

ФГБОУ ВО
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» »
ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ
НАПРАВЛЕНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ
КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4
«МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ»
курса «Аппаратура потребителей СРНС»

Выполнил студент:

Муратов Николай Сергеевич

группа: ЭР-15-17

Проверил:

к.т.н., доцент

Корогодин Илья Владимирович

Москва, 2022 г.

Содержание

4	МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ	3
4.1	Цель работы	3
4.2	Основная часть	3
4.2.1	Постановка задачи	3
4.2.2	Математическая модель	4
4.2.3	Тестовое воздействие	5
4.2.4	Проверка модели в тестовых условиях	6
4.2.5	Результаты моделирования	9
4.3	Выводы	10

Лабораторная работа 4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

4.1 Цель работы

- применить метод информационного параметра при моделировании радиотехнического устройства;
- получить опыт моделирования следящей системы (СС);
- развить навыки обработки данных статистических экспериментов.

4.2 Основная часть

4.2.1 Постановка задачи

Требуется:

- 1) Построить график зависимости динамической ошибки оценивания от полосы следящей системы;
- 2) Построить график зависимости флуктуационной ошибки оценивания от полосы следящей системы;
- 3) Построить график общей среднеквадратической ошибки оценивания частоты от полосы следящей системы;
- 4) Определить шумовую полосу следящей системы, при которой до-

стигается минимум среднеквадратической ошибки оценивания частот.

Допущения:

1) Моделирование будем производить в линейном приближении работы следящей системы по методу информационного параметра;

2) Процесс частоты развивается в соответствии с моделью второго порядка как интеграл от винеровского случайного процесса.

4.2.2 Математическая модель

Математическая модель процесса частоты:

$$\omega_k = \omega_{k-1} + \nu_{k-1}T$$

$$\nu_k = \nu_{k-1} + \xi_k T$$

$$\xi_k \sim N(0, D_\xi)$$

$$M[\xi_i \xi_j] = D_\xi \delta_{i,j}$$

где в соответствии с 13 вариантом задания $D_\xi = 8$. Начальные значения:

$$\omega_0 = 0, \nu_0 = 0$$

Выражения можно записать в векторном виде:

$$\begin{aligned} x_k &= Fx_{k-1} + G\xi_k \\ x &= \begin{bmatrix} \omega_k \\ \nu_k \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ G &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}, \xi_k = \begin{bmatrix} 0 \\ \xi_k \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Алгоритм работы следящей системы относительно информационного параметра:

$$\hat{\omega}_k = \tilde{\omega}_k + K_1 (\omega_{means,k} - \tilde{\omega}_k),$$

$\omega_{means,k}$ — поступившие на k -ом шаге измерения частоты

$$\hat{\nu}_k = \tilde{\nu}_k + K_2 (\omega_{means,k} - \tilde{\omega}_k),$$

$$\tilde{\omega}_k = \hat{\omega}_{k-1} + \hat{\nu}_{k-1} T$$

$$\tilde{\nu}_k = \tilde{\nu}_{k-1}$$

Инициализационные значения:

$$\hat{\omega}_0 = 0, \hat{\nu}_0 = 0$$

Коэффициенты K определяются шумовой полосой системы Δf

$$K_1 = \frac{8}{3} \cdot \Delta f T$$

$$K_2 = \frac{32}{9} \cdot \Delta f^2 T$$

Векторный вид алгоритма:

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{\omega}_k \\ \hat{\nu}_k \end{bmatrix} = \tilde{x}_k + K (\omega_{means,k} - \tilde{\omega}_k)$$

$$\tilde{x} = \begin{bmatrix} \tilde{\omega}_k \\ \tilde{\nu}_k \end{bmatrix} = F \hat{x}_{k-1}, K = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix}$$

4.2.3 Тестовое воздействие

Условия:

Исключим формирующий шум и шум наблюдений. Установим полосу СС равной 2 Гц. Установим начальную ошибку слежения на уровне нескольких Гц.

Ожидаемый результат:

Следящая система произведет подстройку частоты, ошибка в установившемся режиме будет равняться нулю (ввиду величины астатизма). Характерное время переходного процесса – несколько обратных значений полосы, т.е. для 2 Гц около 1.5 секунд.

4.2.4 Проверка модели в тестовых условиях

```
clear all
%close all
clc
%% Дано
T = 0.05;
Tmax = 5; %сек
t = T:T:Tmax;
N = length(t);
G = [0 0;
0 T];
F = [1 T;
0 1];
Dksi = 8*0; % Дисперсия формирующего шума
Deta = 11*0; % Дисперсия шумов наблюдений
Band = 0.1:0.1:3; % Полоса СС
Band_for_plot = 2; % Полоса, при которой вывести графики
RMS_Omega = nan(1, length(Band));
for i = 1:length(Band)
K = nan(2, 1);
K(1) = 8/3 * Band(i) * T; % Коэффициенты СС
K(2) = 32/9 * Band(i)^2 * T;
ksi = sqrt(Dksi) * randn(1, N); % Реализация формирующего шума
eta = sqrt(Deta) * randn(1, N); % Реализация шумов наблюдений
Xest = [0; 0]; % Начальные условия
Hextr = F*Xest;
Xist = [5; 0];
ErrOmega = nan(1, N); Omega = nan(1, N);
for k = 1:N
Xist = F*Xist + G*[0; ksi(k)]; % Развитие оцениваемого процесса
omega_meas = Xist(1) + eta(k); % Наблюдения
Xest = Hextr + K*(omega_meas - Hextr(1)); % Этап оценивания
```

```

Hextr = F*Xest; % Этап экстраполяции
ErrOmega(k) = Xest(1) - Xist(1); % Ошибка оценивания
Omega(k) = Xist(1); % Истинное значения
end
if Band(i) == Band_for_plot
figure(1);
plot(t, ErrOmega/2/pi,'LineWidth',0.5);
xlabel('t, s'); ylabel('\Delta \omega, Hz');
title(['Полоса пропускания = ' num2str(Band(i)) 'Гц']);
grid on
figure(2);
plot(t, [Omega; Omega + ErrOmega]/2/pi,'LineWidth',2);
xlabel('t, s'); ylabel('\omega, Гц');
title(['Полоса пропускания = ' num2str(Band(i)) 'Гц']);
grid on
end
RMS_Omega(i) = sqrt(mean(ErrOmega.^2));
end
if Dksi == 0
Col = [1 0 0];
elseif Deta == 0
Col = [0 0.5 0];
else
Col = [0 0 1];
end
figure(3)
hold on
plot(Band, RMS_Omega,'LineWidth',2, 'Color', Col);
%hold off
xlabel('Полоса пропускания, Гц'); ylabel('RMS \omega, Гц');
grid on

```

В качестве тестовых условий сократили время моделирования до 5 секунд, а также приравняли нулю дисперсии формирующего шума и шума

наблюдений.

Начальное значение оцениваемого процесса частоты установили на 5 рад/с больше, чем начальное значение частоты в оценке вектора состояния.

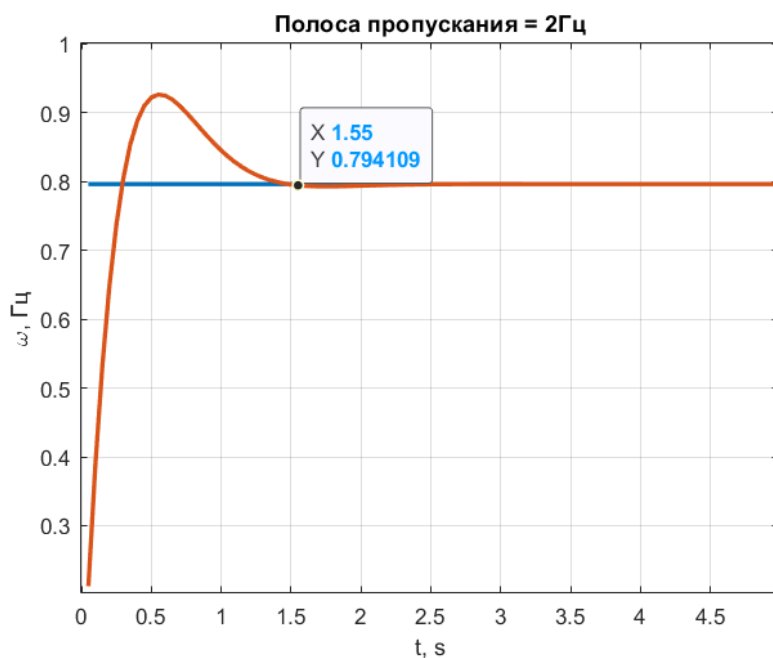


Рисунок 4.2.1 — Процесс частоты (синий) и его оценка (красный)

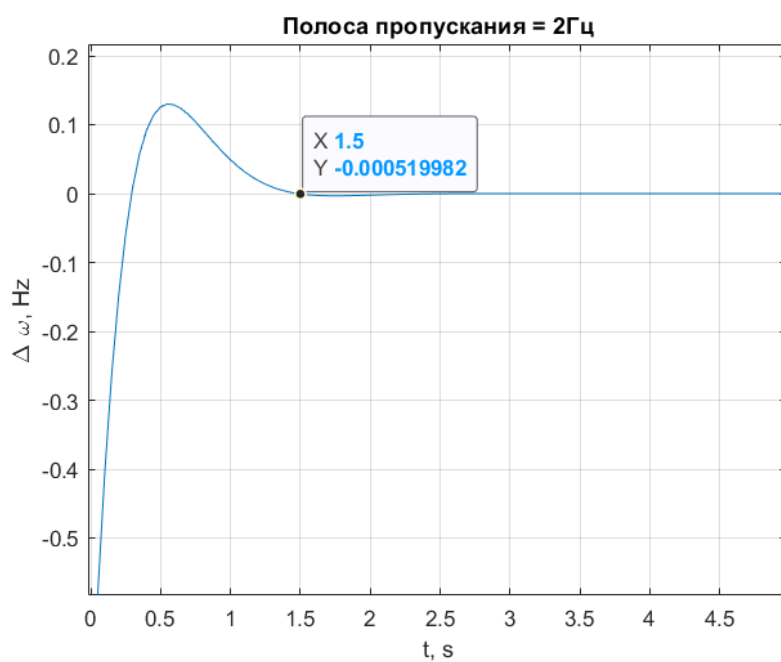


Рисунок 4.2.2 — Ошибка оценивания частоты

Графики истинного процесса частоты и оценки частоты приведены на рисунке 4.2.1, график ошибки оценивания частоты – на рисунке 4.2.2. Из графиков можно сделать вывод, что система слежения успешно отрабатывает начальную ошибку. Характерное время переходного процесса – около 1.55 с, что соответствует ожидаемому при полосе СС 2 Гц.

4.2.5 Результаты моделирования

После завершения тестирования была выполнена основная программа моделирования. Для увеличения объема статистики время одного эксперимента увеличено до 3600 с.

Начальные значения векторов состояния оцениваемого процесса и фильтра приравнены друг другу.

Для зеленого графика: дисперсия флуктуационных шумов приравнена нулю, а дисперсия формирующего шума установлена номинальной — $Dksi = 8 * 1; Deta = 11 * 0;$

Для красного графика: дисперсия формирующих шумов уменьшена до нуля, а дисперсия шумов наблюдений установлена номинальной — $Dksi = 8 * 0; Deta = 11 * 1;$

Для синего графика (общая среднеквадратическая ошибка оценивания): дисперсия формирующих шумов уменьшена до нуля, а дисперсия шумов наблюдений установлена номинальной — $Dksi = 8 * 1; Deta = 11 * 1;$

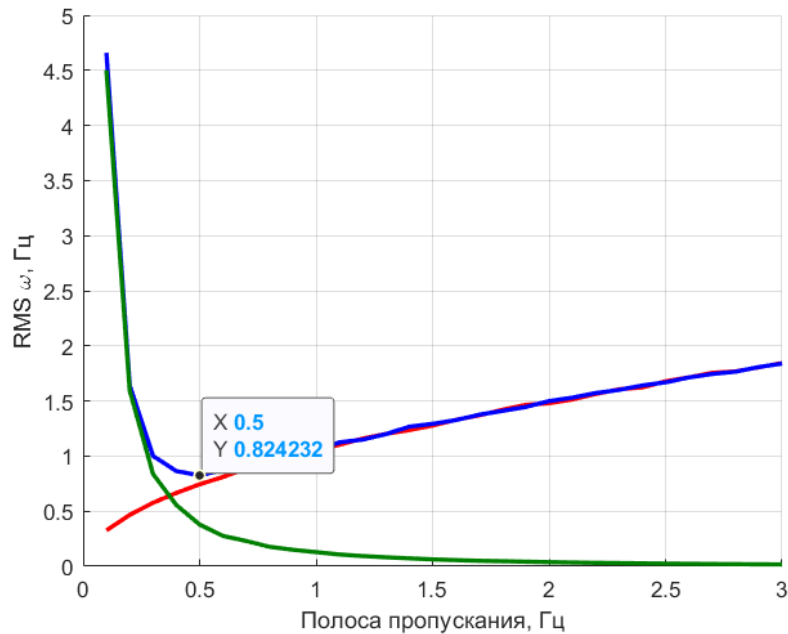


Рисунок 4.2.3 — Среднеквадратическая ошибка оценивания: общая (синий), динамическая (зеленый), флуктуационная (красный)

Минимум среднеквадратической ошибки слежения при заданных условиях достигается при полосе СС 0.5 Гц.

4.3 Выводы

Построены графики динамической, флуктуационной и общей среднеквадратической ошибки слежения в зависимости от полосы СС; Определена полоса СС, при которой достигается минимум среднеквадратической ошибки слежения; она составила 0.5 Гц.

Результаты моделирования не противоречат ожиданиям и общетеоретическим соображениям, а именно:

Определено время переходного процесса – около 1.5 с, что составляет несколько обратных значений полосы, т.е. характерно для полосы 2 Гц; В установившемся режиме наблюдалась нулевая ошибка оценки частоты, что объясняется астатизмом следящей системы за частотой более высокого порядка, чем порядок полинома модели изменения частоты сигнала в виде двух

интеграторов белого шума; Наблюдались характерные зависимости динамической и флуктуационной составляющих ошибки слежения за частотой от ширины полосы следящей системы (более широкая полоса охватывает больше шума и быстрее реагирует на входное воздействие, следовательно система с такой полосой имеет большую флуктуационную и малую динамическую составляющие ошибки слежения, и наоборот, система слежения с узкой полосой не пропустит шум, но будет медленнее реагировать на входное воздействие, т.е будет иметь большую динамическую и малую флуктуационную составляющие ошибки слежения). В силу вышеуказанных противоречивых требований к полосе следящей системы была найдена оптимальная ширина полосы, при которой среднеквадратическая ошибка слежения будет минимальной. Проведение новых итераций моделирования и уточнение модели не требуется.