

Национальный исследовательский университет

«МЭИ»

Институт радиотехники и электроники им В.А. Котельникова

Кафедра радиотехнических систем

Лабораторная работа №4

по дисциплине «Аппаратура потребителей СРНС»

«Моделирование следящей системы»

Группа: ЭР-15-17

ФИО студента: Иванцова Д.Н.

ФИО преподавателя: Корогодин И.В.

Москва 2021

Цели работы:

- 1) Применить метод информационного параметра при моделировании радиотехнического устройства;
- 2) Получить опыт моделирования следящей системы;
- 3) Развить навыки обработки данных статистических экспериментов

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 достигается минимум среднеквадратической ошибки оценивания частоты.

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.

2) Математические модели

Математическая модель процесса частоты:

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

$$v_k = v_{k-1} + \xi_k T$$

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

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

где в соответствии с вариантом задания $D_\xi = 7$. Начальные значения:

$$\omega_0 = 0, v_0 = 0.$$

Выражения можно записать в векторном виде

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{G} \xi_k,$$

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} \omega_k \\ v_k \end{bmatrix}, \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}, \xi_k = \begin{bmatrix} 0 \\ \xi_k \end{bmatrix}.$$

Алгоритм работы следящей системы относительно информационного параметра:

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

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

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

инициализационные значения

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

коэффициенты определяются шумовой полосой системы Δf

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

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

$\omega_{meas,k}$ – поступившие на k-м шаге измерения частоты.

Алгоритм может быть представлен в векторном виде

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

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

3) Тестовое воздействие

Условия:

Исключим формирующий 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 1-2 секунд.

4) Проверка модели в тестовых условиях

Составлена программа компьютерной модели (Приложение 1)

В качестве тестовых условий сократили время моделирования до 5 секунд.

Приравняли нулю дисперсии формирующего шума и шума наблюдений.

Начальное значение оцениваемого процесса частоты установили на 10 рад/с больше, чем начальное значение частоты в оценке вектора состояния.

Получили графики:

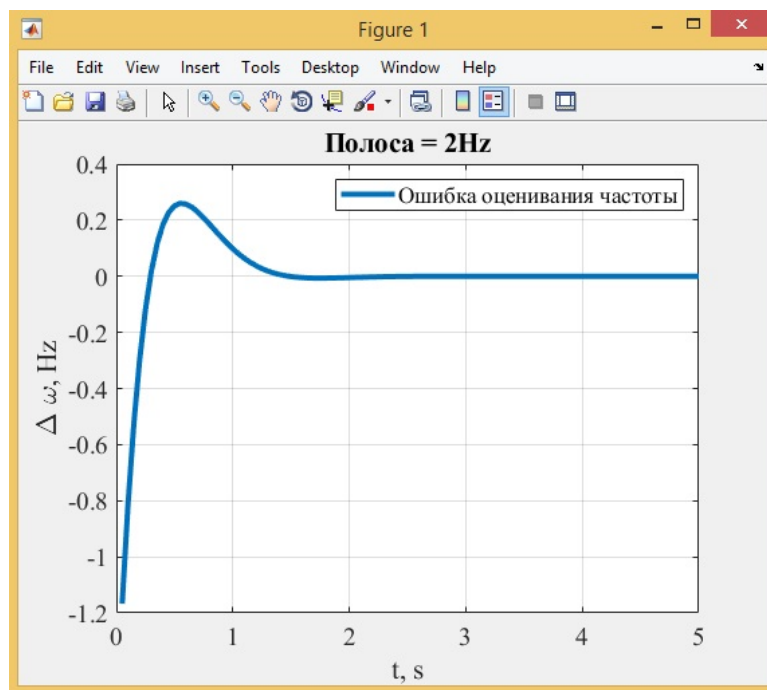


Рисунок 1 – Процесс частоты (синяя) и его оценка(красная)

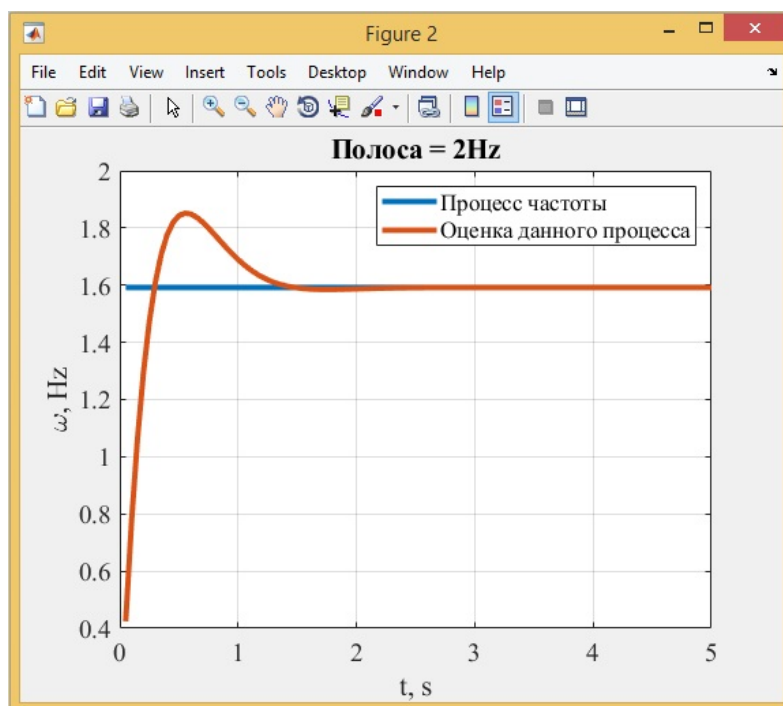


Рисунок 2 – Ошибка оценивания частоты

На рисунке 1 изображен график истинного процесса частоты и оценки частоты, на рисунке 2 - график ошибки оценивания частоты.

Система слежения успешно обрабатывает начальную ошибку. Характерное время переходного процесса – около 1 с, что соответствует ожидаемому при полосе СС 2 Гц.

5) Результаты моделирования

- После завершения тестирования была выполнена основная программа моделирования.

- Для увеличения объема статистики время одного эксперимента увеличено до 60 минут.

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

На первом этапе построен график динамической ошибки в зависимости от полосы СС. Для этого дисперсия шумов приравнена нулю, а дисперсия формирующего шума установлена номинальной.

На втором этапе построен график флуктуационной ошибки. Для этого дисперсия формирующих шумов уменьшена до нуля (частота постоянна), а дисперсия шумов наблюдений выставлена в соответствии с вариантом задания

На третьем этапе построен график зависимости общей среднеквадратической ошибки оценивания при значениях дисперсиях шумов.

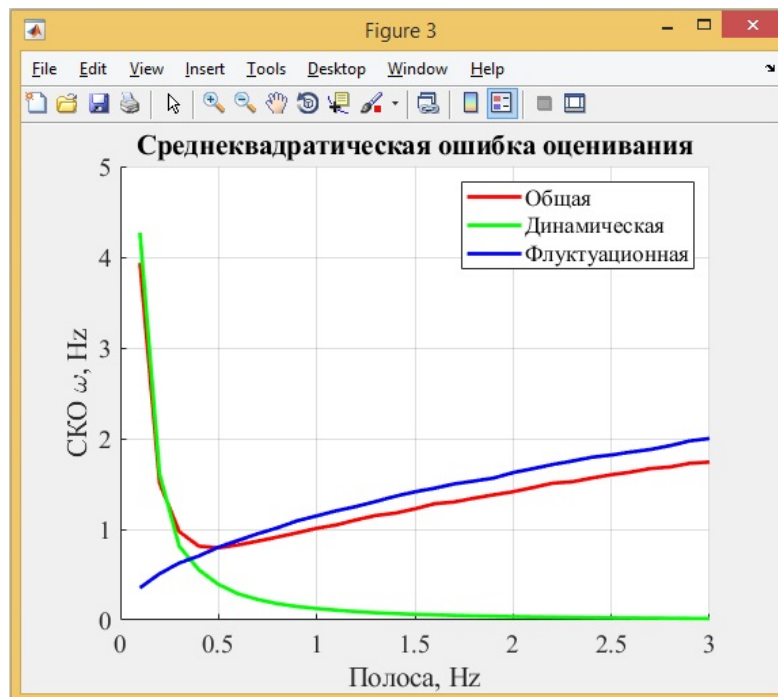


Рисунок 3 – Среднеквадратическая ошибка оценивания

6) Анализ результатов моделирования

Поставленные цели моделирования достигнуты:

- Найдены 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 ожидаемым результатам. Проведение новых итераций моделирования и уточнение модели не требуется.

Приложение 1

```
clear all
%close all
clc

%% Дано
T = 0.05;
Tmax = 3600;
t = T:T:Tmax;
N = length(t);
G = [0 0;
     0 T];

F = [1 T;
     0 1];

Dksi = 7*1; % Дисперсия формирующего шума
Deta = 9*1; % 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 = [0; 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

```