МИНОБРНАУКИ РОССИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

Кафедра КСУ

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №7

по дисциплине «ПОСУ»

Тема: ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ. МАКСИМАЛЬНОЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ДЛЯ ОБЪЕКТА 3-ГО ПОРЯДКА

Вариант 7

Студенты гр. 9492	____________________	Ливаренко С.С Иванов М.К.
Преподаватель	____________________	Кавонкин Н.И.

Санкт-Петербург

2024

Цель работы.

Исследовать задачу максимального быстродействия для объекта 3-го порядка.

Постановка задачи.

Дана система ДУ, описывающая динамический объект:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1}{dt} = x_2 \\ \dfrac{dx_2}{dt} = x_3 \\ \dfrac{dx_3}{dt} = -3x_2 - 4x_3 + u, \; x_1(0) = -8, x_2(0) = 0, x_3(0) = 0 \\ |u| \le u_{\max} = 1.2 \end{cases}$$

Требуется найти управляющее воздействие, переводящее объект управления из начального состояния в конечное:

$$\begin{array}{ccc} x_1(0) = -8 & & x_1(T) = 0 \\ x_2(0) = 0 & \to & x_2(T) = 0 \\ x_3(0) = 0 & & x_3(T) = 0 \end{array}$$

таким образом, чтобы обеспечить максимальное быстродействие.

Для случая объекта 3 порядка, собственные числа которого являются вещественными числами, можно применять теорему об N интервалах. Согласно этой теореме, оптимальное управление является последовательностью постоянных интервалов с разными знаками, и количество интервалов равно порядку системы. Тогда задача поиска может быть сформулирована следующим образом:

Требуется найти такие значения параметров t_1, t_2 и T, где t_1 и t_2 моменты переключения знака управляющего воздействия, а T - момент выключения управления, при которых расстояние между изображающей точкой, соответствующей моменту T и требуемым конечным состоянием объекта, было бы минимальным

Задание:

1. Вычислить собственные числа динамической системы, заданной в соответствии с вариантом (в качестве обоснования для применения теоремы об N интервалах).

2. Определить моменты переключения для объекта 3-го порядка в соответствии с исходными данными графическим методом на фазовой плоскости и дальнейшим уточнением с помощью fminsearch.

3. Таблица точек начала поиска и результатов поиска функцией FMINSEARCH (если потребуется сделать несколько итераций).

4. Графики фазовой плоскости x_2x_3 для выбранного произвольно момента времени t_{11}, графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, соответствующие выбранному моменту, графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, соответствующие итоговым моментам переключения.

Выполнение работы.

Объект управления в векторно-матричной форме имеет вид:

$$\dot{x} = Ax + Bu, |u| \le u_{\max} = 1.2$$

где $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -3 & -4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$. Собственные числа матрицы системы:

$$\lambda_1 = 0, \lambda_2 = -1, \lambda_3 = -3$$

Так как собственные числа являются вещественными числами, можно применить теорему об N интервалах.

Рассмотрим проекцию фазовой траектории на плоскости x_2x_3. Начальные и конечные условия на данной плоскости равны нулю. Значит фазовая траектория должна начинаться из точки (0;0), перемещаться в две точки переключения и заканчиваться в точке (0;0).

На первом этапе решения задачи выберем первую точку переключения произвольно t_1 = 6. На рис.1. приведены графики фазовой плоскости x_2x_3 для выбранного произвольно момента времени t_{11}.

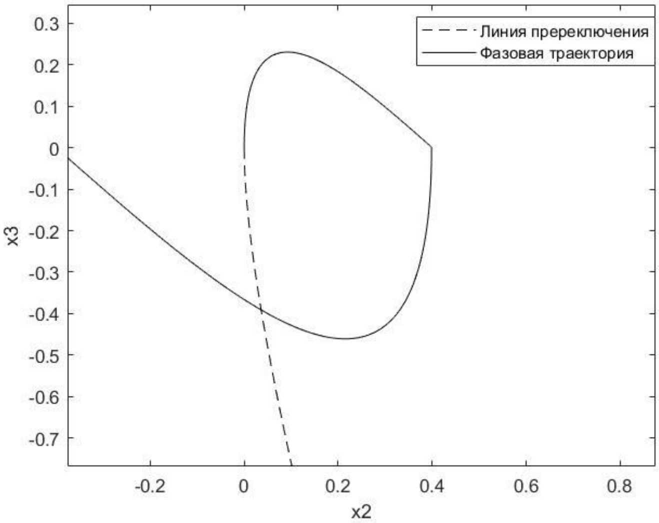

Рис.1. Графики фазовой плоскости x_2x_3
для выбранного произвольно момента времени t_1.

Определив t_2 по точке пересечения фазовой траектории с линией переключения, построим графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, соответствующие выбранным моментам t_1 и t_2. На рис.2. приведены графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$.

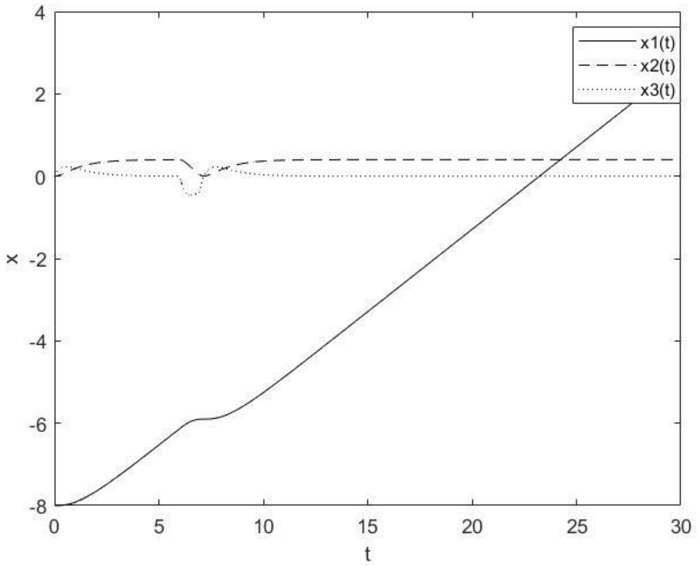

Рис.2. Графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$,
соответствующие выбранным моментам t_1 и t_2

Момент времени выключения управления T будет равняться абсциссе точки пересечения графика $x_3(t)$ с осью абсцисс. В листинге.1. приведён скрипт для поиска моментов переключения.

Листинг.1.

```
u_max=1.2;
t1=6;
u_t = @(t) u_max*[(t<t1)-(t>=t1)];
odefun =@(t,x) [x(2);x(3);-3*x(2)-4*x(3)+u_max];
%Интегрирование в обратном времени
[t,x] = ode45(odefun, [10:-0.01:0], [0 0 0]);
plot(x(:,2),x(:,3),'k--')
xt2=x(:,2)
xt3=x(:,3)
hold on
odefun =@(t,x) [x(2);x(3);-3*x(2)-4*x(3)+u_t(t)];
%Интегрирование в прямом времени
[t,x] = ode45(odefun, [0:0.01:10], [-8 0 0]);
plot(x(:,2),x(:,3),'k')
xlabel('x2')
ylabel('x3')
legend('Линия прерключения','Фазовая траектория в прямом времени')
xlim([min(x(:,2)) max(x(:,2))])
ylim([min(x(:,3)) max(x(:,3))])
% Определение t2
[x20,x30]=ginput();
del=abs(x30*ones(size(x(:,3))))-abs(x(:,3));
```

```
[M,I]=min(abs(del));
t2=t(I);
% Определение T
u_t = @(t) u_max*[(t<t1)-(t>=t1)+2*(t>=t2)];
odefun =@(t,x) [x(2);x(3);-3*x(2)-4*x(3)+u_t(t)];
[t,x] = ode45(odefun, [0 30], [-8 0 0]);
figure(2)
plot(t,x(:,1),'k',t,x(:,2),'k--',t,x(:,3),'k:')
xlabel('t')
ylabel('x')
legend('x1(t)','x2(t)','x3(t)')
[M,I]=min(abs(x(:,1)));
T=t(I);
% Построение конечных переходных процессов
u_t = @(t) u_max*[(t<t1)-(t>=t1)+2*(t>=t2)]*(t<T);
odefun =@(t,x) [x(2);x(3);-3*x(2)-4*x(3)+u_t(t)];
[t,x] = ode45(odefun, [0 30], [-8 0 0]);
figure(3)
plot(t,x(:,1),'k',t,x(:,2),'k--',t,x(:,3),'k:')
xlabel('t')
ylabel('x')
legend('x1(t)','x2(t)','x3(t)')
%определение величины x1T1
x1T1=x(end,1);
```

При помощи скрипта был получен набор моментов переключения t1 = 6, t2=6.95, T = 23.15. На рис.3. приведёны графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, соответствующие выбранным моментам переключения.

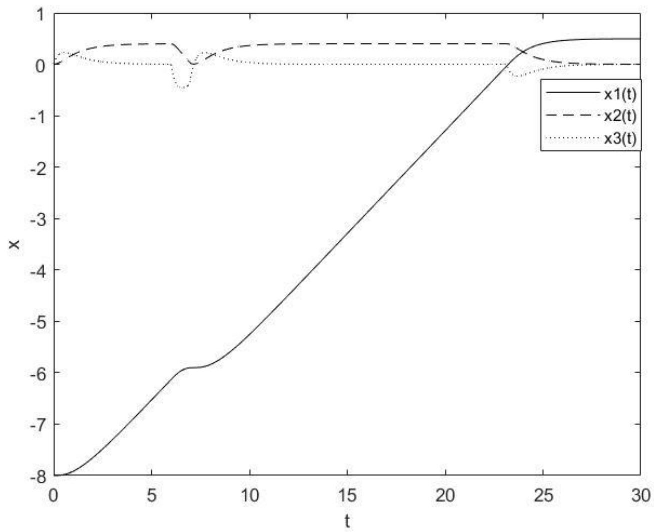

Рис.3. Графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$,
соответствующие выбранным моментам переключения.

На данной итерации получен набор моментов переключения, который обеспечивает минимальное время перевода объекта в точку промежуточного финиша [x_{1T1} = 0.5 0 0], как видно из рис.3.

Уточним величины t_1, t_2, T с помощью функции FMINSEARCH, указывая в качестве начальной точки поиска – [6 6.95 23.15]. В листинге.2. приведён скрипт для поиска моментов переключения.

Листинг.2.
```
t0=[6 6.95 23.15]
T=fminsearch('costfunc',t0)
xlabel('t')
ylabel('x')
legend('x1(t)','x2(t)','x3(t)')
```

В листинге.3. приведена функция потерь.

Листинг.3.
```
function z=costfunc(Tvec)
t1 = Tvec(1); t2 = Tvec(2); T = Tvec(3);
u_t = @(t) 1.2*[(t<t1)-(t>=t1)+2*(t>=t2)]*(t<T)
rp_ode = @(t,x) [x(2);-x(2)+x(3);-2*x(3)+u_t(t)];
[t,x]=ode45(rp_ode,[0 30],[-8; 0; 0])
z=10*x(end,1)*x(end,1)+T+10^10*(t2-t1<0)+10^10*(T-t2<0)
plot(t,x(:,1),'k',t,x(:,2),'k--',t,x(:,3),'k:')
```

В результате работы скрипта были получены моменты переключения:

$$t_1 = 7.085$$
$$t_2 = 7.094$$
$$T = 13.15$$

Данные моменты переключения обеспечивают перевод обьекта в требуемую конечную точку [0 0 0]. На рис.4. приведёны графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, соответствующие итоговым моментам переключения.

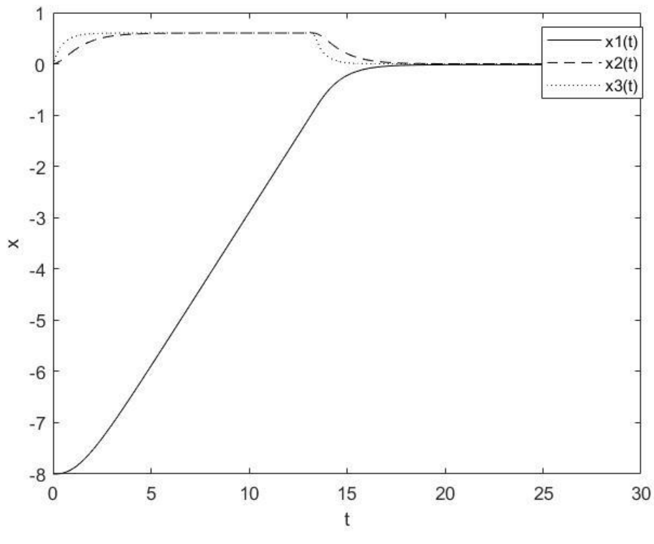

Рис.4. Графики $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$,
соответствующие итоговым моментам переключения.

Вывод.

В данной лабораторной работе была решена задача максимального быстродействия для объекта 3-го порядка. Для нахождения управляющего воздействия использовались фазовые портреты и функция FMINSEARCH. Были найдены моменты переключения знака управляющего воздействия, так чтобы объект управления переводился из начального состояния в заданное конечное.