

## **ТЕМА:**

**Разработка структуры следящего модуля фазовой автоподстройки частоты радиотехнических систем**

**Цель:** разработка модуля фазовой автоподстройки частоты на основе объединенного принципа максимума.

## **Основные вопросы, подлежащие исследованию:**

1. Анализ современного состояния методов синтеза систем ФАПЧ.
2. Оценка эффективности выбранного метода синтеза модуля ФАПЧ.
3. Разработка модуля ФАПЧ.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Уравнение состояния

$$\ddot{\varphi} = \eta - b\dot{\varphi} - c\varphi \quad (1)$$

Уравнение наблюдения

$$y = A \sin(\omega t + \varphi) + n \quad (2)$$

Целевой функционал

$$\int_0^T [y - A \cdot \sin(\omega t + \varphi)]^2 dt \rightarrow \min \quad (3)$$

## УСЛОВИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ПРИНЦИПА МАКСИМУМА

$$\Phi(\varphi, \eta, \lambda) = \left\{ \lambda \eta - \frac{\partial H}{\partial \varphi} [y - H(\varphi)] \right\} \varphi \rightarrow \max. \quad (4)$$

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ПРИНЦИПА МАКСИМУМА

Решение ОПМ

$$\eta = -\lambda^{-1} \left\{ -\frac{\hat{\phi}|\hat{\phi} \left| \frac{\partial H}{\partial \varphi} [y - H(\hat{\phi})] \right|}{2|\eta||\hat{\phi}|} + \frac{\partial H}{\partial \varphi} [y - H(\hat{\phi})] \right\} \quad (5)$$

Уравнение оценки фазы имеет вид

$$\dot{\hat{\phi}} = -b\hat{\phi} - c\hat{\phi} + \lambda^{-1} \left\{ -\frac{\hat{\phi}|\hat{\phi} \left| \frac{\partial H}{\partial \varphi} [y - H(\hat{\phi})] \right|}{2|\eta||\hat{\phi}|} + \frac{\partial H}{\partial \varphi} [y - H(\hat{\phi})] \right\}. \quad (6)$$

## Математическое моделирование

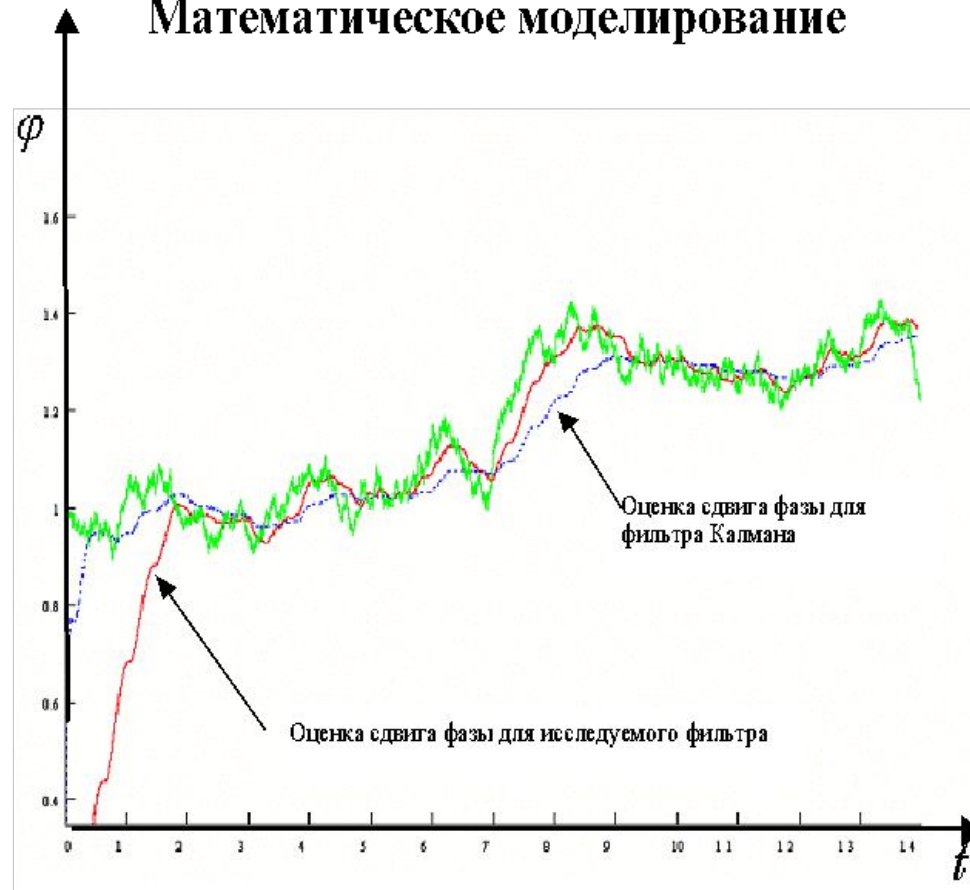


Рисунок 1 - Результаты моделирования

1. Интервал сходимости алгоритмов в безразмерном времени

- для фильтра Калмана:  $\sim t_{cx,k} = 0.4$ ; - для исследуемого фильтра  $\sim t_{cx} = 1.9$ ;

2. Дисперсия оценки фазы: - для фильтра Калмана  $D_k = 4.093 \cdot 10^{-3}$ , - для исследуемого фильтра  $D = 1.657 \cdot 10^{-3}$ ;

3. Объем вычислительных затрат, характеризуемый количеством выполняемых математических операций: - для фильтра Калмана  $n_k = 29$ ; - для исследуемого фильтра  $n = 19$ .

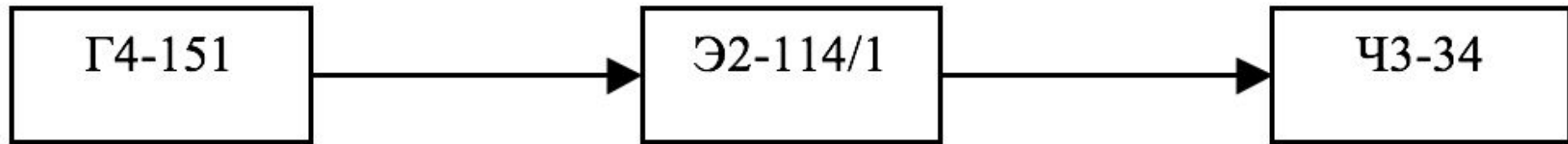


Рисунок 2 – Схема определения нестабильности частоты

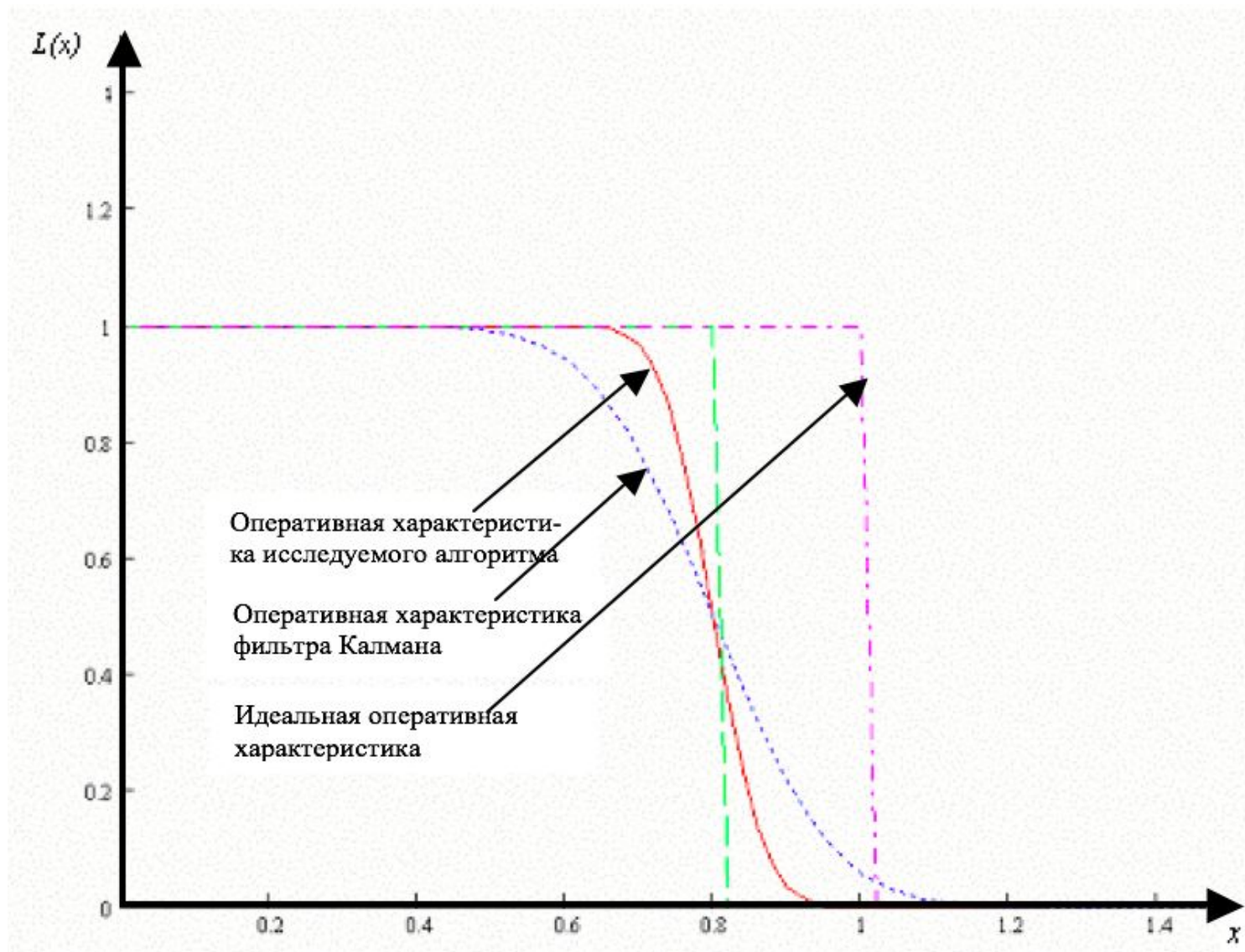


Рисунок 3 – Оперативная характеристика

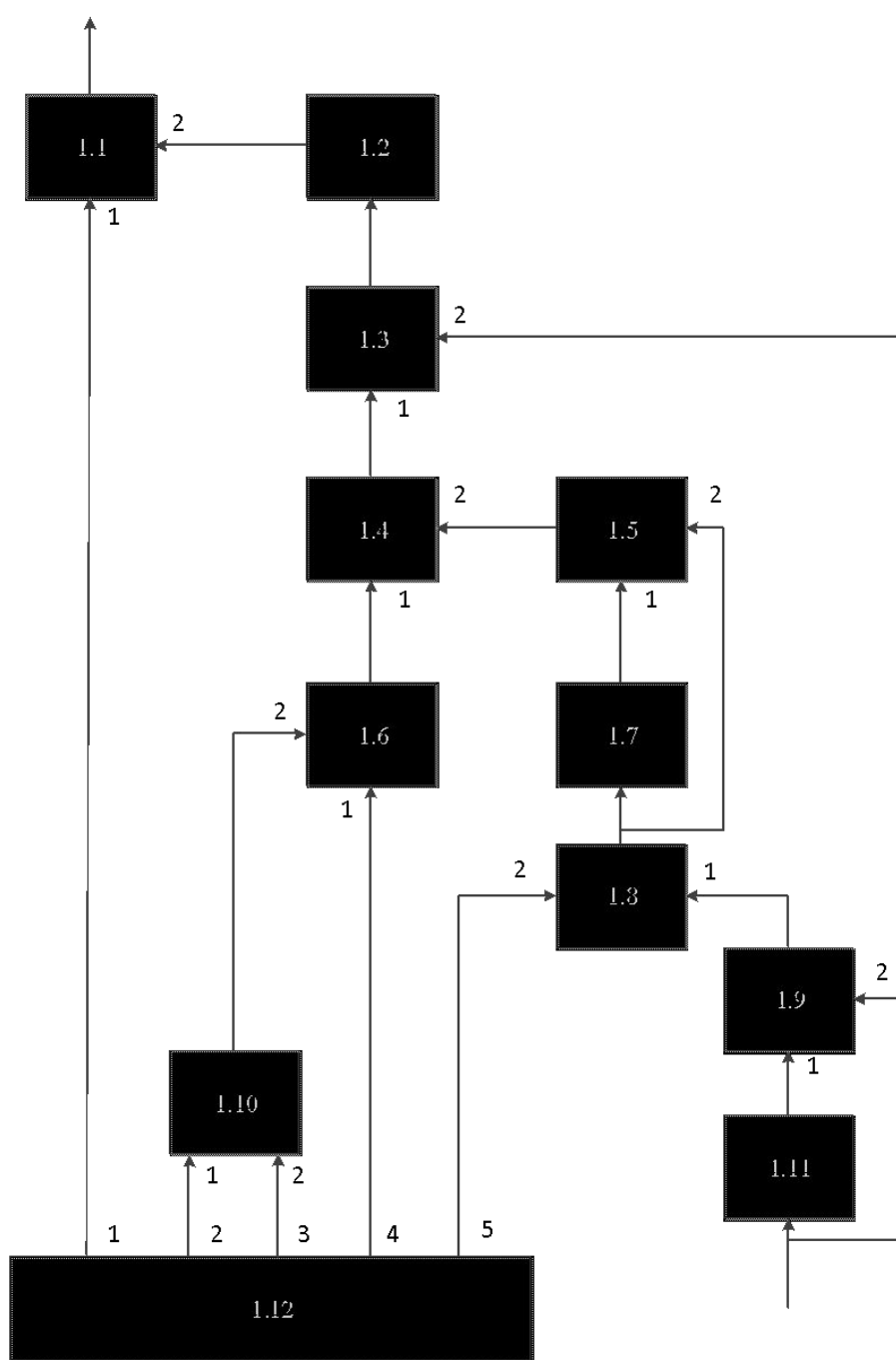


Рисунок 4 - Структурная схема обратной связи

1. Эффективность системы ФАПЧ определяет качество функционирования большого количества радиотехнических информационно-измерительных систем, которые обеспечивают решение практически важных задач. Например, управление безопасностью полетов самолетов. Потребность в их совершенствовании обуславливает актуальность решения поставленной задачи.

2. Система ФАПЧ - это система управления с петлей обратной связи, в которой параметрами регулирования являются частота или фаза сигнала, а не величина его напряжения или тока. Ее синтез целесообразно проводить с использованием объединенного принципа максимума.

3. Сравнительный анализ результатов вычислительного эксперимента показывает, что оценка фазы гармонического колебания при высоком уровне шума наблюдений для исследуемого алгоритма обладает более высокой точностью, чем оценка фильтра Калмана.