Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский университет ИТМО»

(Университет ИТМО)

Дисциплина: Теория автоматического управления

Отчет
по лабораторной работе №5:
«Типовые динамические звенья»

Вариант 12

Выполнил:

Самбрано Браво Рикардо Хосе,

студент гр. R33352

Преподаватель:

Пашенко Артем Витальевич,

фак. СУиР

Санкт-Петербург,

2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. Выполнение задания №1 «Исследование типовых звеньев»

1.1 Условие задания №1 «Исследование типовых звеньев»

Согласно вашему варианту (см. таблицу 1), рассмотрите два из нижеперечисленных физических объектов. В каждом варианте есть два подварианта для выбора параметров изучаемых объектов из соответствующих таблиц. Опираясь на приведенную информацию, найдите их дифференциальные уравнения, постройте их передаточные функции и установите каким типовым звеном описывается каждый объект. Запишите аналитические выражения для временных (переходной и весовой) и частотных (АЧХ, ФЧХ и ЛАФЧХ) характеристик исследуемых звеньев. Приведите графическое представление всех перечисленных величин.

1.1.1 Brushed DC motor

Даны уравнения двигателя постоянного тока независимого возбуждения:

$$J\dot{\omega} = M, \qquad M = k_m I, \qquad I = \frac{U + \varepsilon_i}{R}, \qquad \varepsilon_i = -k_e \omega \tag{1}$$

Возьмите из таблицы 2 значения, которые соответствуют вашему подварианту, для следующих величин:

1. k_m – конструктивная постоянная по моменту;

2. k_e – конструктивная постоянная по ЭДС;

3. J – момент инерции ротора;

4. R – активное сопротивление обмоток ротора.

Входом объекта считать $U(t)$, а выходом $\omega(t)$.

1.1.1.2 Аналитика по полученным графикам и промежуточные результаты по заданию №1 «Исследование типовых звеньев»

Переходим к поиску связей между уравнениями, чтобы иметь возможность оставить его в виде входа U(t) и выхода w(t):

$$k_m = 0.3872, \qquad k_e = 0.3872, \qquad J = 0.0019, \qquad R = 4.6554$$

$$J\dot{w} = M$$

$$J\dot{w} = k_m I \tag{2}$$

$$J\dot{w} = k_m \frac{U + \varepsilon_i}{R} \tag{3}$$

$$J\dot{w} = k_m \frac{U - k_e w}{R} \tag{4}$$

$$\frac{JR}{K_m K_e}\dot{w} + w = \frac{1}{k_e}U \tag{5}$$

Найдем передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{w(s)}{U(s)} = \frac{\frac{1}{k_e}}{\frac{JR}{k_m k_e}s + 1} \tag{6}$$

Наша передаточная функция имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{K}{Ts + 1} \tag{7}$$

Это апериодическое звено первого порядка.

Функция Impulse Response имеет следующий вид:

$$y_{i.r.}(t) = \mathcal{L}^{-1}\{W(s)\} \tag{8}$$

Итак, приступаем к расчету:

$$y_{i.r.}(t) = \mathcal{L}^{-1}\{W(s)\} = \frac{K}{T}e^{-\frac{t}{T}} = \frac{k_m}{JR}e^{-\frac{k_m k_e}{JR}t}$$

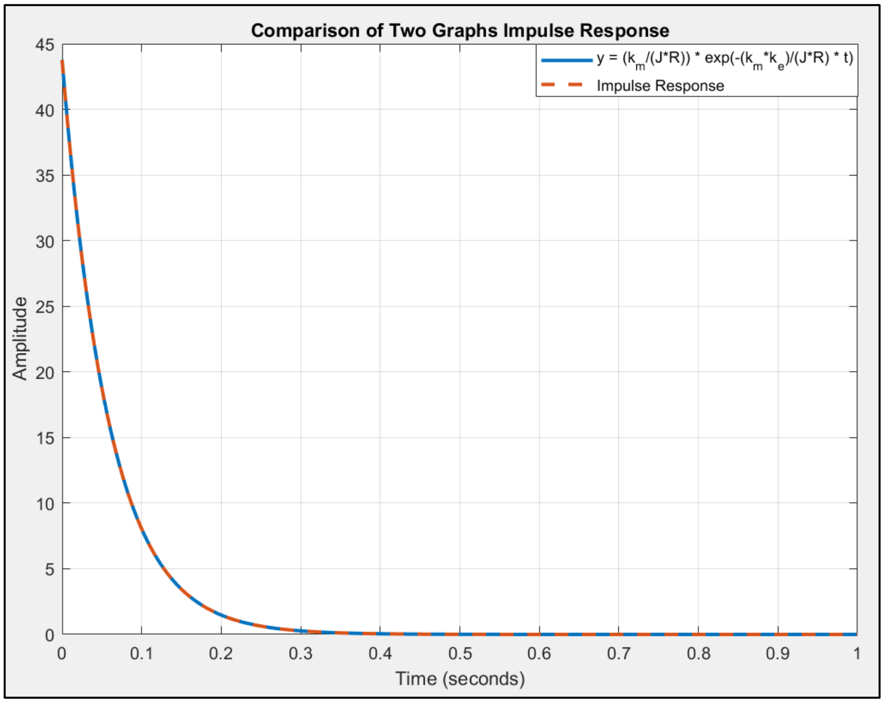

Рисунок 1 - Импульсная переходная функция

Функция Step Response имеет следующий вид:

$$Y_{s.r.}(s) = \frac{W(s)}{s} = \frac{K}{s(Ts+1)} = \frac{K}{s} + \frac{KT}{Ts+1} \qquad (9)$$

$$y_{s.r.}(t) = \mathcal{L}^{-1}\{Y_{s.r.}(s)\} \qquad (10)$$

Итак, приступаем к расчету:

$$y_{s.r.}(t) = \mathcal{L}^{-1}\{Y_{s.r.}(s)\} = Kt - Ke^{\frac{-t}{T}} = K\left(1 - Ke^{-\frac{t}{T}}\right) = \frac{1}{k_e}\left(1 - e^{-\frac{k_m k_e}{JR}t}\right)$$

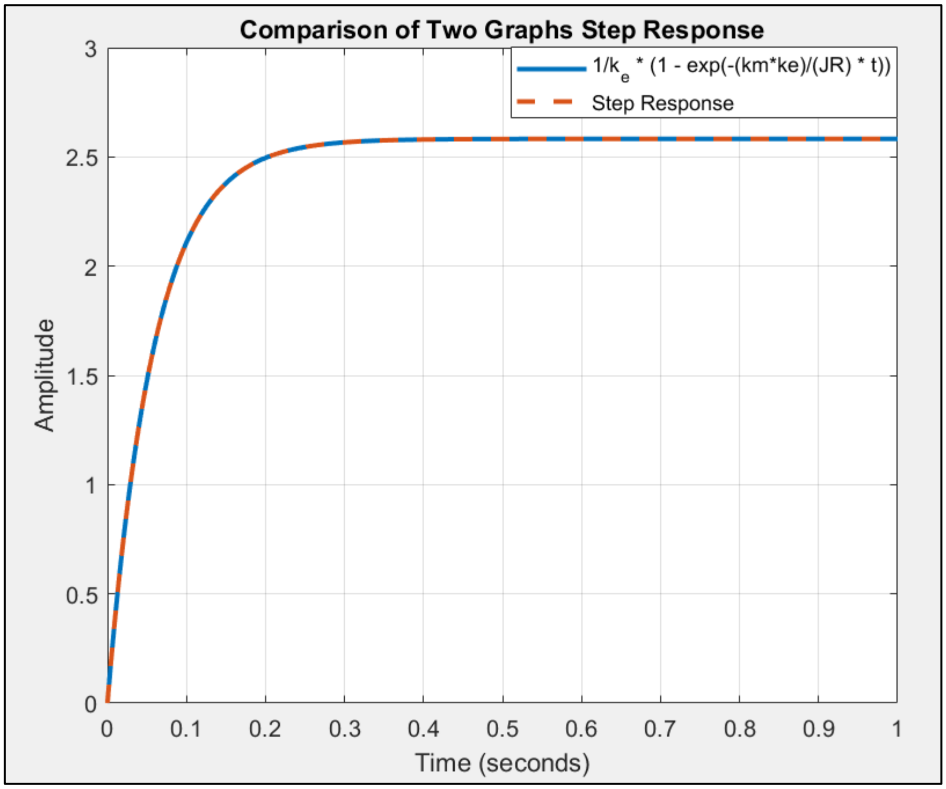

Рисунок 2 - Переходная функция

Найдем частотную передаточную функцию:

$$W(jw) = \frac{K}{Tjw + 1} \tag{11}$$

$$= \frac{K(1 - jTw)}{1 + (Tw)^2}$$

$$= \frac{K}{1 + (Tw)^2} - j\frac{KTw}{1 + (Tw)^2}$$

Найдем АЧХ:

$$A(w) = \sqrt{P^2(w) + Q^2(w)} \tag{12}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{K}{1 + (Tw)^2}\right)^2 + \left(\frac{KTw}{1 + (Tw)^2}\right)^2}$$

$$= \frac{K}{\sqrt{1+(Tw)^2}}$$

$$= \frac{\frac{1}{k_e}}{\sqrt{1+\left(\frac{JR}{k_m k_e}w\right)^2}}$$

Найдем ФЧХ:

$$\varphi(w) = \arctan\left(\frac{Q(w)}{P(w)}\right) \tag{13}$$

$$= \arctan\left(\frac{-\frac{KTw}{1+(Tw)^2}}{\frac{K}{1+(Tw)^2}}\right)$$

$$= -\arctan(Tw)$$

$$= -\arctan\left(\frac{JR}{k_m k_e}w\right)$$

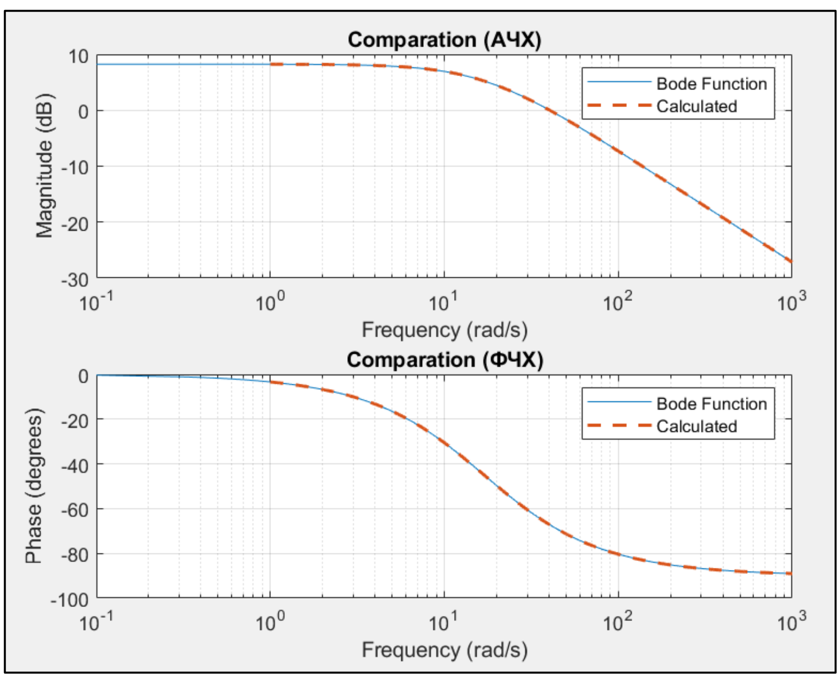

Рисунок 3 - АЧХ и ФЧХ

Найдем ЛАЧХ:

$$L(w) = 20\lg A(w) \tag{14}$$

$$= 20\lg\left(\frac{K}{\sqrt{1+(Tw)^2}}\right)$$

$$= 20\lg\left(\frac{\frac{1}{k_e}}{\sqrt{1+\left(\frac{JR}{k_m k_e}w\right)^2}}\right)$$

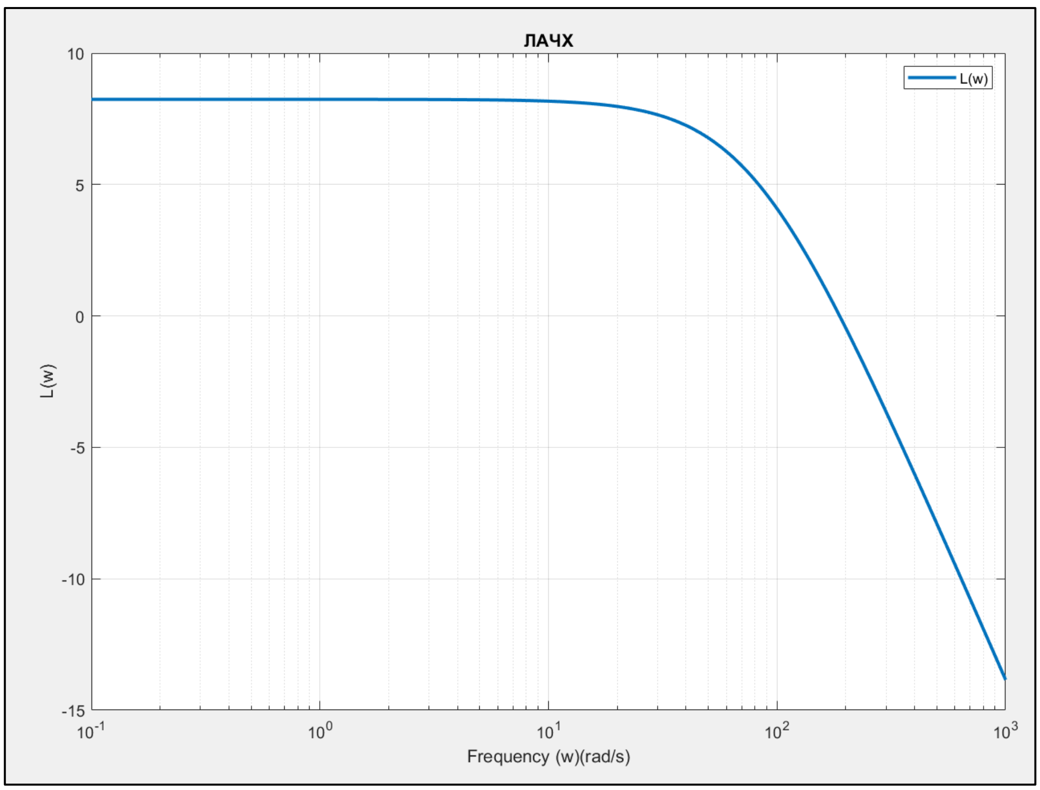

Рисунок 4 - ЛАЧХ

1.1.2 Конденсируй. Интегрируй. Умножай

1.1.2.1 Аналитика по полученным графикам и промежуточные результаты по заданию №1 «Исследование типовых звеньев»

Дано уравнение конденсатора:

$$I = C\frac{du}{dt} \tag{15}$$

Где C = 300

Входом объекта считать $I(t)$, а выходом $U(t)$.

$$\frac{I}{300} = \frac{du}{dt}$$

$$\frac{I(s)}{300} = sU(s)$$

$$W(s) = \frac{U(s)}{I(s)} \tag{16}$$

Найдем передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{1}{300s}$$

Это интегрирующее звено первого порядка

Переходим к расчету импульсной характеристики:

$$y_{i.r.}(t) = \mathcal{L}^{-1}\{W(s)\} = \frac{1}{300}\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s}\right\} = \frac{1}{300}$$

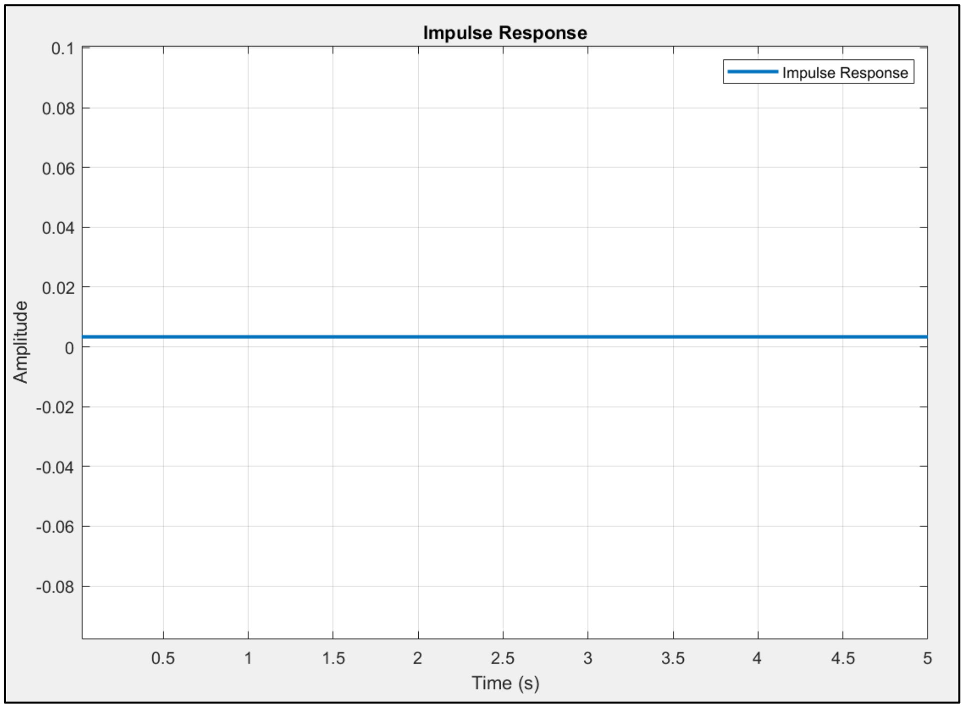

Рисунок 5 - Импульсная переходная функция

Переходим к расчету переходного процесса:

$$Y_{s.r.}(s) = \frac{W(s)}{s}$$

$$y_{s.r.}(t) = \mathcal{L}^{-1}\{Y_{s.r.}(s)\} = \frac{1}{300}\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{s^2}\right\} = \frac{1}{300}t$$

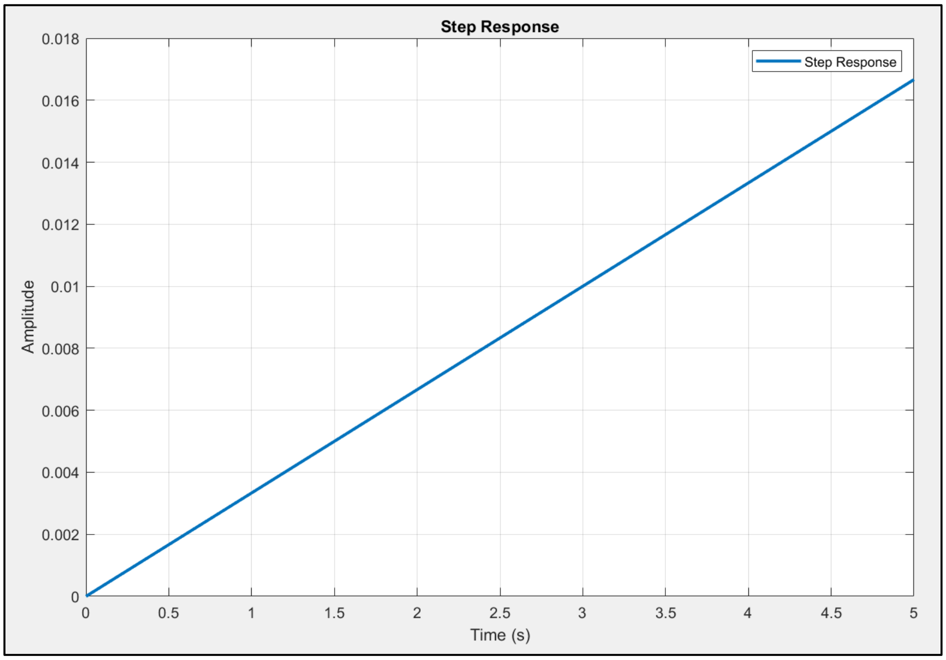

Рисунок 6 - Переходная функция

Найдем частотную передаточную функцию:

$$W(jw) = \frac{1}{Cjw}$$

$$W(jw) = 0 - j\frac{1}{Cw}$$

Найдем АЧХ:

$$A(w) = \sqrt{P^2(w) + Q^2(w)}$$

$$A(w) = \sqrt{\left(\frac{1}{cw}\right)^2}$$

$$A(w) = \frac{1}{300w}$$

Найдем ФЧХ:

$$\varphi(w) = \arctan\left(\frac{Q(w)}{P(w)}\right)$$

$$P(w) = 0$$

$$Q(w) = 300w$$

$$\varphi(w) = \arctan\left(\frac{300w}{0}\right)$$

$$\varphi(w) = 90°$$

Найдем ЛАЧХ:

$$L(w) = 20\lg A(w)$$

$$L(w) = 20\lg\left(\frac{1}{300w}\right)$$

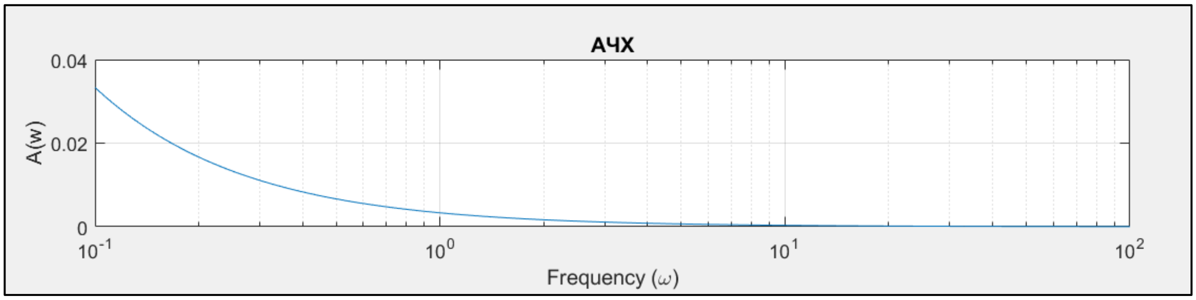

Рисунок 7 - АЧХ

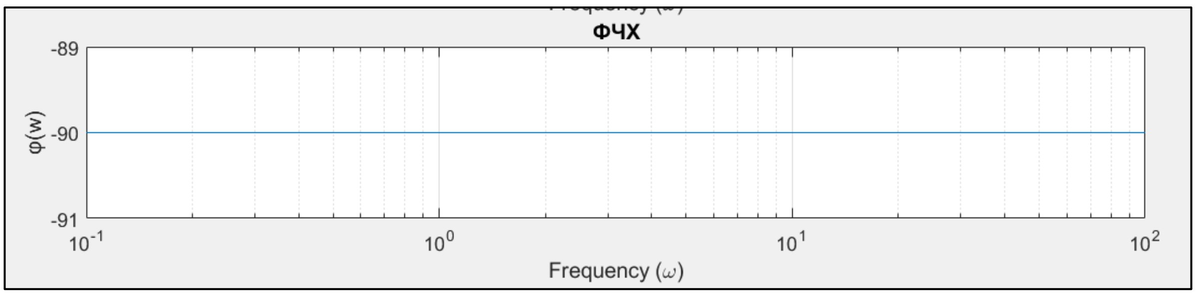

Рисунок 8 - ФЧХ

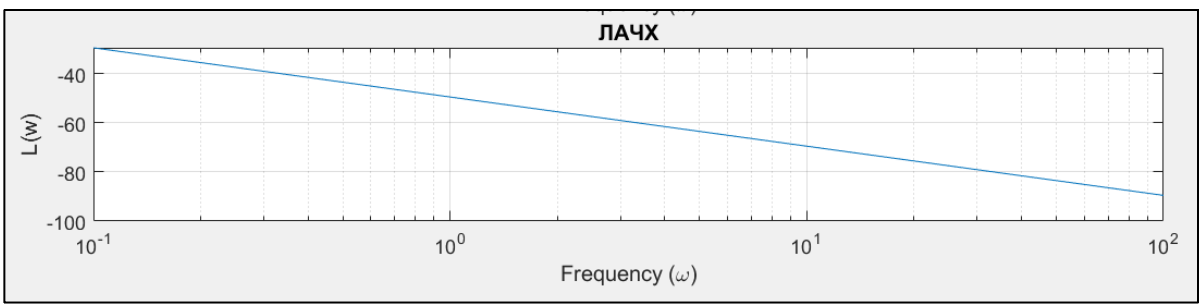

Рисунок 9 -ЛАЧХ

2. Коды Матлаба

2.1.1 Impulse Response

```
% parameters
k_m = 0.3872;
k_e = 0.3872;
J = 0.0019;
R = 4.6554;

% Time vector
t = 0:0.001:1;

% Code 1 - Impulse Response
h = (1/k_e) * exp(-(k_m*k_e)/(J*R) * t);
```

```
% Code 2 - Impulse Response
numerator = 1/k_e;
denominator = [J*R/(k_m*k_e), 1];
sys = tf(numerator, denominator);
u = impulse(sys, t);

% Plot both graphs on the same figure with legends and different line styles
figure;
plot(t, h, 'LineWidth', 2, 'LineStyle', '-', 'DisplayName', '1/k_e * exp(-(km*ke)/(JR) * t)');
hold on;
plot(t, u, 'LineWidth', 2, 'LineStyle', '--', 'DisplayName', 'Impulse Response');

% legend
legend('Location', 'best');

title('Comparison of Two Graphs Impulse Response');
xlabel('Time (seconds)');
ylabel('Amplitude');
grid on;
hold off;
```

2.1.2 Step Response

```
% parameters
k_m = 0.3872;
k_e = 0.3872;
J = 0.0019;
R = 4.6554;

% Time vector
t = 0:0.001:1;

% Code 1
y = (1/k_e) * (1 - exp(-(k_m*k_e)/(J*R) * t));

% Code 2
numerator = 1/k_e;
denominator = [J*R/(k_m*k_e), 1];
sys = tf(numerator, denominator);
u = step(sys, t);

% Plot both graphs on the same figure with legends and different line styles
figure;
plot(t, y, 'LineWidth', 2, 'LineStyle', '-', 'DisplayName', '1/k_e * (1 - exp(-(km*ke)/(JR) * t))');
hold on;
plot(t, u, 'LineWidth', 2, 'LineStyle', '--', 'DisplayName', 'Step Response');

% legend
legend('Location', 'best');

title('Comparison of Two Graphs Step Response');
xlabel('Time (seconds)');
ylabel('Amplitude');
grid on;
```

```
hold off;
```

2.1.3 АЧХ и ФЧХ

```
k_m = 0.3872;
k_e = 0.3872;
J = 0.0019;
R = 4.6554;


num = 1/k_e;
den = [J*R/(k_m*k_e), 1];
sys = tf(num, den);


w = logspace(-1, 2, 1000);


A_teorico = 1/k_e ./ sqrt(1 + (J*R/(k_m*k_e)*w).^2);
phi_teorico = -atan(J*R/(k_m*k_e)*w);


figure;


subplot(2, 1, 1);
bode(sys);
hold on;
plot(w, 20*log10(A_teorico), 'r--');
hold off;
title('(À×Õ), (Ô×Õ) with functions bode and margin');

subplot(2, 1, 2);
bode(sys);
hold on;
plot(w, rad2deg(phi_teorico), 'r--');
hold off;
title('(À×Õ), (Ô×Õ), with calculations ');


figure;
margin(sys);
```

2.4 ЛАЧХ

```
k_m = 0.3872;
k_e = 0.3872;
J = 0.0019;
R = 4.6554;

% Rango de frecuencias angular w
w = logspace(-1, 3, 1000); % Puedes ajustar los l?mites seg?n tus necesidades

% Funci?n de transferencia L(w)
L_w = 20 * log10(1./(k_e*sqrt(1 + (J/(k_m*k_e)*w).^2)));

% Graficar
```

```
figure;
semilogx(w, L_w, 'LineWidth', 2);
grid on;
title('Gr?fica de L(w)');
xlabel('Frecuencia angular (w)');
ylabel('L(w) (dB)');
```

2.2.1 Impulse Response Condensator

```
% Definir la funci?n de transferencia
numerator = 1;
denominator = [300, 0]; % Representa 300s en el denominador

% Crear el sistema de transferencia
sys = tf(numerator, denominator);

% Calcular e imprimir la respuesta al impulso
t = 0:0.01:5; % Vector de tiempo de 0 a 5 segundos con paso de 0.01 segundos
impulse_response = impulse(sys, t);

% Graficar la respuesta al impulso
figure;
plot(t, impulse_response, 'LineWidth', 2);
title('Impulse Response');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
grid on;
legend('Impulse Response');
```

2.2.2 Step Response Condensator

```
% Definir la funci?n de transferencia
numerator = 1;
denominator = [300, 0]; % Representa 300s en el denominador

% Crear el sistema de transferencia
sys = tf(numerator, denominator);

% Calcular e imprimir la respuesta al escal?n
t = 0:0.01:5; % Vector de tiempo de 0 a 5 segundos con paso de 0.01 segundos
step_response = step(sys, t);

% Graficar la respuesta al escal?n con leyenda y l?nea m?s gruesa
figure;
plot(t, step_response, 'LineWidth', 2); % L?nea m?s gruesa
title('Step Response');
xlabel('Time (s)');
ylabel('Amplitude');
grid on;

% Agregar leyenda
legend('Step Response');
```

2.2.3 АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ Condensator

```
% Definir los par?metros
k_e = 0.3872;  % Ajusta el valor de k_e seg?n tus necesidades
J = 0.0019;   % Ajusta el valor de J seg?n tus necesidades
R = 4.6554;      % Ajusta el valor de R seg?n tus necesidades
k_m = 0.3872; % Ajusta el valor de k_m seg?n tus necesidades

% Construir la funci?n de transferencia
numerator = 1/k_e;
denominator = [J*R/(k_m*k_e), 1];

sys = tf(numerator, denominator);

% Calcular la respuesta en frecuencia
w = logspace(-1, 3, 1000); % Frecuencias angulares logar?tmicas

[mag, phase] = bode(sys, w);

% Calcular la magnitud, fase y la respuesta en frecuencia logar?tmica
A = mag(:);
phi = phase(:);
L = 20*log10(A);

% Graficar la Magnitud
figure;
subplot(3,1,1);
semilogx(w, A);
title('À×Õ');
xlabel('Frequency (\omega)');
ylabel('A(w)');
grid on;

% Graficar la Fase
subplot(3,1,2);
semilogx(w, phi);
title('Ô×Õ');
xlabel('Frequency (\omega)');
ylabel('?(w)');
grid on;

% Graficar la Respuesta en Frecuencia Logar?tmica
subplot(3,1,3);
semilogx(w, L);
title('ËÀ×Õ');
xlabel('Frequency (\omega)');
ylabel('L(w)');
grid on;
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа была успешно выполнена, включая анализ функций передачи, расчет амплитудно-фазовых характеристик, и создание графиков в MATLAB. В ходе выполнения задания были использованы соответствующие методы и формулы для определения амплитуды, фазы и логарифмической амплитудно-частотной характеристики. Полученные результаты предоставляют полное представление о поведении системы на различных частотах.