

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

ОТЧЁТ  
по лабораторной работе №1  
«ФАЗОВАЯ АВТОПОДСТРОЙКА ЧАСТОТЫ»  
по дисциплине «Формирование радиосигналов»

Группа: ЭР-11-21

Бригада: 3

Выполнили: Зименко Д.А.

Проверил: Плутешко А.В.

Дата: 16.03.2025 г.

Оценка:

Москва

2025

## ХОД РАБОТЫ

### 1. Измерение характеристик фазового детектора (ФД)

Подадим колебание от внешнего генератора на вход опорной частоты. Форма напряжения: синусоидальная. Частота 8 МГц. Средний уровень 1.6 В. Размах от минимума до максимума 3.0 В.

Настроили средний уровень так, чтобы величина +Duty была  $50 \pm 2\%$ . Подобрали  $f_{оп}$  так, чтобы частота биений на выходе ФД была в диапазоне от 40 до 60 кГц, и построим осциллограмму  $E_{ФД}(t)$ .

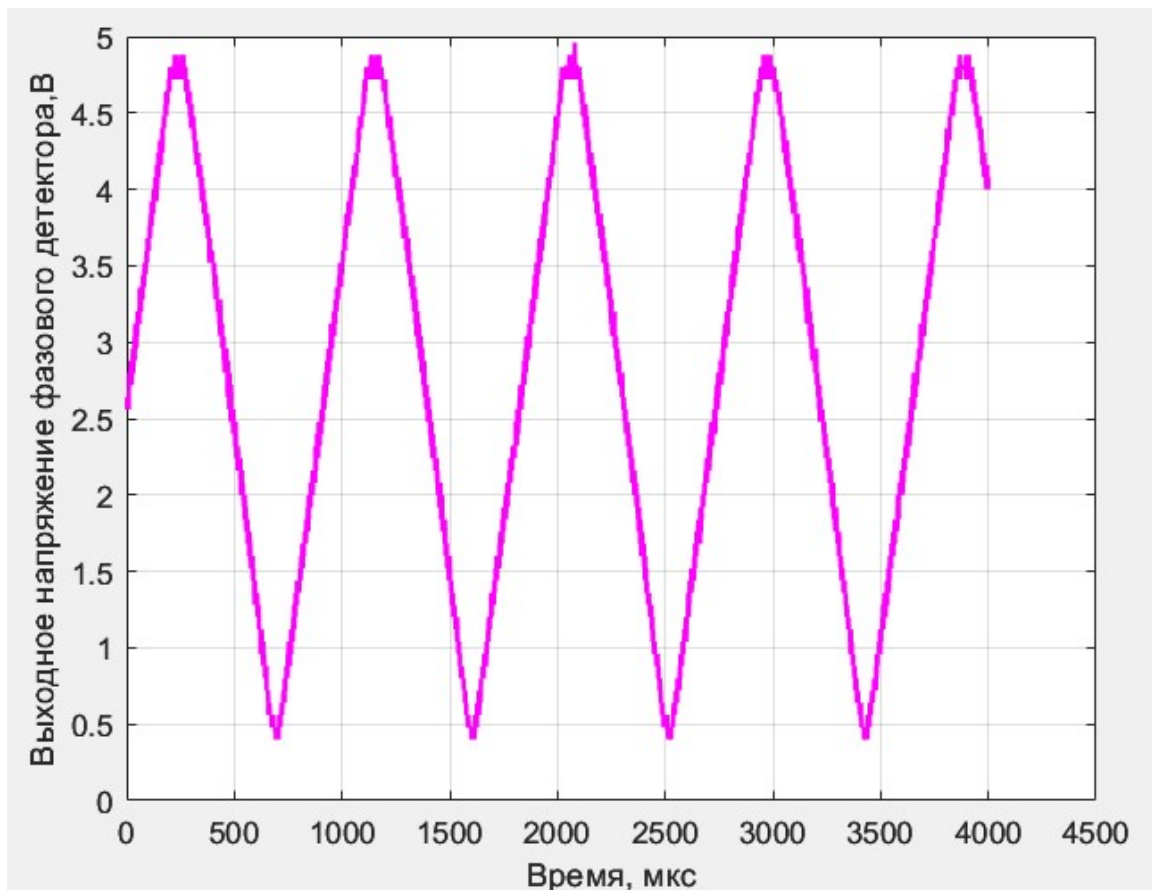


Рис.1 – Осциллограмма выходного напряжения ФД

## 2. Измерение характеристик ГУН

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

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

Таблица 1 – Характеристика управления частотой ГУН

$f_{оп}, \text{МГц}$	8	8.1	8.2
$f_{ГУН}, \text{МГц}$	128	129.6	131.2
$E_{упр}, \text{В}$	3.89	4.16	4.43

Таблица 1 (продолжение) – Характеристика управления частотой ГУН

## 3. Измерение полосы захвата

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

$$K_{ГУН} = \frac{f_{ГУН2} - f_{ГУН1}}{E_{упр2} - E_{упр1}}$$
$$K_{ГУН} = \frac{(121.6 - 118.4) \cdot 10^6 \text{ Гц}}{2.75 \text{ В} - 2.12 \text{ В}} = 5.08 \frac{\text{МГц}}{\text{В}}$$

Включили ЧМ модуляцию. Форма модуляции: треугольная. Частота модуляции 500 Гц. Установим центральную частоту и девиацию так, чтобы

частота менялась в пределах от  $f_{\text{опмин}} - (E_{\text{упр мин}} + 0.1) \cdot \frac{K_{\text{ГУН}}}{16}$  до

$$f_{\text{опмакс}} + (5.1 - E_{\text{упр макс}}) \cdot \frac{K_{\text{ГУН}}}{16}.$$

$$f_{\text{опмин}} - (E_{\text{упр мин}} + 0.1) \cdot \frac{K_{\text{ГУН}}}{16} = 7.2 \cdot 10^6 \text{ Гц} - (1.44 \text{ В} + 0.1) \cdot \frac{5.08 \cdot 10^6 \frac{\text{Гц}}{\text{В}}}{16} = 6.71 \text{ МГц}$$

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

Сохраним осциллограммы  $E_{\text{ФД}}(t)$  в 4 и 6 положениях переключателей.

#### 4. Измерение переходных процессов по частоте

Настроим ЧМ модуляцию. Форма модуляции: меандр. Частота модуляции 5 кГц. Девиацию выберем:

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

Меняя положения переключателей в поле РС-ФИЛЬТР сохраним осциллограммы  $E_{\text{ФД}}(t)$  и  $E_{\text{упр}}(t)$ .

#### 5. Измерение переходных процессов по фазе

Выключим выход внешнего генератора и выключим 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.

6. Заполнение таблицы, используя дифференциальные параметры характеристик в точках, соответствующих  $E_{\text{ФД}} = E_{\text{упр}} = 2.5 \text{ В}$

$$K_{\text{ГУН}} = \frac{f_{\text{ГУН2}} - f_{\text{ГУН1}}}{E_{\text{упр2}} - E_{\text{упр1}}}$$

$$K_{\text{ГУН}} = \frac{(121.6 - 118.4) \cdot 10^6 \text{ Гц}}{2.75 \text{ В} - 2.12 \text{ В}} = 5.08 \frac{\text{МГц}}{\text{В}}$$

Значения  $K_{\text{ФД}}$  и  $T_{\text{ФАПЧ}}$  определим по формулам:

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

$$T_{\text{ФАПЧ}} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot K_{\text{ГУН}} \cdot K_{\text{ФД}}},$$

где  $P$  – делитель частоты в кольце ФАПЧ.

$$T_{\text{ФАПЧ}} = \frac{16}{2 \cdot \pi \cdot 1.59 \cdot 10^6 \frac{\text{Гц}}{\text{В}} \cdot 5.08 \frac{\text{В}}{\text{рад}}} = 0.315 \text{ мкс}$$

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

Таблица 1 – Величины, определяющие поведение кольца ФАПЧ

## 7. Оценка величины $\gamma$ для конфигураций кольца ФАПЧ

Рассчитаем значения постоянной времени цепи для 4 и 6 положения переключателей соответственной и сведём их в таблицу 2:

$$\tau_{\text{ФНЧ4}} = R_1 \cdot C_4 = 300 \text{ Ом} \cdot 2200 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 0.66 \text{ мкс}$$

$$\tau_{\text{ФНЧ6}} = R_1 \cdot C_6 = 300 \text{ Ом} \cdot 6800 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 2.04 \text{ мкс}$$

Положение переключателя	$R_1, \text{Ом}$	$C, \text{пФ}$	$\tau_{\text{ФНЧ4}}, \text{мкс}$
4	300	2200	0.66
6	300	6800	2.04

Таблица 2 – Номиналы элементов RC-фильтра и рассчитанные  $\tau$

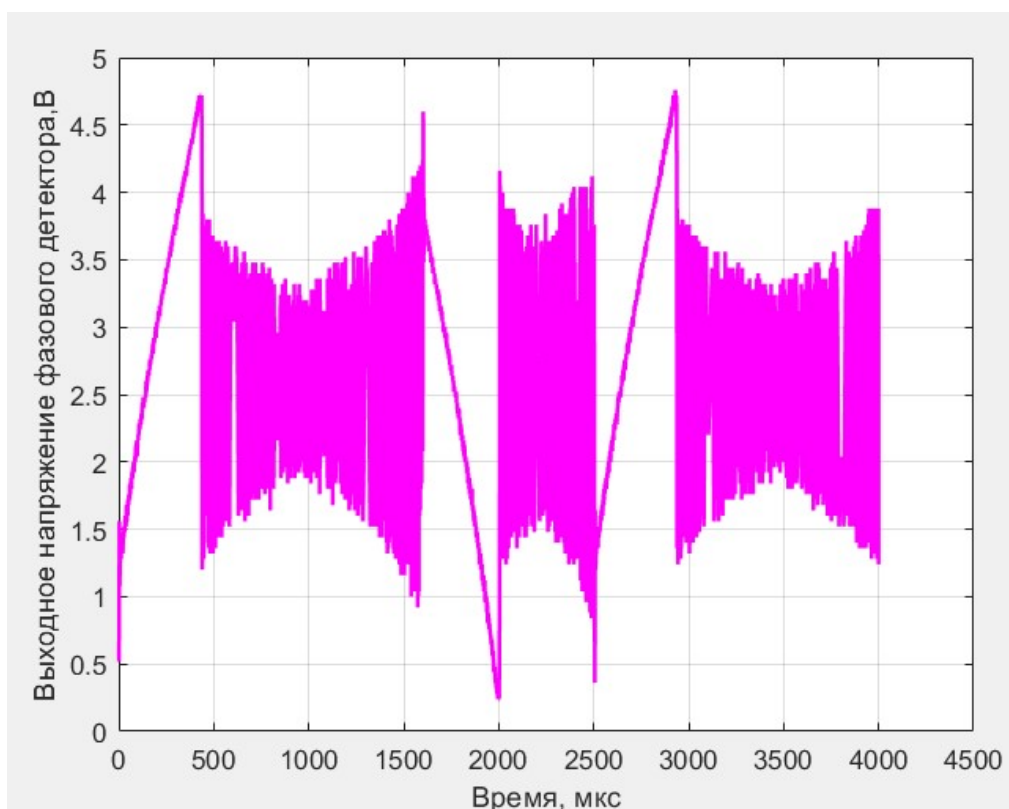


Рис.2 – Осциллограмма выходного напряжения ФД при 4-ом положении переключателя

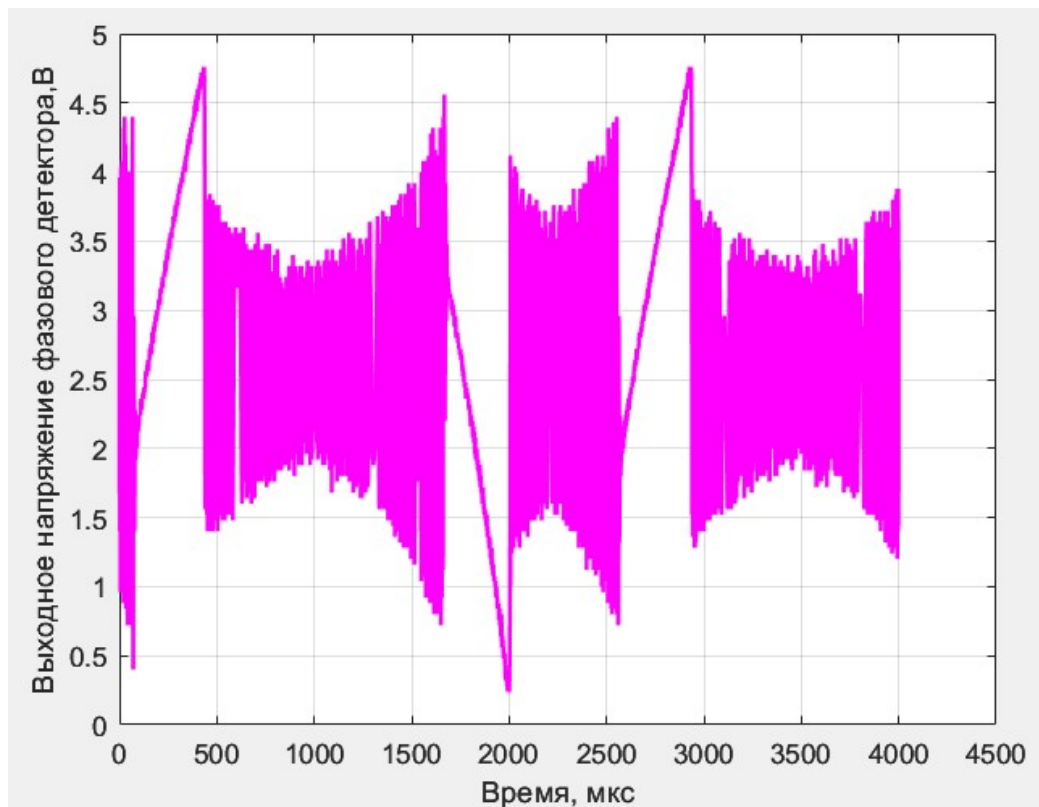


Рис.3 – Осциллограмма выходного напряжения ФД при 6-ом положении переключателя

Полосой синхронизма называют область отклонений частот сигнала, соответствующей режиму слежения, если система вначале находилась в этой области

Полосой захвата называют область отклонений частот сигнала, соответствующей режиму слежения, если система вначале находилась вне этой области

По рисункам 4 и 5 определим значения полосы захвата и полосы синхронизма для 4 и 6 положений переключателей соответственно:

$$\gamma = \frac{P_{\text{зах}}}{P_{\text{син}}} = \frac{(1.77 - 1.6) * 10^{-6}}{(2 - 1.77) * 10^{-6}} = 0.66$$

$$\gamma = \frac{P_{\text{зах}}}{P_{\text{син}}} = \frac{(1.86 - 1.71) * 10^{-6}}{(2 - 1.86) * 10^{-6}} = 0.33$$

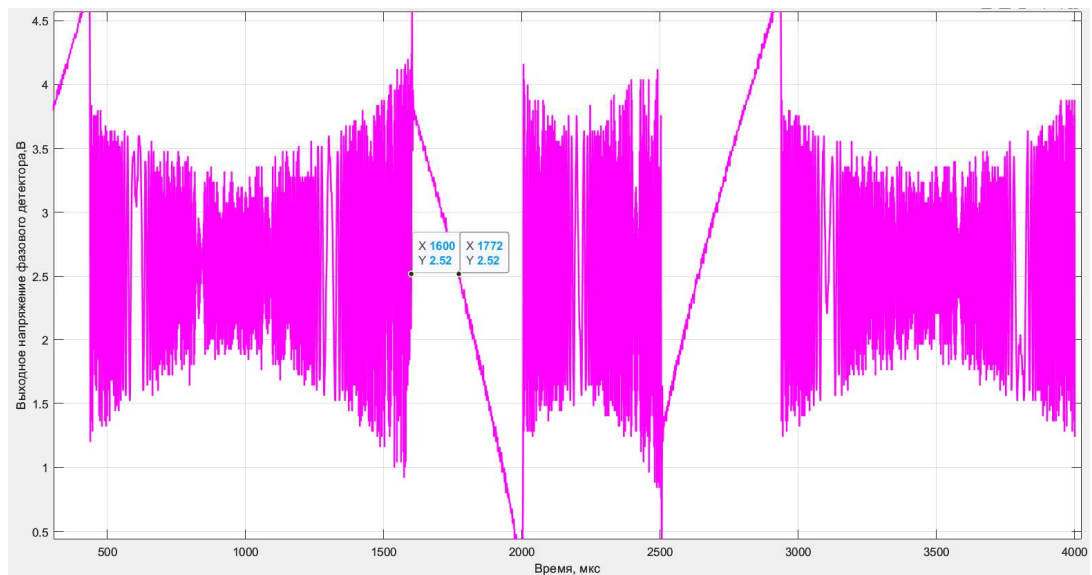


Рис.4 – Оценка величины  $\gamma$  для выходного напряжения ФД при 4-ом положении переключателя

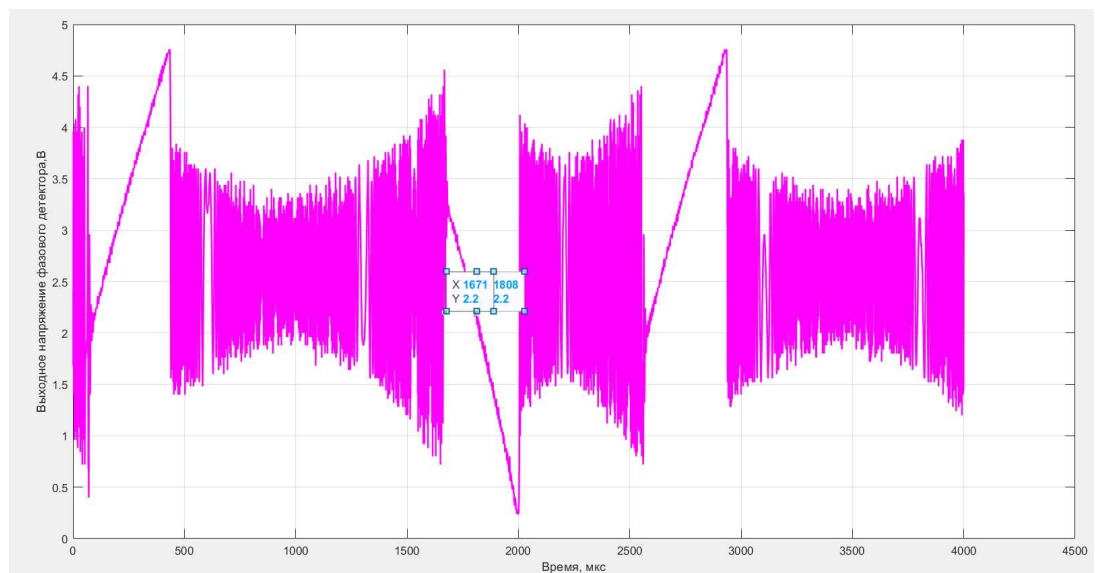


Рис.5 – Оценка величины  $\gamma$  для выходного напряжения ФД при 6-ом положении переключателя

Для определения теоретического относительного (нормированного) значения полосы захвата  $\gamma$  от нормированной постоянной времени ФНЧ  $\tau$ , приведённого в описании лабораторной работы, рассчитаем значение  $\tau$  для 4 и 6 положения переключателей:

$$\tau = \frac{\tau_{\text{ФНЧ4}}}{T_{\text{ФАПЧ}}} = \frac{0.66 \text{ мкс}}{0.315 \text{ мкс}} = 2.09$$



$$\tau = \frac{\tau_{\text{ФНЧ6}}}{T_{\text{ФАПЧ}}} = \frac{2.04 \text{ мкс}}{0.315 \text{ мкс}} = 6.48$$

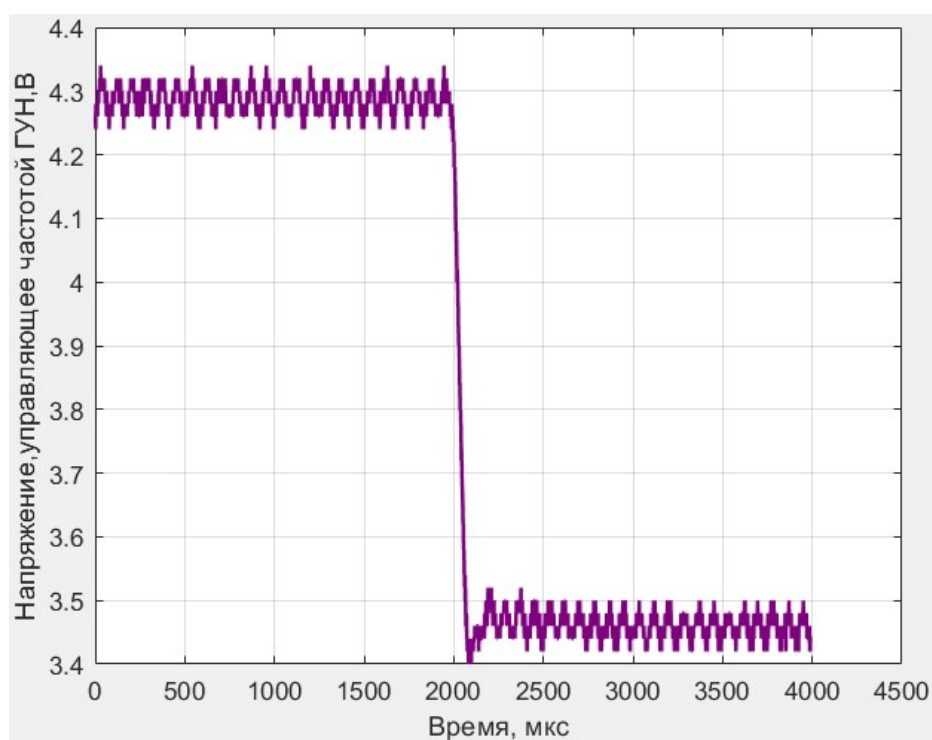
По графику зависимости нормированной полосы захвата  $\gamma$  от нормированной постоянной времени ФНЧ  $\tau$  определим  $\gamma$  по полученным выше  $\tau$  для 4 и 6 переключателей и сведём в таблицу 3.

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

Таблица 3 – Сравнение теоретических и рассчитанных значений  $\gamma$

8. Построение временных зависимостей переходных процессов  $E_{\text{ФД}}(t)$  и  $E_{\text{упр}}(t)$  для всех исследованных в эксперименте конфигураций

1) Измерение переходных процессов по частоте



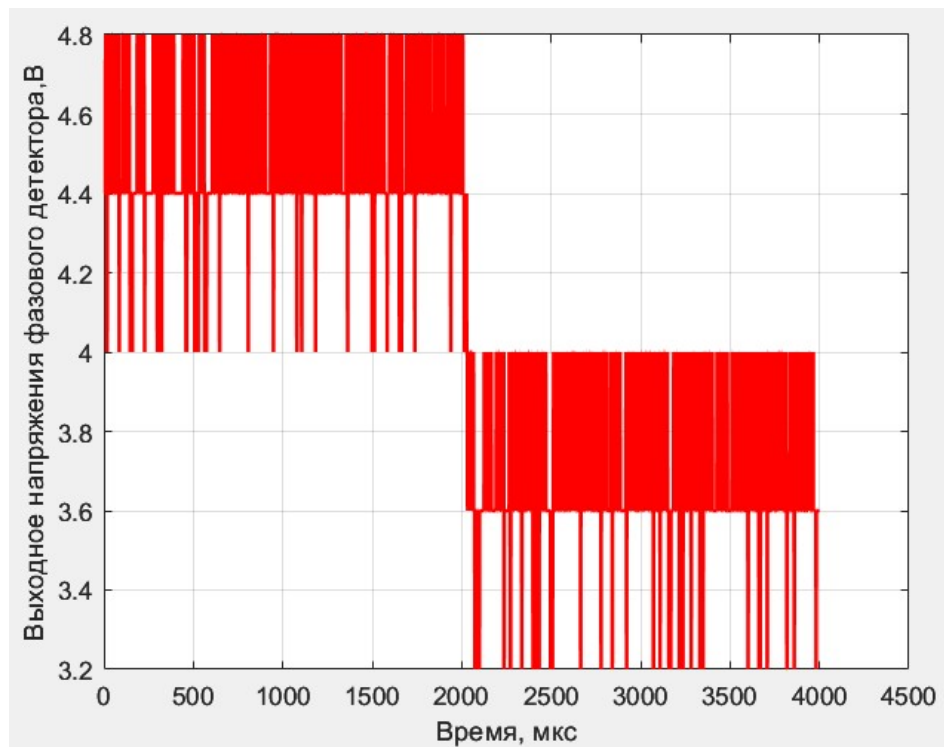
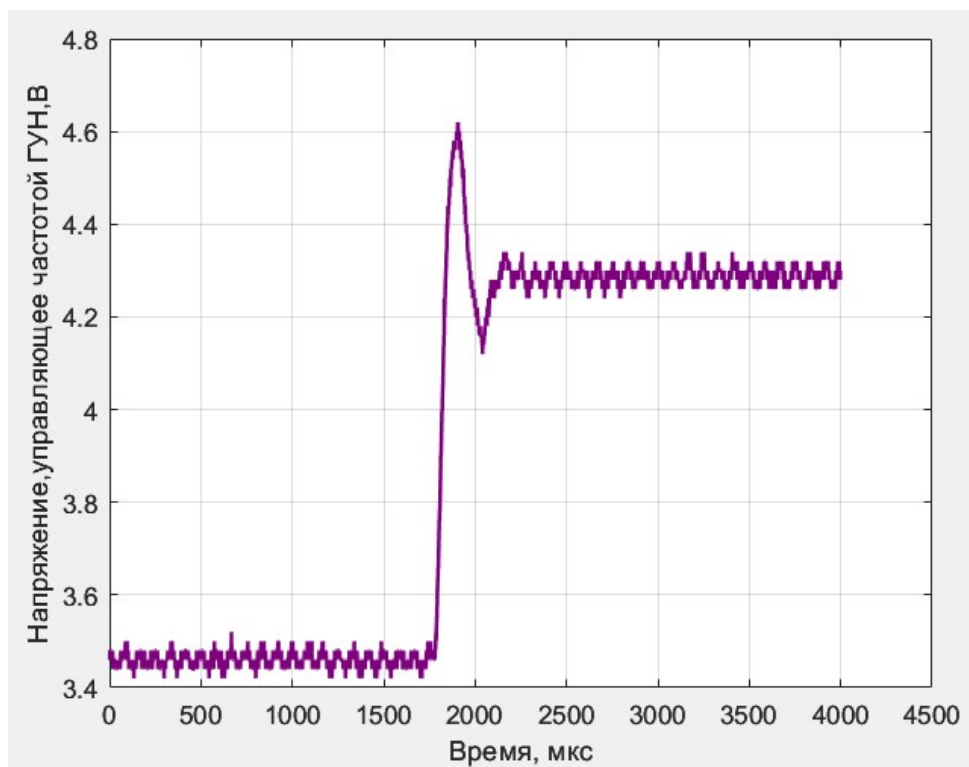


Рис.6 – Осциллограмма  $E_{ФД}(t)$  (верхний) и  $E_{упр}(t)$  (нижний) для 2-го положения переключателя (отзеркаленные)



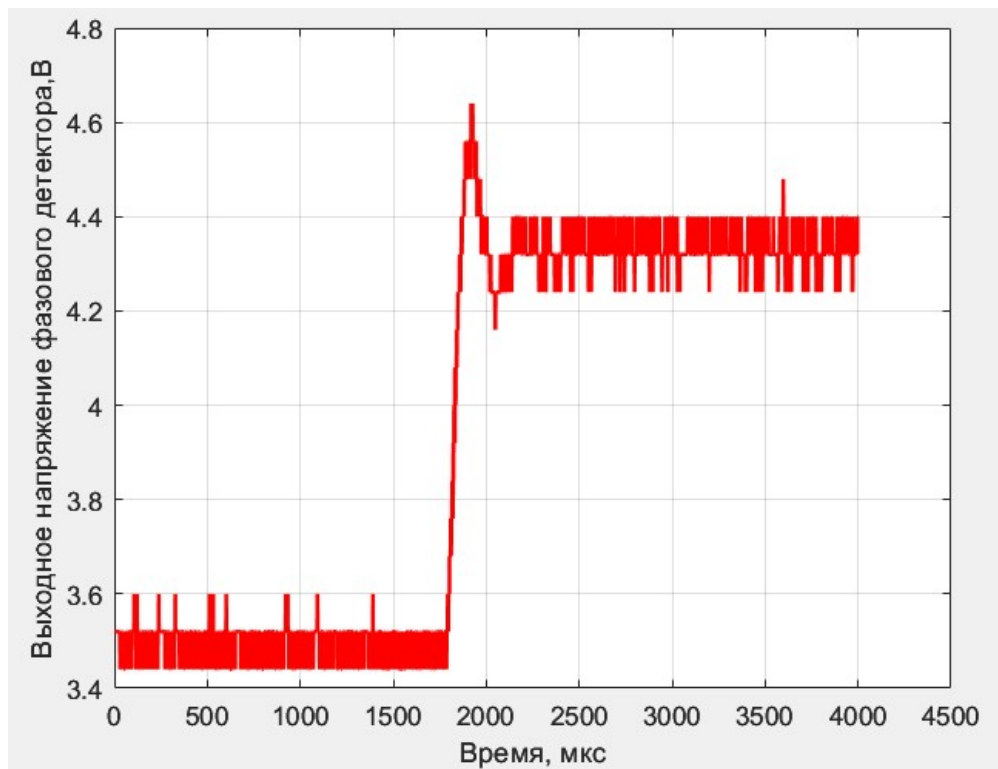
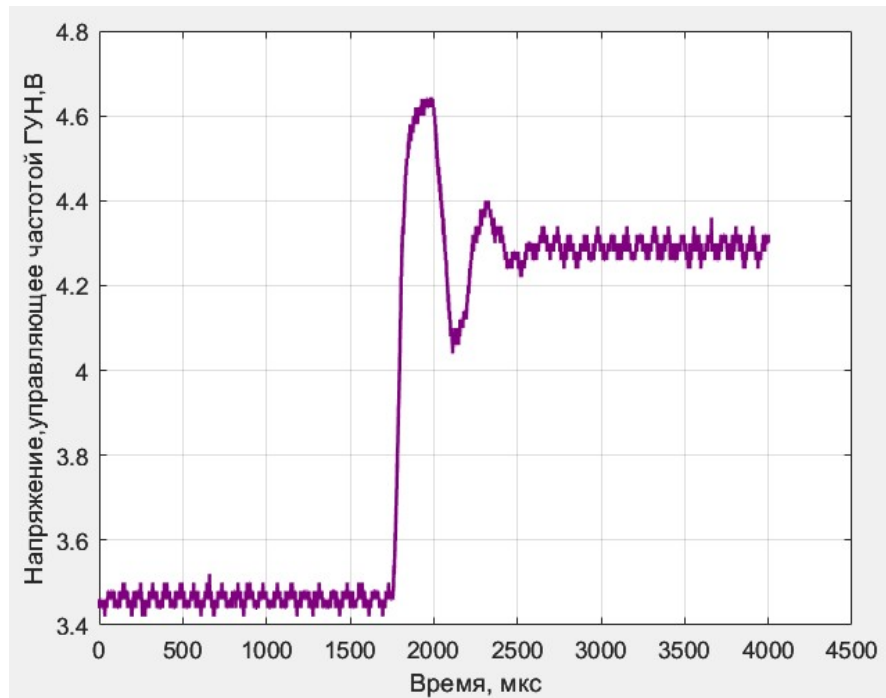


Рис.7 – Осциллограмма  $E_{ФД}(t)$ (*верхний*) и  $E_{упр}(t)$ (*нижний*) для 3-го положения переключателя



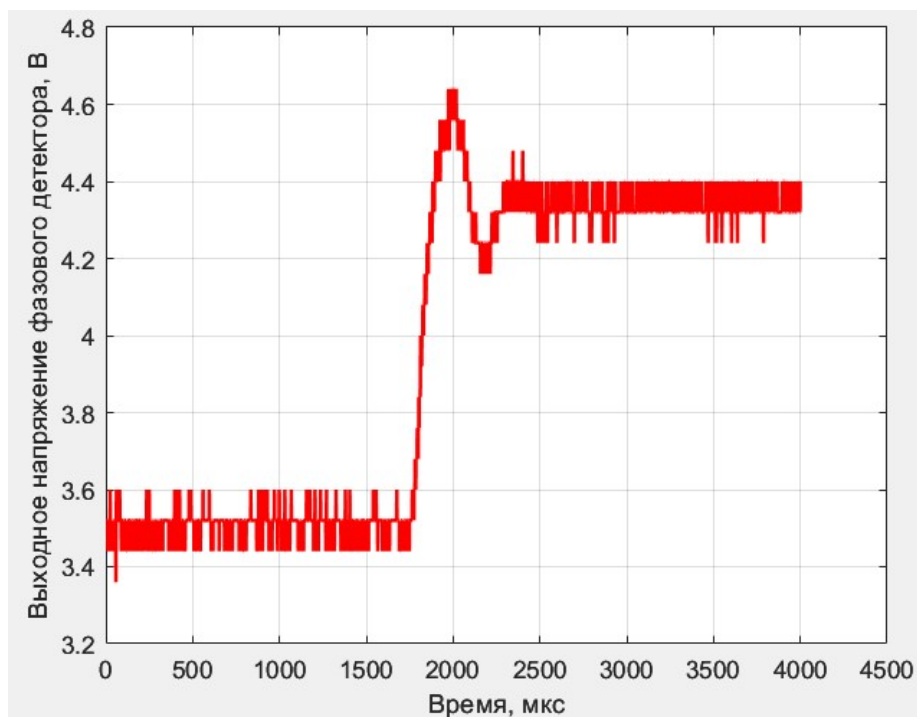
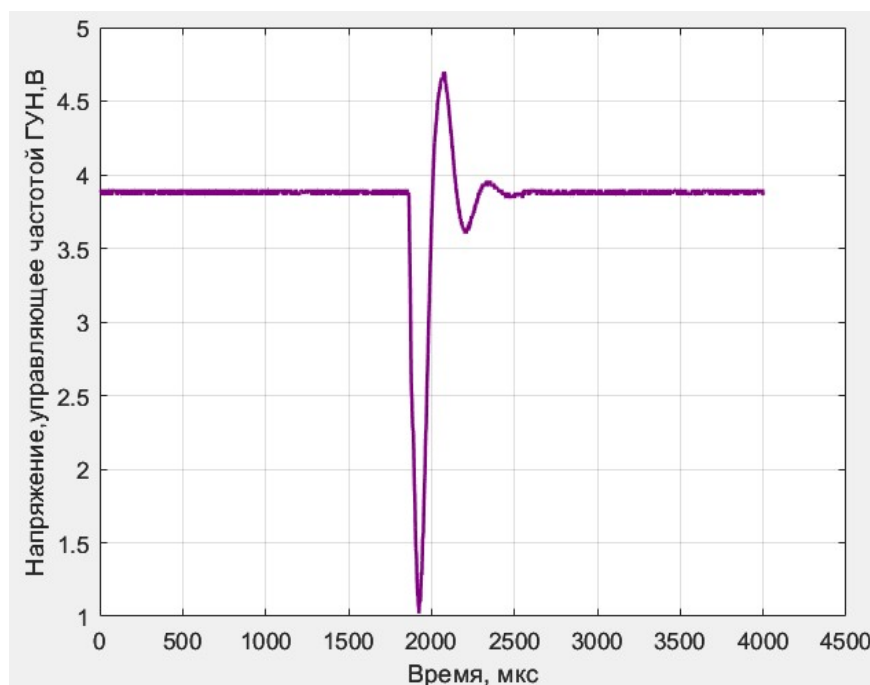


Рис.8 – Осциллограмма  $E_{\text{ФД}}(t)$  (верхний) и  $E_{\text{упр}}(t)$  (нижний) для 4-го положения переключателя

## 2) Измерение переходных процессов по фазе



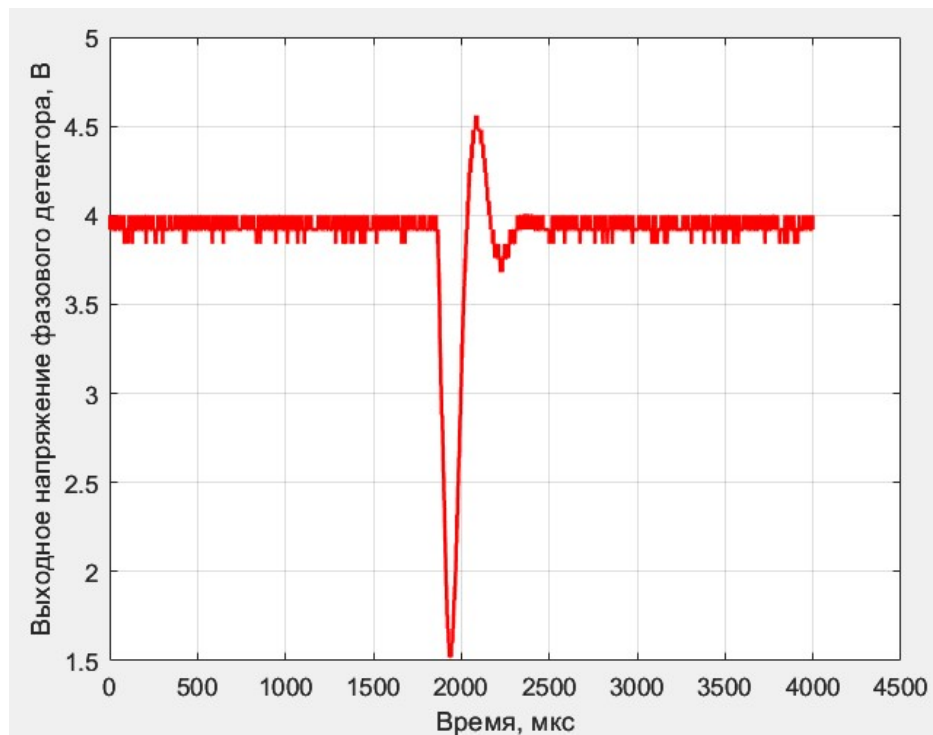


Рис.9 – Осциллограмма  $E_{\text{ФД}}(t)$ (верхний) и  $E_{\text{упр}}(t)$  (нижний) для 6-го положения переключателя

## Выводы

При расчете переходных процессов начальные условия для решения дифференциальных уравнений и установившийся режим определялись с погрешностью что также могло привести к недостаточно точному соответствию расчета и эксперимента.

При определении экспериментального значения величины  $\gamma$  были использованы маркеры, которые могли быть установлены недостаточно точно на осциллограммах  $E_{\text{ФД}}(t)$ , что может являться причиной несоответствия расчетных и экспериментальных значений.

Также вследствие нагревания элементов платы при проведении лабораторной работы, получаемые результаты измерений могут отличаться от ожидаемых.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

А)

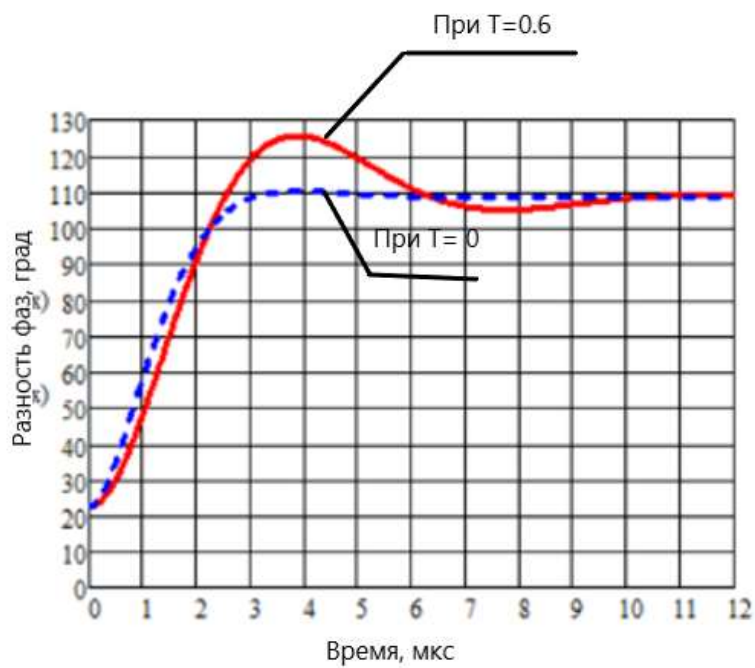


Рисунок А1 – переходные процессы при скачке опорной частоты на +375 кГц

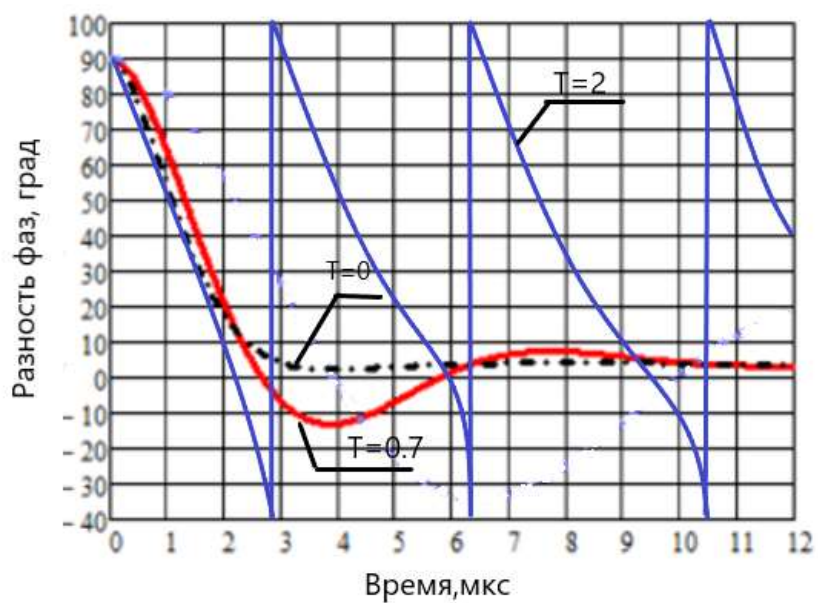


Рисунок А2 – переходные процессы при скачке опорной частоты на -375 кГц