

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ»**

**Радиотехнические цепи и сигналы.
Работа 18.
Пассивные электрические цепи.**

Филиппенко Павел Сергеевич
студент группы Б01-001
2 курс ФРКТ

г. Долгопрудный
2021 г.

Задание 1.

Соберем на макетной плате схему интегрирующей цепи с параметрами $R = 100 \text{ Ом}$, $C = 1,05 \text{ мкФ}$, тогда постоянная времени для этой цепи $\tau = RC = 105 \text{ мкс}$.

Экспериментально определим верхнюю граничную частоту ν_0 , подбирая ν_0 таким образом, чтобы амплитуда выходного сигнала составила 70% от амплитуды входного сигнала. $U_{\text{вых}} = 0,7U_{\text{вх}}$.

Теоретическое значение $\nu_{0\text{теор}} = \frac{1}{2\pi CR} = 1,516 \text{ кГц}$. Экспериментальное значение $\nu_{0\text{экс}} = 1,51 \text{ кГц}$.

Снимем зависимость коэффициента передачи $K(\nu) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$ от частоты $\nu = 2^n \nu_0$ в пределах $n \in [-2, 4]$. Построим график $K(\nu)$, а так же график Боде – $20 \lg K$ от $n = \log_2(\nu/\nu_0)$.

n	ν , кГц	$K(\nu)$	$20 \lg K$
-2	0,377	0,96	-0,35
-1	0,755	0,9	-0,92
0	1,51	0,73	-2,73
1	3,02	0,55	-5,19
2	6	0,32	-9,90
3	12	0,16	-15,92
4	24,1	0,088	-21,11

Таблица 1:

По осциллограмме прямоугольных сигналов оценим постоянную времени τ ,

измерив время нарастания фронта импульса от нуля до уровня $1 - 1/e \approx 0,63$.

Экспериментально получено $\tau = 111 \text{ мкс}$. Тогда $\nu_0 = \frac{1}{2\pi\tau} \approx 1434 \text{ Гц}$.

Соберем на макетной плате схема интегрирующей цепи. Экспериментально определим нижнюю граничную частоту ν_0 .

Теоретическое значение $\nu_{0\text{теор}} = \frac{1}{2\pi CR} = 1,516 \text{ кГц}$. Экспериментальное значение $\nu_{0\text{экс}} = 1,9 \text{ кГц}$.

Снимем зависимость коэффициента передачи $K(\nu) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$ от частоты $\nu = 2^n \nu_0$ в пределах $n \in [-4, 2]$. Построим график $K(\nu)$, а так же график Боде – $20 \lg K$ от $n = \log_2(\nu/\nu_0)$.

Изучим графики частотной и фазовой характеристик интегрирующей цепи в MicroCap. Верхняя частота $f_0 = 9,99 \approx 10 \text{ кГц}$. Изучим переходную характеристику.

n	ν , Гц	$K(\nu)$	$20 \lg K$
-4	118,7	0,07	-23,10
-3	237,5	0,11	-19,17
-2	475	0,246	-12,18
-1	950	0,43	-7,33
0	1900	0,69	-3,22
1	3800	0,87	-1,21
2	7600	0,95	-0,45

Таблица 2:

Расчитаем постоянную времени $\tau = (R||R_L) \cdot C = 16$ мкс, значение, найденное по графику $\tau = 16,5$ мкс.

Убедимся в том, что при наличии сопротивления R_L передаточная функция цепи принимает вид

$$H(p) = \frac{K_0}{1 + p\tau}, \quad K_0 = \frac{R_L}{R + R_L}, \quad \tau = (R||R_L) \cdot C$$

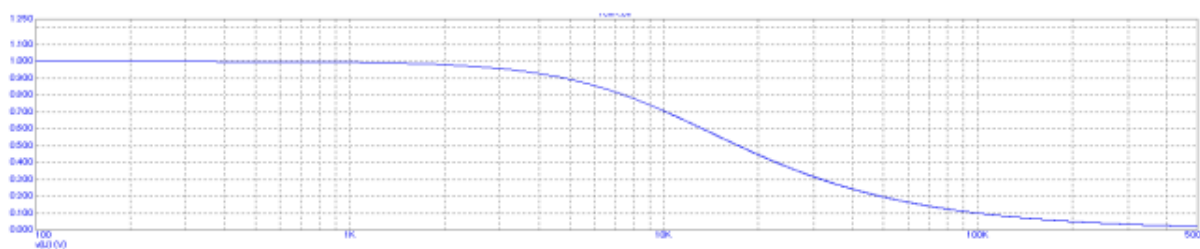


Рис. 1:

Изучим частотную и фазовую характеристики дифференцирующей цепи. Нижняя частота $f_0 \approx 10$ кГц. Изучим переходную характеристику. По графику оценим постоянную времени $\tau \approx 16,9$ мкс. Убедимся, что при $R_s \neq 0$ передаточная функция принимает вид

$$H(p) = \frac{K_0 p \tau}{1 + p\tau}, \quad K_0 = \frac{R}{R + R_s}, \quad \tau = (R + R_s) \cdot C$$

Задание 2.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 10 \text{ кГц}$$

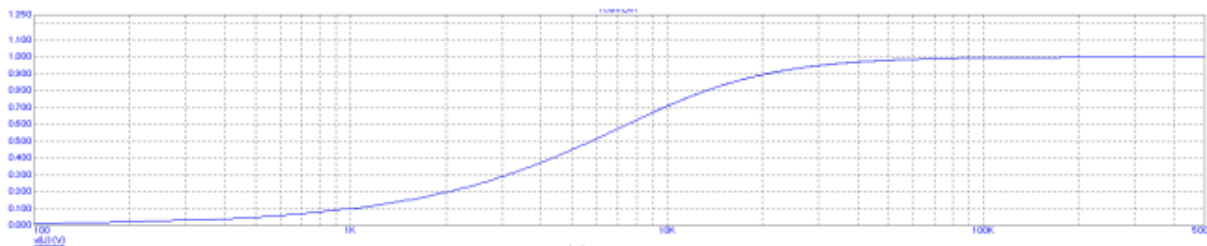


Рис. 2:

По графикам ФЧХ измерим значения фазовых сдвигов ФВЧ, ПФ и ФНЧ на частотах 0 , f_0 , ∞ .

	ФВЧ	ПФ	ФНЧ
0	180	90	0
f_0	90	0	-90
∞	0	-90	-180

Заметим, что двухсторонняя полоса пропускания ПФ $\Delta f = 36 - 3 \text{ кГц} = 33 \text{ кГц} \approx 3f_0$.

Открыв графики переходных характеристик, оценим время спада $\tau^{(-)}$ первого выброса переходной характеристики ФВЧ до уровня e^{-1} и время $\tau^{(+)}$ нарастания фронта переходной характеристики ФНЧ до уровня $1 - e^{-1}$.

$$\tau^{(-)} = 4,3 \text{ мкс} \quad \tau^{(+)} = 53,0 \text{ мкс}$$

$$\frac{\tau^{(+)}}{\tau^{(-)}} = 12,24$$

Задание 3.

Наибольший диапазон перестройки фазы реализуется на частоте $f_0 = 25 \text{ кГц}$. При этом, границы этого диапазона $[-150,73^\circ, -28,73^\circ]$.

Изучим частотную и фазовую характеристики двойного Т-образного моста. Ширина полосы режениции $\Delta f = 41,18 - 2,38 \approx 39 \text{ кГц} \approx 4F_0$. Подключим ко входу источник прямоугольного импульса и проанализируем переходную характеристику. Оценим время спада $\tau^{(-)} = 4,2 \text{ мкс}$ и нарастание $\tau^{(+)} = 67 - 12 = 55 \text{ мкс}$. Теоретические значения

$$\tau^{(\pm)} = \frac{1}{2\pi f_0 \mu_{\pm}}, \quad \mu_{\pm} = 2 \pm \sqrt{3}$$

Оценим частоты f_0 и добротность $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$ нулей передачи.

R , кОм	f_0 ,	Δf , Гц	Q
4,9	9,94	100	99
5,0	10,00	1	10000
5,1	10,05	98	103

Групповые задержки

$$R = 4,9 \text{ кГц}, f = 10,05 \text{ кГц} \mid \tau_g = 3 \text{ мс}, \tau = \frac{Q}{\pi f} =$$

$$R = 5,1 \text{ кГц}, f = 9,95 \text{ кГц} \mid \tau_g = 3 \text{ мс}, \tau = \frac{Q}{\pi f} =$$

Задание 4.

Параметры компонентов.

$$L = 220 \text{ мкГн}$$

$$R = 91 \text{ Ом}$$

$$C = 1,2 \text{ нФ}$$

На макетной плате соберём схему полосового фильтра с указанными параметрами. Подключив генератор синусоидального сигнала, измерим резонансную частоту f_0 , коэффициент передачи K_0 и ширину Δf пика по уровню $0,7U_0$. Оценим добротность $Q = \frac{f_0}{\Delta f}$.

$$f_0 = 36,4 \text{ кГц}$$

$$K(f_0) = 1,1$$

$$\Delta f = 40,4 - 32,6 = 7,7 \text{ кГц}$$

$$Q \approx 4,72$$

Из тех же компонент соберём схемы фильтров верхних (ФВЧ) и нижних (ФНЧ) частот.

$$1. \text{ Для ФНЧ } \frac{K(f_0)}{K(0)} \approx 3,27$$

$$2. \text{ Для ФВЧ } \frac{K(f_0)}{K(\infty)} \approx 3,19$$

Подключив генератор прямоугольных импульсов, изучим переходные характеристики ФВЧ, ПФ, и ФНЧ. Прикинув по осциллограммам период колебаний и время их затухания до уровня $\frac{1}{e} = 0,37$, дадим оценку резонансной частоты f_0 и добротности Q .

	T , мкс	τ , мкс	f_0 , кГц	Q
ФНЧ	2,4	2,8	366	7,1
ПФ	3,3	2,6	392	4,9
ФВЧ	2,8	2,8	366	6,1

$$\tau_g = \frac{Q}{\pi f_0} \Rightarrow Q = \tau_g \pi f_0 = \frac{\rho}{r}$$

где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$. Отсюда по формулам находим расчетное значение добротности и теоретическое значение групповой задержки.

R , Ом	10	20	40	100
τ , мс	0,65	0,3	0,15	0,06
$\tau_{\text{теор}}$, мс	0,64	0,32	0,16	0,06
Q	200	100	50	20

Изучим графики распределения мощностей в резонансной LRC-цепи. Проверим выполнение закона суммирования мощностей на частоте резонанса и на границах полосы пропускания.

$$\begin{aligned} f_0 &= 250 \text{ кГц} \\ P_L &= 175,545 \text{ мВт} \\ P_R &= 20,796 \text{ мВт} \\ P_C &= -177,606 \text{ мВт} \\ \sum P_i &= 18,69 \text{ мВт} \end{aligned}$$

Границы полосы пропускания $f_1 = 242 \text{ кГц}$, $f_2 = 259 \text{ кГц}$.

$$\begin{aligned} f_1 &= 242 \text{ кГц} \\ P_L &= 85,06 \text{ мВт} \\ P_C &= -87,83 \text{ мВт} \\ P_R &= 9,36 \text{ мВт} \\ \sum P_i &= 6,59 \text{ мВт} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_2 &= 259 \text{ кГц} \\
P_L &= 88,71 \text{ мВт} \\
P_C &= -89,54 \text{ мВт} \\
P_R &= 8,75 \text{ мВт} \\
\sum P_i &= 7,92 \text{ мВт}
\end{aligned}$$

1 Задание 5.

Запишем параметры схемы: $f_0 = 100 \text{ кГц}$, $\varrho = 570 \Rightarrow \alpha = 0,057$, $\beta = 0,056$, $Q = 8,85$.

Сопротивление контура на резонансной частоте $R \approx 5 \text{ кОм}$, полоса пропускания $\Delta f \approx 11,15 \text{ кГц}$.

Изучим зависимость частоты параллельного резонанса от R . Проверим формулу $f = f_0 \sqrt{1 - \beta^2}$, где $\beta = \frac{R}{\rho}$.

$R, \text{ Ом}$	0,00	50,0	100,00	150,00
$f_{\text{эксп}}, \text{ кГц}$	99,98	99,6	98,42	96,42
$f_{\text{теор}}, \text{ кГц}$	100,00	99,0	98,40	96,60

Фазовый сдвиг на частоте 2 кГц составляет $\frac{\pi}{4}$ при сопротивлении $R = 11,5 \text{ Ом}$.

Задание 6.

Измерим частоты f_p , f_0 последовательного и параллельного резонансов по точкам пересечения нуля фазовой характеристикой. Получаем $f_0 = 100,5 \text{ кГц}$, $f_p = 140 \text{ кГц}$. Измерим полюсы Δf_0 и Δf_p , в которых фазовая характеристика изменяется в диапазоне ± 45 в окрестностях резонансов. Получаем $\Delta f_p = 106,47 - 95,7 = 10,77 \text{ кГц}$, $\Delta f_0 = 145,29 - 134,7 = 10,59 \text{ кГц}$.

Расчитаем добротности $Q_p = \frac{f_p}{\Delta f_p} = 13,22$, $Q_p = \frac{f_0}{\Delta f_0} = 9,33$. Заметим, что $\frac{Q_p}{Q_0} \approx 1,41 \approx \sqrt{2}$.