

Национальный исследовательский университет “МЭИ”  
Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова  
Кафедра Основ Радиотехники

ОТЧЕТ  
по лабораторной работе № 1  
«Фазовая автоподстройка частоты»  
по дисциплине «Формирование радиосигналов»

Группа: ЭР-11-21

Бригада: № 3

Студент: Амарантиди М.М.

Преподаватель: Плутешко А.В.

Дата: 16.03.2025

Москва, 2025

## Ход работы

### 1. Измерение характеристик ФД

Подадим колебание от внешнего генератора на вход опорной частоты. Синусоидальная форма напряжения. Частота 8 МГц. Средний уровень 1,6 В. Размах от минимума до максимума 3,0 В. Настроим средний уровень так, чтобы величина +Duty осциллограммы  $U_{оп}$  была  $50 \pm 2\%$ . Подберем  $f_{оп}$  так, чтобы частота биений на выходе ФД была в диапазоне от 40 до 60 кГц.

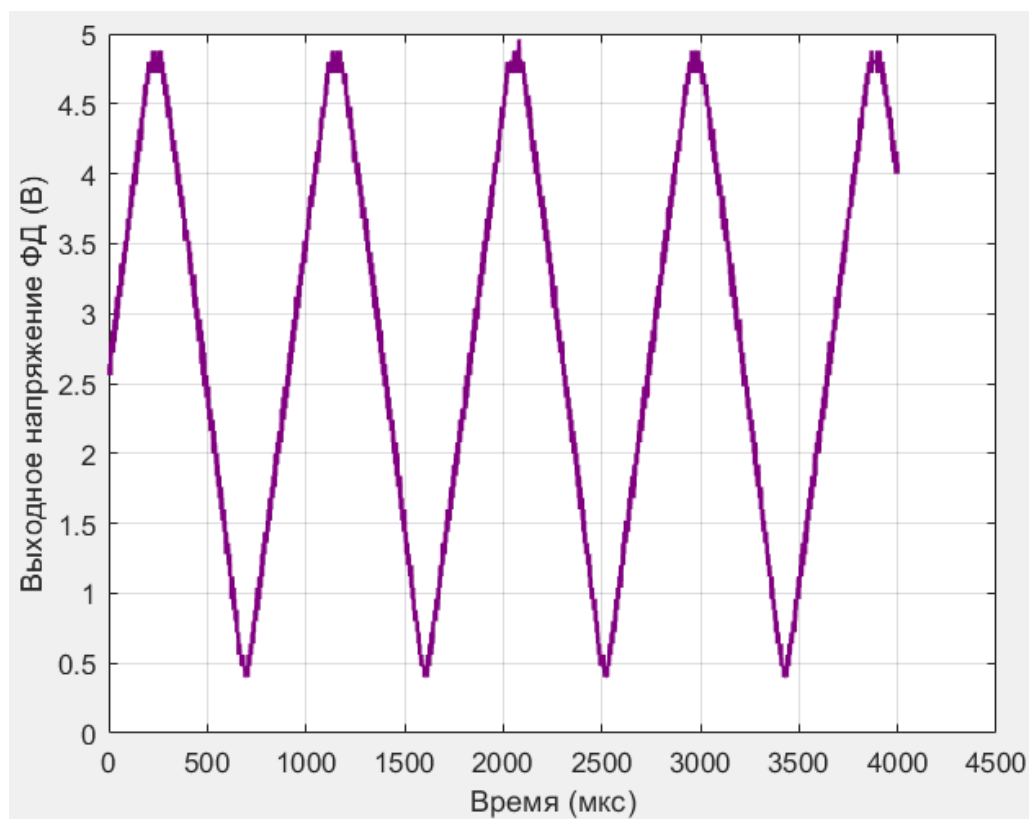


Рисунок 1 — Осциллограмма выходного напряжения ФД

## 2. Измерение характеристик ГУН

Установим частоту 8 МГц. Замкнём кольцо ФАПЧ. Изменяя опорную частоту с шагом  $\pm 100$  кГц, заполнили таблицу 1. Для измерения  $E_{\text{упр}}$  использовали мультиметр. В таблицу вносили только значения, соответствующие режиму синхронизма.

$f_{\text{оп}}, \text{МГц}$	$f_{\text{ГУН}}, \text{МГц}$	$E_{\text{упр}}, \text{В}$
7.2	115.2	1.44
7.3	116.8	1.79
7.4	118.4	2.12
7.5	120	2.44
7.6	121.6	2.75
7.7	123.2	3.05
7.8	124.8	3.33
7.9	126.4	3.61
8.0	128	3.89
8.1	129.6	4.16
8.2	131.2	4.43

Таблица 1 — Характеристики управления частотой ГУН

## 3. Измерение полосы захвата

Рассчитаем  $K_{\text{ГУН}}$  по двум точкам характеристики в окрестности  $E_{\text{упр}} = 2.5 \text{ В}$ :

$$K_{\text{ГУН}} = \frac{f_{\text{ГУН}2} - f_{\text{ГУН}1}}{E_{\text{упр}2} - E_{\text{упр}1}} = \frac{(121.6 - 118.4) \cdot 10^6}{2.75 - 2.12} = 5.08 \text{ МГц/В}$$

Включили ЧМ модуляцию. Треугольная форма модуляции. Частота модуляции 500 Гц. Установим центральную частоту и девиацию так, чтобы частота менялась в пределах от  $f_{\text{мин}}$  до  $f_{\text{макс}}$

$$f_{\text{опмин}} - (E_{\text{упр мин}} + 0.1) \cdot \frac{K_{\text{ГУН}}}{16} = 7.8 \cdot 10^6 - (1.44 + 0.1) \cdot \frac{5.08 \cdot 10^6}{16} = 6.71 \text{ МГц}$$

$$f_{\text{опмакс}} + (5.1 - E_{\text{упр макс}}) \cdot \frac{K_{\text{ГУН}}}{16} = 8.2 \cdot 10^6 + (5.1 - 4.43) \cdot \frac{5.08 \cdot 10^6}{16} = 8.41 \text{ МГц}$$

Меняя положение переключателя в поле  $RC$ -фильтр рассмотрим осциллограммы  $E_{\text{ФД}}(t)$ :

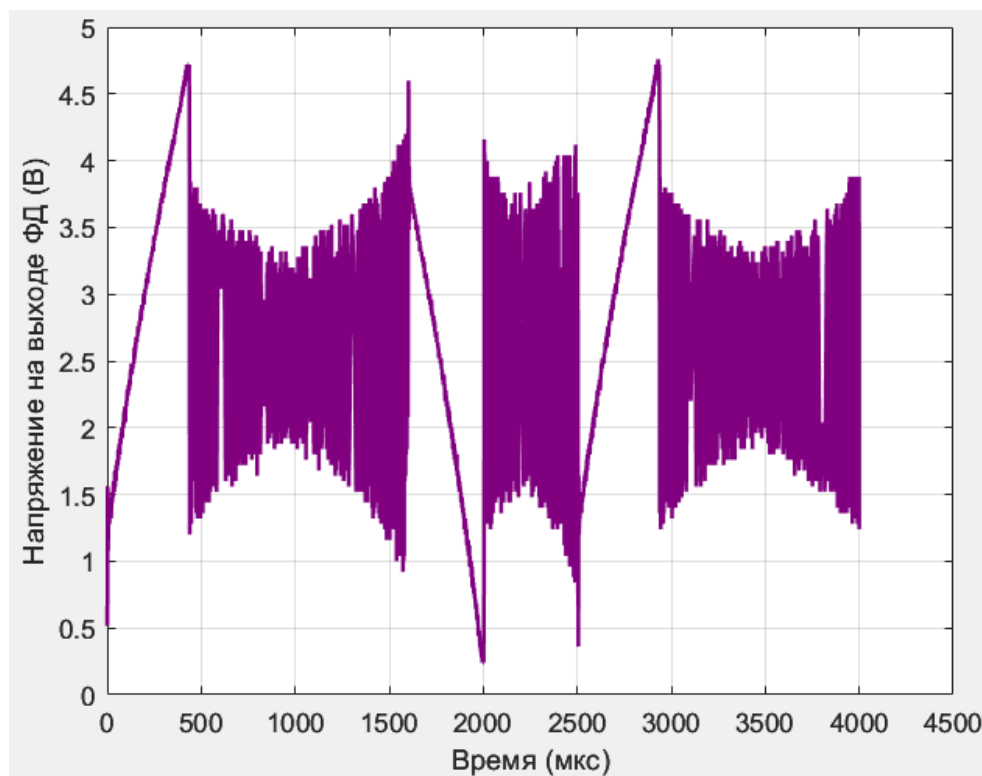


Рисунок 2 — Осциллограмма напряжения на выходе ФД  $E_{\text{ФД}}(t)$  для положения переключателя 4

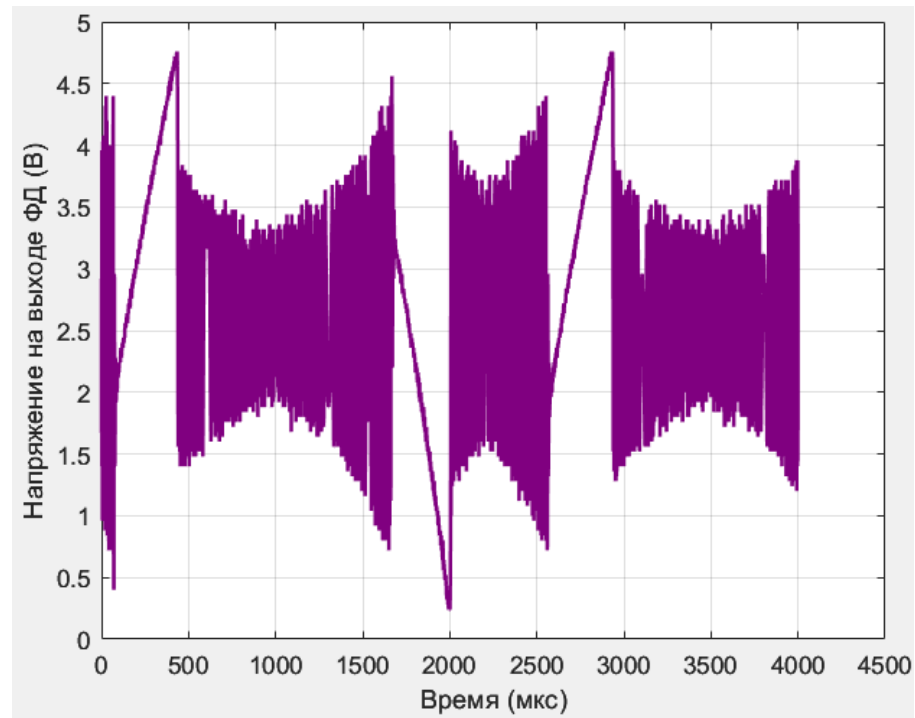


Рисунок 3 — Осциллограмма напряжения на выходе ФД  $E_{\text{ФД}}(t)$  для положения переключателя 6

Расчет значений  $K_{\text{ФД}}$  и  $T_{\text{ФАПЧ}}$ :

$$K_{\text{ФД}} = \frac{E_{\text{п}}}{\pi} = \frac{5 \text{ В}}{\pi} = 1.59 \frac{\text{В}}{\text{рад}}$$

$$T_{\text{ФАПЧ}} = \frac{P}{2\pi K_{\text{ФД}} K_{\text{ГУН}}} = \frac{16}{2\pi \cdot 1.59 \cdot 5.08 \cdot 10^6} = 0.315 \text{ мкс}$$

$K_{\text{ФД}}, \text{В/рад}$	$K_{\text{ГУН}}, \text{МГц/В}$	$T_{\text{ФАПЧ}}, \text{мкс}$
1.59	5.08	0.315

Таблица 2 — Величины, определяющие поведение кольца ФАПЧ

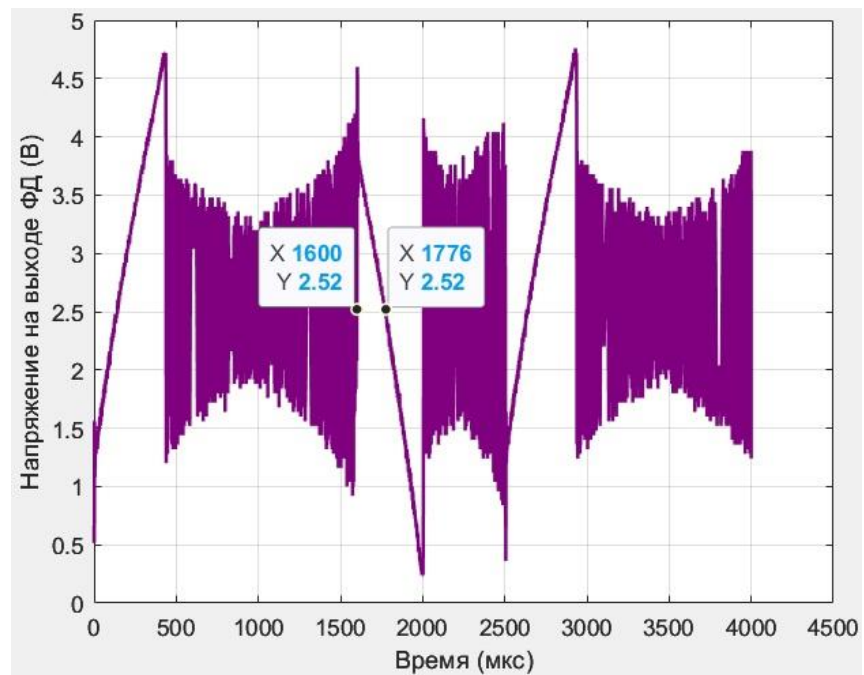


Рисунок 4 — Оценка величины  $\gamma$  по осциллограмме  $E_{\text{ФД}}(t)$  для положения переключателя 4

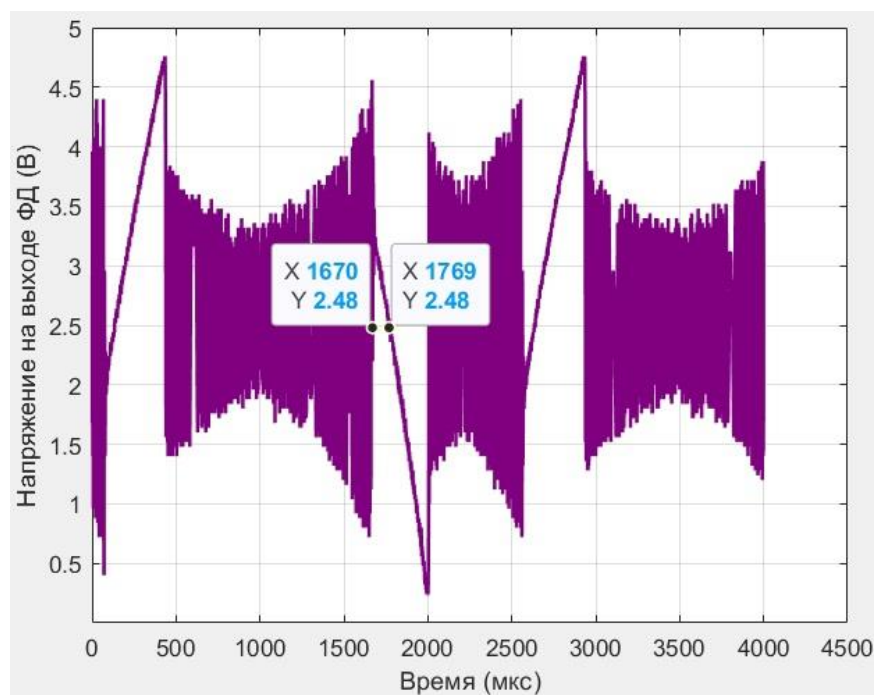


Рисунок 5 — Оценка величины  $\gamma$  по осциллограмме  $E_{\text{ФД}}(t)$  для положения переключателя 6

Определяем величину  $\gamma$ :

$$\gamma_4 = \frac{(1.76 - 1.6) \cdot 10^{-6}}{(2 - 1.76) \cdot 10^{-6}} = 0.66$$

$$\gamma_6 = \frac{(1.76 - 1.68) \cdot 10^{-6}}{(2 - 1.76) \cdot 10^{-6}} = 0.33$$

Для положения переключателей 4 и 6 определяем постоянную времени ФНЧ  $T$  и нормированную постоянную времени ФНЧ  $\tau$ :

$$T_4 = 300 \cdot 2200 \cdot 10^{-12} = 0.66 \text{ мкс}$$

$$T_6 = 300 \cdot 6800 \cdot 10^{-12} = 2.04 \text{ мкс}$$

$$\tau_4 = \frac{T_4}{T_{\text{ФАПЧ}}} = \frac{0.66 \cdot 10^{-6}}{0.315 \cdot 10^{-6}} = 2.095$$

$$\tau_6 = \frac{T_6}{T_{\text{ФАПЧ}}} = \frac{2.04 \cdot 10^{-6}}{0.315 \cdot 10^{-6}} = 6.476$$

Тогда:  $\gamma_4 \approx 0.57$   $\gamma_6 \approx 0.34$

Положение переключателя	Экспериментальное значение $\gamma$	Теоретическое значение $\gamma$
4	0.67	0.57
6	0.33	0.34

Таблица 3 — Экспериментальные и теоретические значения  $\gamma$

#### 4. Измерение переходных процессов по частоте

Настроим ЧМ модуляцию. Форма модуляции — меандр. Частота модуляции 5 кГц.

$$\frac{K_{\text{ГУН}}}{16} \cdot 0.5 = 159 \text{ кГц}$$

Меняя положение переключателя в поле  $RC$ -фильтр рассмотрим формы переходных процессов  $E_{\text{ФД}}(t)$  и  $E_{\text{упр}}(t)$  при увеличении постоянной времени фильтра:

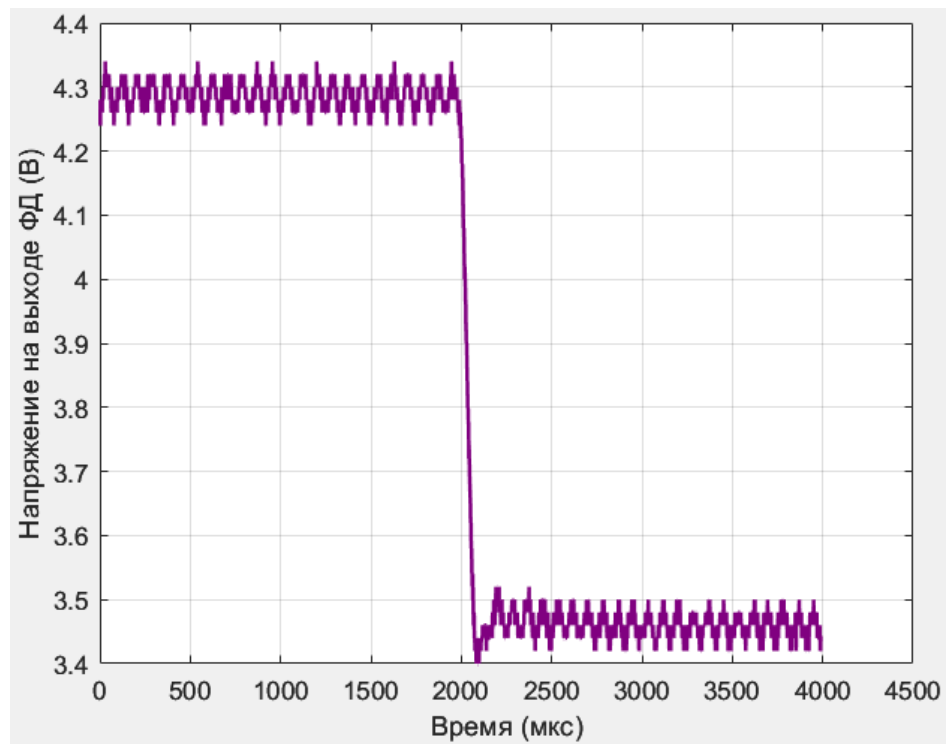


Рисунок 6 — Переходной процесс  $E_{\text{ФД}}(t)$  для положения переключателя 2

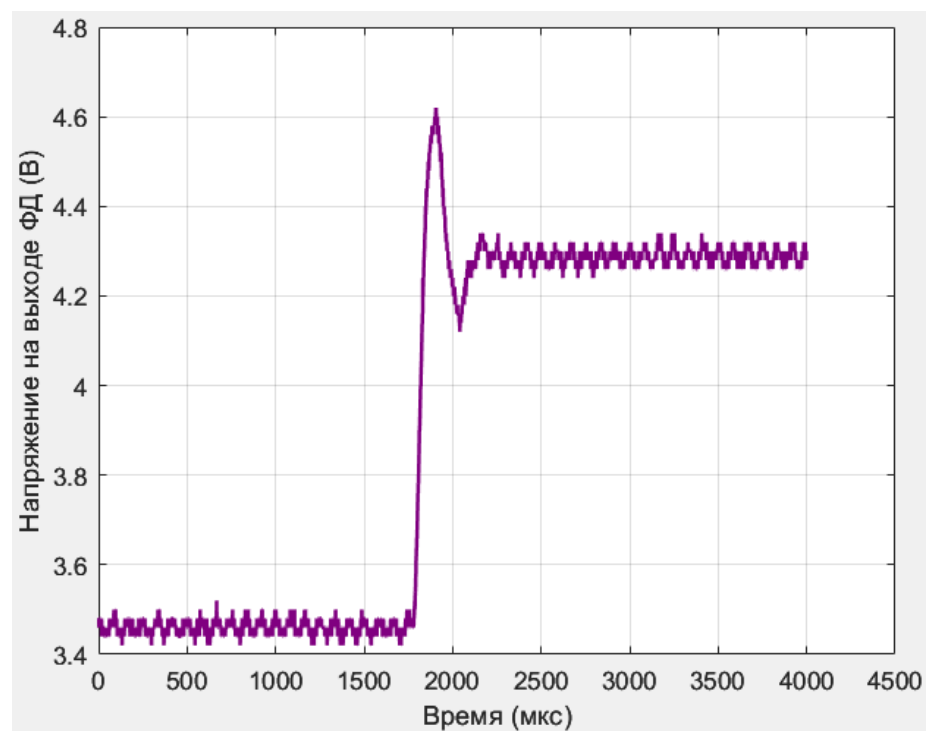


Рисунок 7 — Переходной процесс  $E_{\text{ФД}}(t)$  для положения переключателя 3



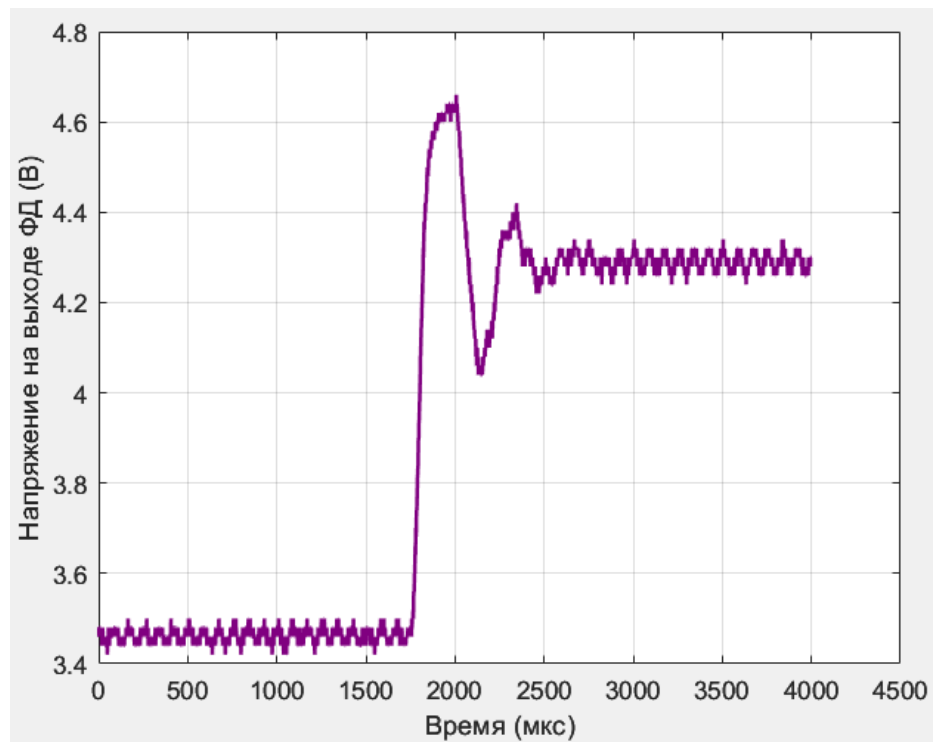


Рисунок 8 — Переходной процесс  $E_{\text{ФД}}(t)$  для положения переключателя 4

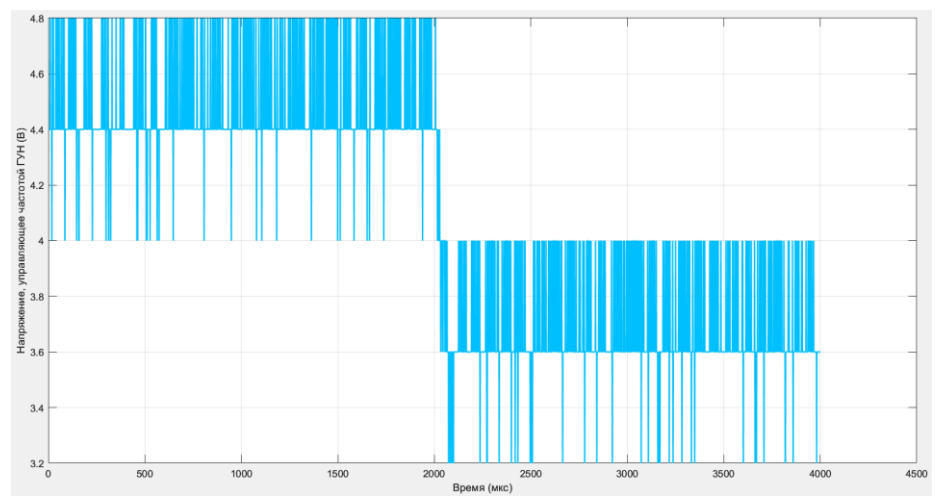


Рисунок 9 — Переходной процесс  $E_{\text{упр}}(t)$  для положения переключателя 2

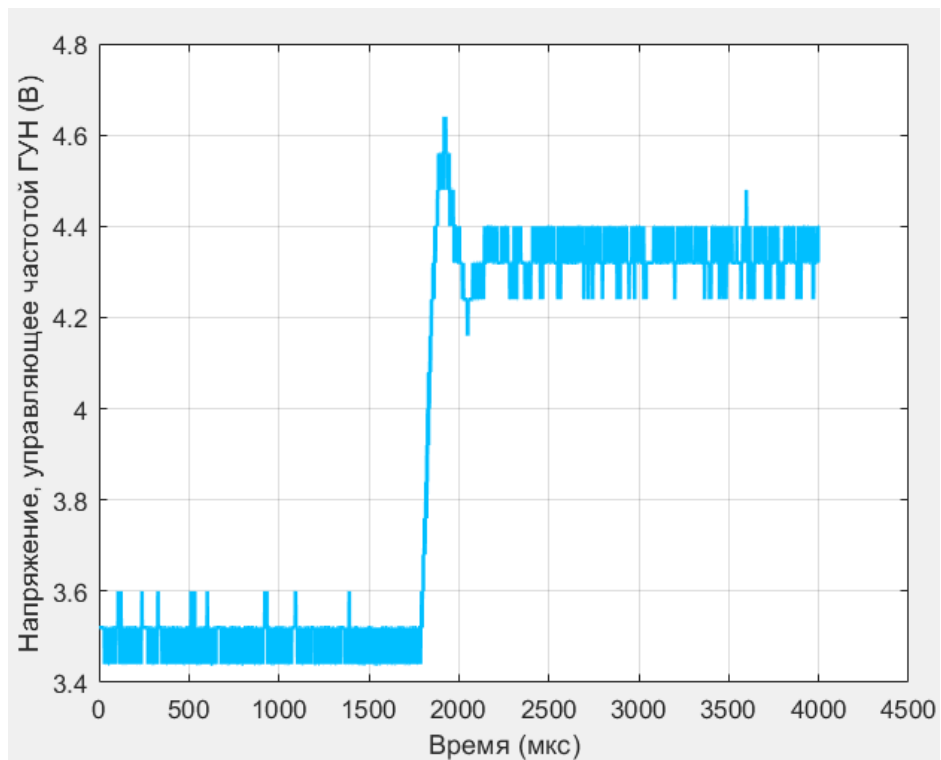


Рисунок 10 — Переходной процесс  $E_{упр}(t)$  для положения переключателя 3

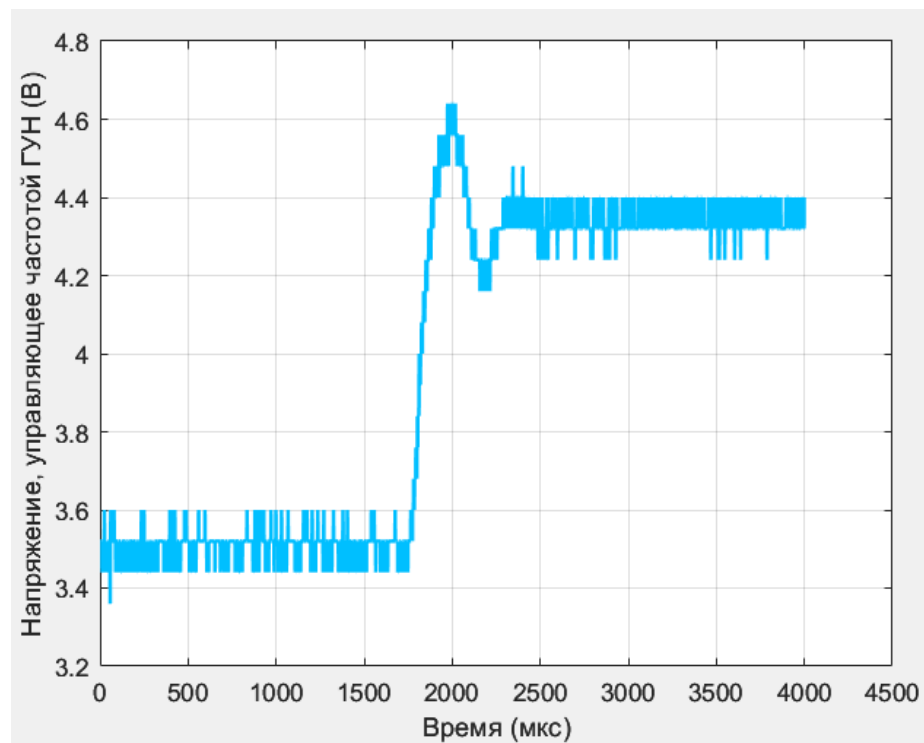


Рисунок 11 — Переходной процесс  $E_{упр}(t)$  для положения переключателя 4

## 5. Измерение переходных процессов по фазе

Выключили выход внешнего генератора и модуляцию. Настроили внешний генератор. Форма напряжения: меандр. Частота 5 кГц. Средний уровень 1.75 В. Размах от минимума до максимума 3.5 В. В качестве опорного колебания выбрали от внутреннего опорного генератора 8 МГц.

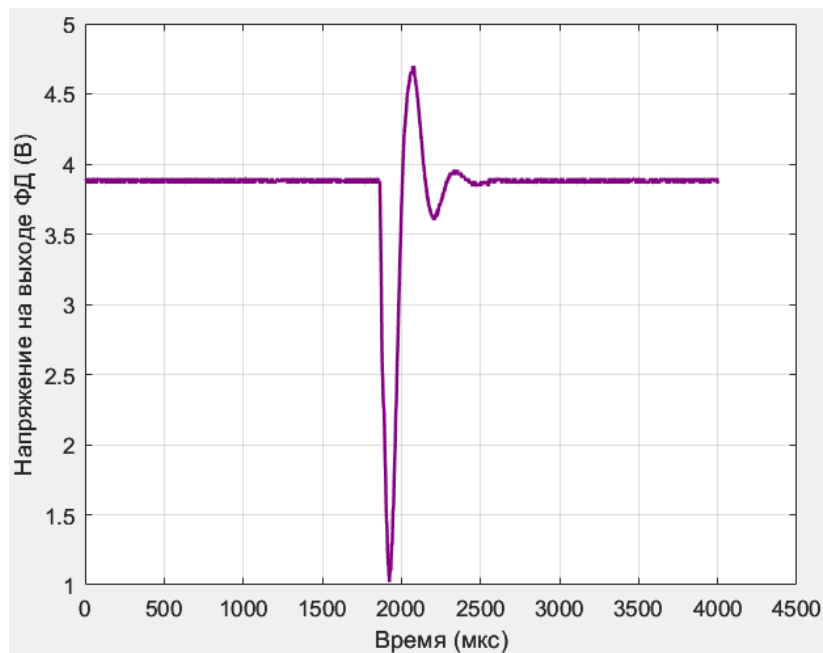


Рисунок 12 — Переходной процесс  $E_{FD}(t)$  для положения переключателя 3

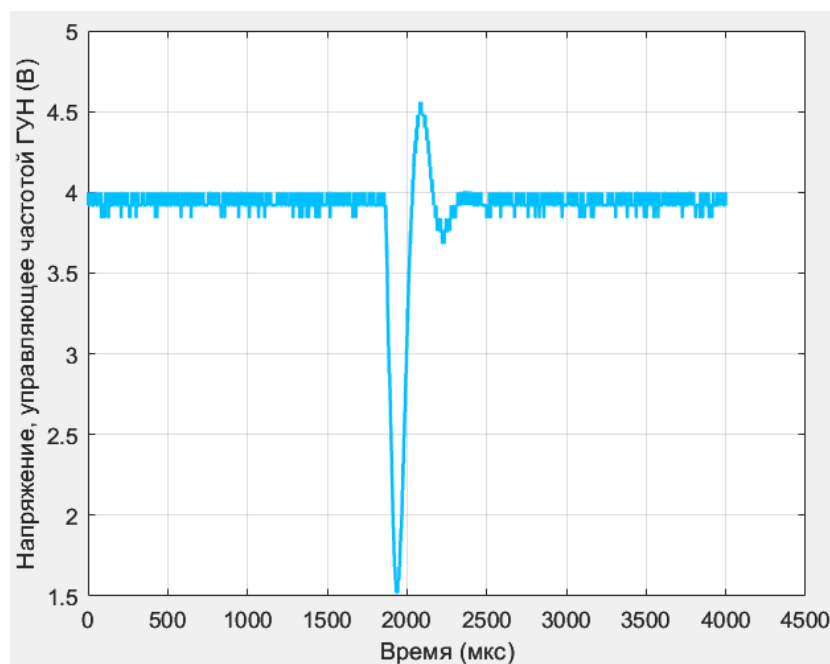


Рисунок 13 — Переходной процесс  $E_{упр}(t)$  для положения переключателя 3

## **Вывод**

Мы не можем добиться точного соответствия расчетных и экспериментальных графиков. Несмотря на это, между экспериментально построенными зависимостями и рассчитанными по дифференциальным уравнениям, можно заметить, что форма их процессов совпадает.

При определении величины  $\gamma$  были использованы маркеры, которые могли быть установлены недостаточно точно на осциллограммах  $E_{\text{ФД}}(t)$ , что также является причиной несоответствия расчета и эксперимента.

Во время выполнения лабораторной работы различные шумы и помехи также могли негативно повлиять на точность измерений.

## Примечание

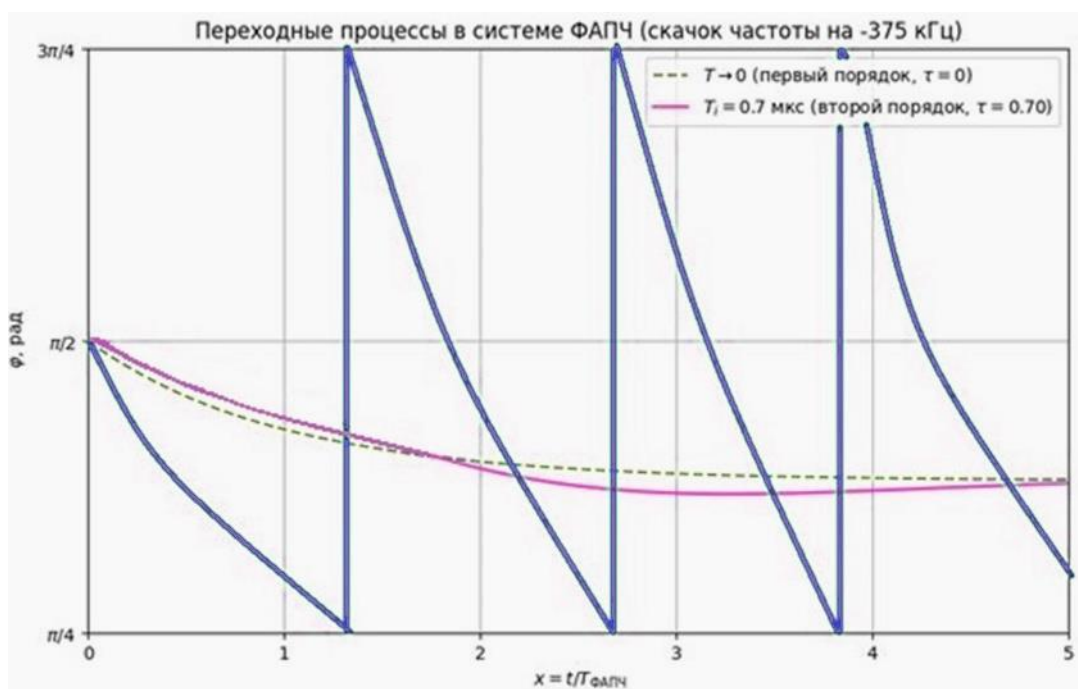


Рисунок 14 — Переходные процессы при скачке опорной частоты на +375 кГц

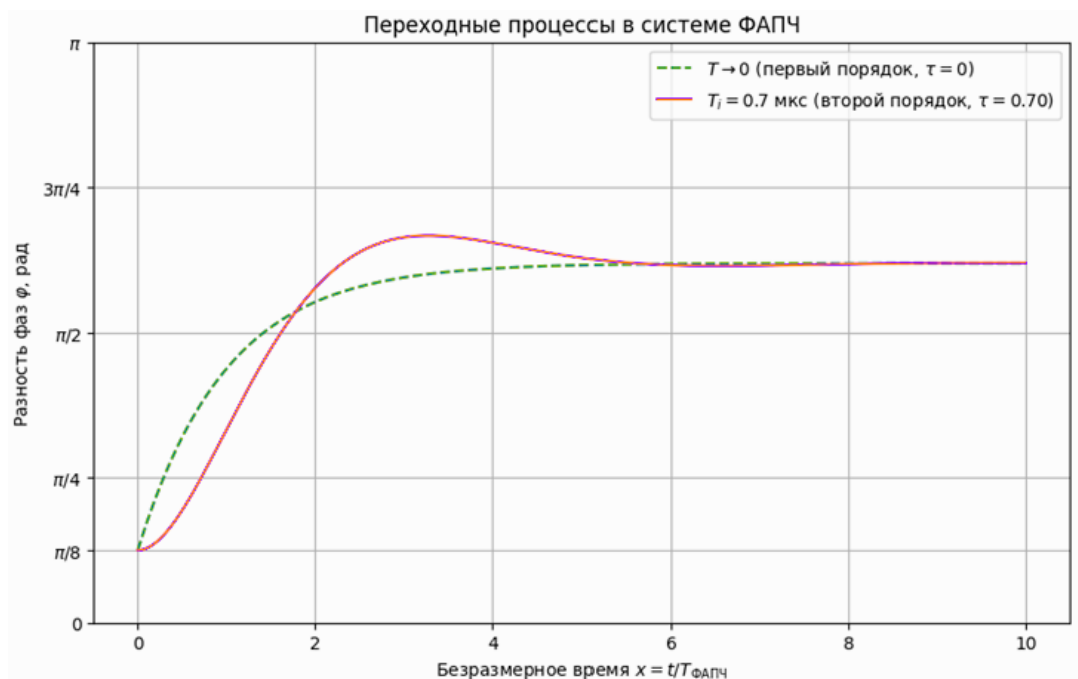


Рисунок 15 — Переходные процессы при скачке опорной частоты на -375 кГц