \cdot 10^5$)

Задание 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.



$$C_1 = 1 \text{ нФ}; R_1 = 2 \text{ кОм}; C_2 = C_1; \\ R_2 = R_1$$

$$C1 := 1 \cdot 10^{-9} \quad R1 := 2 \cdot 10^3 \quad C2 := C1 \quad R2 := R1 \quad f1 := \frac{40}{T} \quad fc := 0, \frac{f1}{500} .. f1$$

$$Z1(fc) := \frac{1}{2\pi \cdot i \cdot C1 \cdot fc} + R1$$

$$Z2(fc) := \frac{1}{2\pi \cdot i \cdot C2 \cdot fc + \frac{1}{R2}}$$

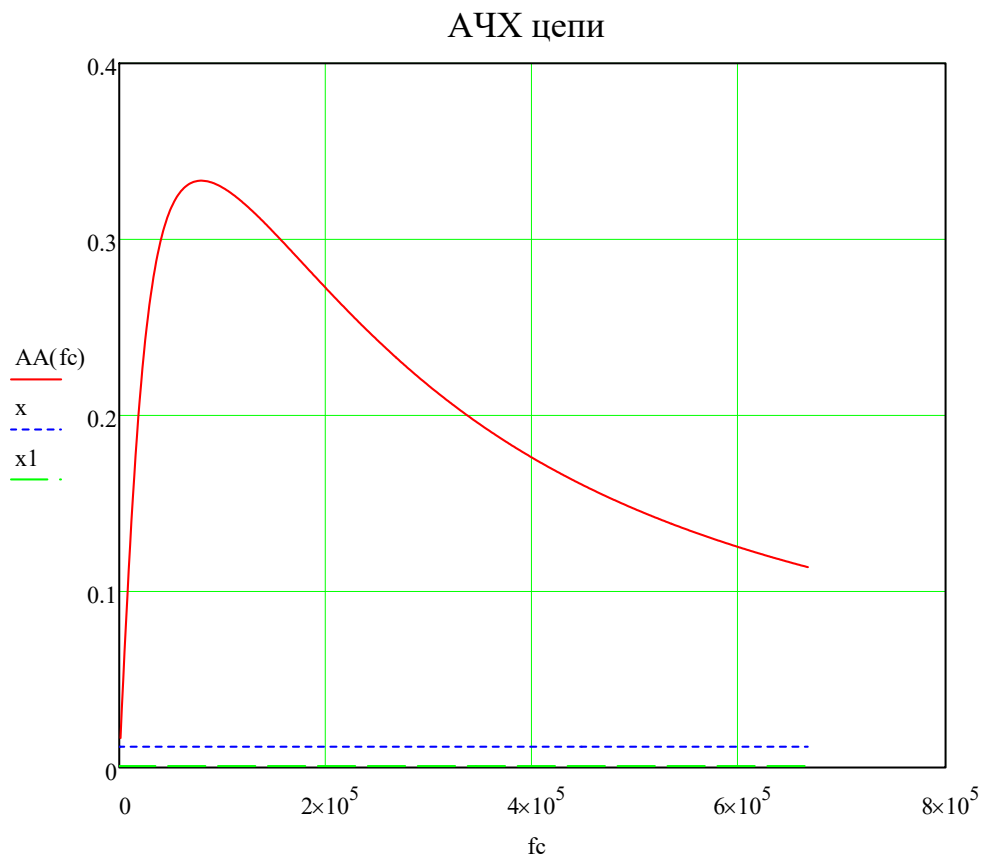
$$Z(fc) := \frac{Z2(fc)}{Z1(fc) + Z2(fc)}$$

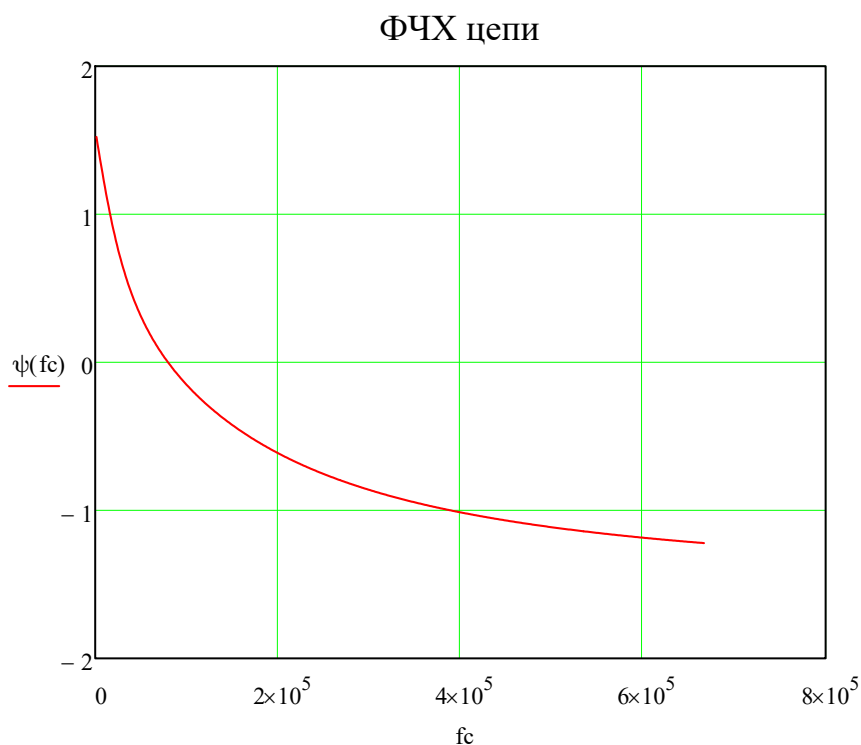
$$AA(fc) := |Z(fc)|$$

$$x1 := AA\left(\frac{f1}{500}\right) \cdot 0.05$$

$$\psi(fc) := \text{if}(AA(fc) \neq 0, \arg(Z(fc)), 0)$$

$$x := AA\left(\frac{f1}{500}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$





Вывод:

В ходе выполнения задания были определены АЧХ и ФЧХ сложной цепи. Частотный диапазон полосы пропускания цепи совпадает с активной частью спектра сигнала. Благодаря отнормированному графику амплитудных и фазовых спектров периодического и непериодического сигналов видно сходство в намного большей амплитудой первого лепестка по сравнению с последующими, различие состоит в частоте лепестков.

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

Вычисление напряжения на выводе цепи (периодический сигнал):

$$N_a := 37 \quad N_c := 25$$

$$\textcolor{green}{s}(t) := \left| \begin{array}{l} E \cdot \exp\left(\frac{-t}{\textcolor{teal}{t}\textcolor{violet}{i}}\right) \text{ if } t > 0 \\ 0 \text{ if } t < 0 \end{array} \right.$$

$$t := -2T, -2T + dt .. 2T$$

$$\textcolor{green}{s}\textcolor{violet}{1}(t) := \sum_{k=-2}^2 s(t-k\cdot T)$$

$$n := 1 .. 25$$

$$Ak_n := \frac{2}{T} \cdot \int_{-0.5 \cdot T}^{0.5 \cdot T} s1(t) \cdot \exp\left(-2i \cdot \pi \cdot f_n \cdot t\right) dt \qquad A_n := \left| Ak_n \right| \qquad A_0 := 0.5 \cdot \left| Ak_0 \right|$$

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

$$f_n := \frac{n}{T}$$

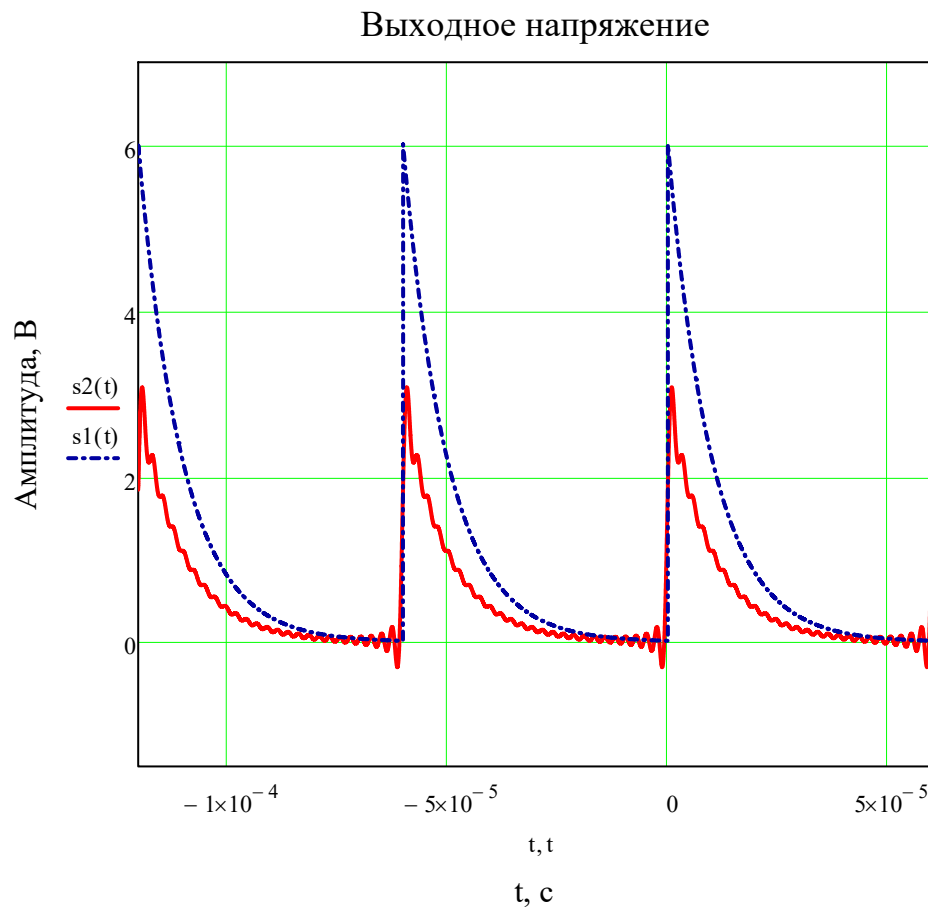
$$\textcolor{green}{Z}\textcolor{violet}{1}_n := \frac{\frac{1}{\left(iC1 \cdot f_n\right)}R1}{\frac{1}{\left(iC1 \cdot f_n\right)} + R1}$$

$$\textcolor{green}{Z}\textcolor{violet}{2}_n := R2$$

$$Kk_n := \frac{Z2_n}{Z1_n + Z2_n} \qquad \textcolor{green}{K}\textcolor{violet}{n} := \left| Kk_n \right|$$

$$\phi k_n := \text{if}\Big(K_n \neq 0, \arg\Big(Kk_n\Big), 0\Big)$$

$$s2(t) := A_0 \cdot K_1 + \sum_{n=1}^N \left(A_n \cdot K_n \cdot \cos\Big(2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t + \phi_n + \phi k_n\Big)\right)$$



Вывод:

В ходе выполнения задания, используя спектральный метод анализа, было вычислено напряжение на выходе цепи при условии, что входное напряжение является периодическим сигналом. Сравнивая сигналы на входе и выходе цепи видна схожесть. Причиной искажения постоянной составляющей сигнала является конденсатор на входе и выходе цепи, который пропускает только переменную составляющую.

Вывод:

В ходе курсовой работы был проведён комплексный анализ прохождения сигнала через линейную цепь. Были построены графики исходной экспоненциальной функции и ее периодического аналога. Вычислены амплитудный и фазовый спектры периодического сигнала, его эффективная ширина спектра составила 0.5 МГц.

Затем периодическая функция была синтезирована по эффективной части ее спектра с погрешностью 1,6%. Уменьшение погрешности достигается увеличением количества учитываемых гармоник.

Также был получен непериодический сигнал, являющийся фрагментом периодического сигнала. Вычислены амплитудный и фазовый спектры непериодического сигнала. При сравнении спектров периодического и непериодического сигналов выявлено, что форма огибающей спектральной функции непериодического сигнала более гладкая, чем у периодического. Ширина эффективной части непериодического сигнала больше.

Определены АЧХ и ФЧХ дифференцирующей цепи. Используя спектральный метод анализа, было вычислено напряжение на выходе цепи при периодическом входном сигнале. Искажение постоянной составляющей сигнала обусловлено конденсаторами на входе и выходе цепи, пропускающим только переменную составляющую.

