Национальный исследовательский университет

Московский Энергетический Институт

Кафедра Радиотехнических систем

Отчет

о выполнении лабораторной работы №4

«Моделирование следящей системы»

Студент гр. ЭР-15-17

Капитонов Александр Ильич

Вариант: 7

Преподаватель:

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:

где в соответствии с вариантом задания . Начальные значения:

Выражения можно записать в векторном виде

Алгоритм работы следящей системы относительно информационного параметра:

инициализационные значения

коэффициенты определяются шумовой полосой системы

поступившие на k-м шаге измерения частоты.

Алгоритм может быть представлен в векторном виде

**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/c больше, чем начальное значение частоты в оценке вектора состояния.

Вариант задания (номер студента по журналу – 2): *Dξ =* 7*, Dη =* 9*.*

Получили графики:



Рисунок 1 –Процесс частоты (синий) и его оценка (красный)



Рисунок 2 –Ошибка оценивания частоты

Как можно заметить, СС успешно отрабатывает ошибку (рисунок 2). Время переходного процесса составляет чуть меньше, чем 1,5 секунды (знач. Оси Х на рисунке 2).

**5) Результаты моделирования**

- После завершения тестирования была выполнена основная программа моделирования.

- Для увеличения объема статистики время одного эксперимента увеличено до 60 минут (Tmax = 3600 секунд).

- 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 *Dη =* 9*.*

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

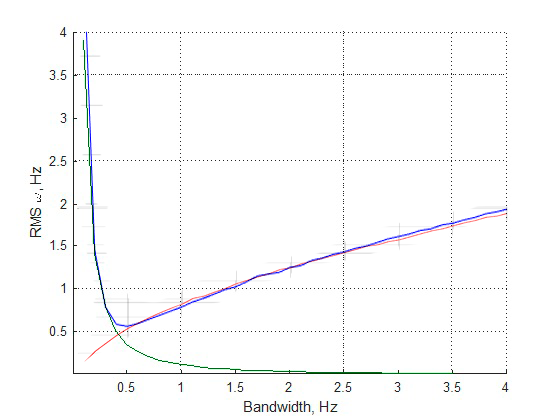


Рисунок 3 – Среднеквадратическая ошибка оценивания: общая (синий), динамическая (зеленый), флуктуационная (красный), (Dξ = 7)

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 примерно 0.5 Гц.

**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 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 прядок 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.

**Код программы**

clear all; clc;

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 = 0.1:0.1:4; % 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

Xextr = 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 = Xextr + K\*(omega\_meas - Xextr(1)); % Этап оценивания

Xextr = 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);

xlabel('t, s'); ylabel('\Delta \omega, Hz');

title(['Bandwidth = ' num2str(Band(i)) 'Hz']);

grid on

figure(2);

plot(t, [Omega; Omega + ErrOmega]/2/pi);

xlabel('t, s'); ylabel('\omega, Hz');

title(['Bandwidth = ' num2str(Band(i)) 'Hz']);

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, 'Color', Col);

hold off

xlabel('Bandwidth, Hz'); ylabel('RMS \omega, Hz');

grid on