

Национальный исследовательский университет
Московский Энергетический Институт
Кафедра Радиотехнических систем

Лабораторная работа №4
«Моделирование следящей системы»

Студент: Коробков А.Ю.
Группа: ЭР-15-17
Вариант: 9

Москва
2021

Цель работы

- Изучить и применить метод информационного параметра при моделировании радиотехнического устройства;
- Смоделировать следящую систему (СС);
- Развить навыки обработки данных статистических экспериментов.

Теоретические сведения

На сигнал, в частности на его частоту, оказывают влияние множество факторов. Для описания изменений частоты широко применяют модель в виде двух интеграторов белого шума (рисунок 1).

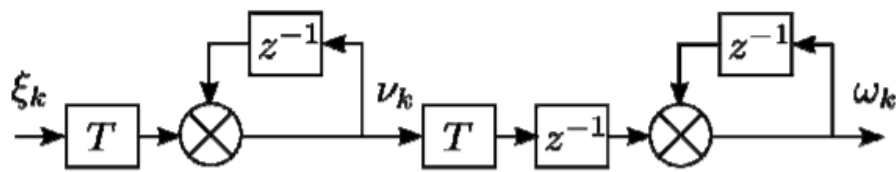


Рисунок 1 – Структурная схема модели частоты

Модель на рисунке 1, описывается выражениями:

$$\begin{cases} \omega_k = \omega_{k-1} + \nu_{k-1}T \\ \nu_k = \nu_{k-1} + \xi_k T \\ \xi_k \sim N(0, D_\xi) \\ M(\xi_i, \xi_j) = D_\xi \delta_{ij} \end{cases} \quad (1)$$

Где ξ_k – формирующий шум, являющийся дискретным белым гауссовым шумом с дисперсией D_ξ , ω_k – частота в момент t_k , $T = t_k - t_{k-1}$.

В соответствии с вариантом: $D_\xi = 7$, $D_\eta = 11$, $\omega_0 = 0$, $\nu_0 = 0$.

Запишем выражения (1) в векторном виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= \mathbf{F}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{G}\xi_k \\ \mathbf{x}_k &= \begin{bmatrix} \omega_k \\ \nu_k \end{bmatrix}, \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{G} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}, \xi_k = \begin{bmatrix} 0 \\ \xi_k \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

Система слежения за частотой (ССЧ) описывается выражениями:

$$\begin{aligned}\omega_k &= \omega_k + K_1 \frac{u_{d,k}}{S_d} \\ \nu_k &= \nu_k + K_2 \frac{u_{d,k}}{S_d}\end{aligned}\tag{3}$$

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

$$\nu_k = \nu_{k-1}$$

Где $\frac{u_{d,k}}{S_d}$ можно представить в виде: $\frac{u_{d,k}}{S_d} = \omega_{meas,k} - \omega_k$

$\omega_{meas,k}$ - эквивалентные измерения частоты.

Коэффициенты усиления связаны между собой и шумовой полосой СС Δf как:

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

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

Тестовое воздействие

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

Ожидаем: Следящая система произведет подстройку частоты, ошибка в установившемся режиме будет равняться нулю (порядок астатизма больше порядка воздействия).

Моделирование

Составим программу, выполняющую исследуемые процессы (текст программы приведен в приложении А). Получим интересные графики:

- 1) График зависимости динамической ошибки оценивания от полосы следящей системы.
- 2) График зависимости флуктуационной ошибки оценивания от полосы следящей системы.
- 3) График общей среднеквадратической ошибки оценивания частоты от полосы следящей системы.

Установим время моделирования равным 5 сек. Дисперсии формирующего шума и шума наблюдений приравняем нулю. Начальное значение исследуемого процесса изменения частоты установим 10 рад/с.

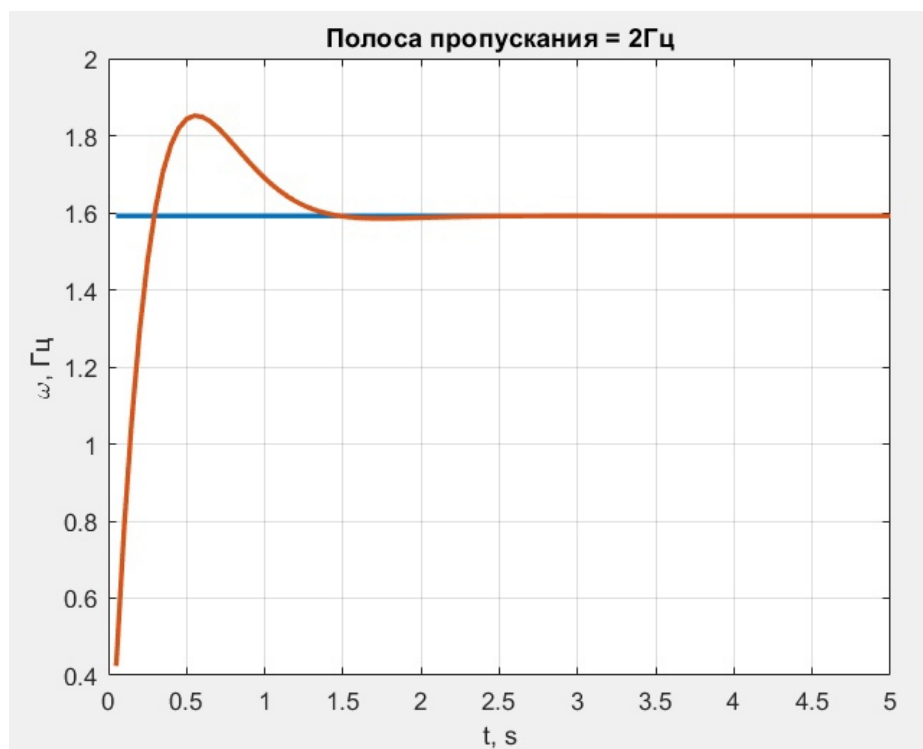


Рисунок 2 – Изменение частоты (синий) и его оценка (красный)

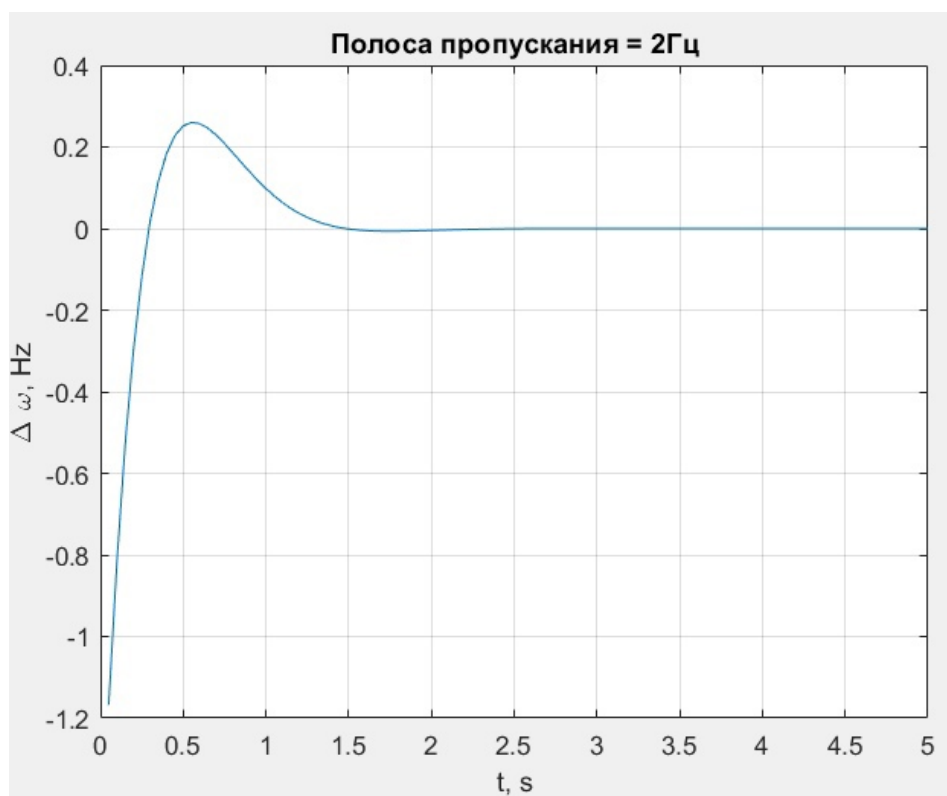


Рисунок 3 – Ошибка измерения частоты

Из графиков на рисунках 2 и 3 видно, что СС успешно исправляет начальную ошибку. Примерное время переходного процесса ~ 1.5 с, что соответствует ожидаемому при полосе пропускания 2 Гц.

Далее увеличим время моделирования до 60 минут (3600 сек). Начальные значения входного воздействия и фильтра приравняем к друг другу и обнулим (нулевые векторы).

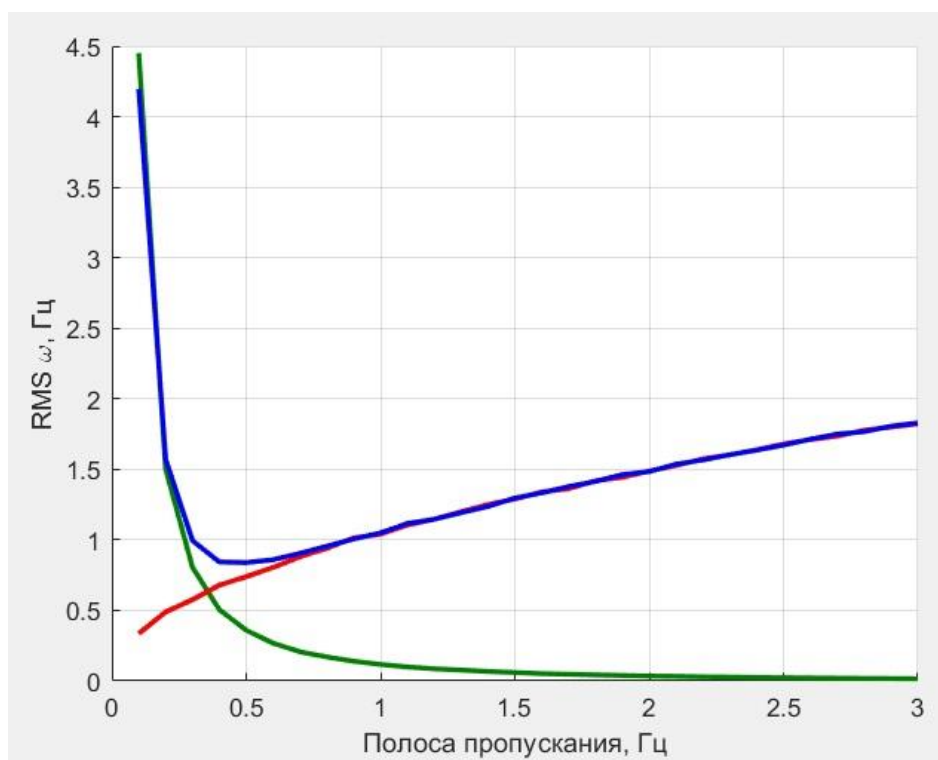


Рисунок 4 – Сравнение среднеквадратических ошибок оценивания: общей (синий), динамической (зеленый), флуктуационная (красный)

Для получения графиков на рисунке 3 выполнил:

1) Для построения графика динамической ошибки в зависимости от полосы СС, дисперсию шумов приравняем нулю, а дисперсия формирующего шума установлена в соответствии с вариантом.

2) Для построения графика флуктуационной ошибки дисперсию формирующих шумов уменьшили до нуля, а дисперсия шумов наблюдений выставили в согласно с вариантом задания.

3) На третьем этапе построили график зависимости общей среднеквадратической ошибки оценивания при значениях дисперсиях шумов (обе установлены в соответствии с заданием).

Минимум общей среднеквадратической ошибки слежения достигается при полосе СС ~0.5 Гц.

Выводы

В ходе выполнения работы была изучена часть теории по следящим системам и системам слежения за частотой. При помощи смоделированной системы, было получено:

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

Полученные результаты соответствуют изученной теории, модель создана верно.

Приложение А

```
clear all
%close all
clc

%% Дано
T = 0.05;
Tmax = 3600; %сек
t = T:T:Tmax;
N = length(t);
G = [0 0;
     0 T];
F = [1 T;
     0 1];
% Выбираем в соответствии с вариантом - №9
Dksi = 7*1; % Дисперсия формирующего шума
Deta = 11*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));

%% Моделирование
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, '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

```