

ГУАП

КАФЕДРА № 31

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

старший преподаватель

должность, уч. степень, звание

подпись, дата

Н.Л. Гречкин

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №4

КРИТЕРИЙ ПОПОВА. КРУГОВОЙ КРИТЕРИЙ УСТОЙЧИВОСТИ

по курсу: НЕЛИНЕЙНЫЕ И АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № _____

подпись, дата

Д. В. Самарин

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2025

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Оценить устойчивость системы по критерию Попова или по критерию круговой устойчивости.

ХОД РАБОТЫ

1) Требуется оценить устойчивость системы, представленной на рис.1, по Попову. W – передаточная функция в соответствии с вариантом. Нелинейность «Насыщение» имеет следующие параметры: $c = 5$; $-c = -5$;

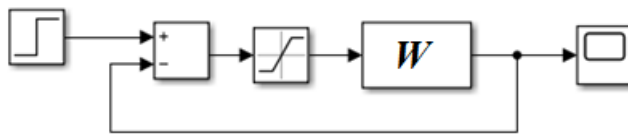


Рисунок 1 – Система с нелинейностью

Линейная часть системы (рис. 1) описывается звеном 2 порядка:

$$W(s) = \frac{18s - 5}{9s^2 + s - 91}.$$

Критерий устойчивости Попова для системы с устойчивой линейной частью формулируется следующим образом: чтобы невозмущенное движение системы было устойчиво в секторе $[0, k]$, достаточно, чтобы существовало такое действительное число q , при котором для всех $\omega \geq 0$, при котором выполняется равенство:

$$U(\omega) - q\omega V(\omega) \geq -\frac{1}{k}.$$

Важно отметить, что критерий является достаточным, то есть если критерий выполняется, то система устойчива, но при его невыполнении система может быть как устойчивой, так и неустойчивой.

Код для построения модифицированной АФХ приведен на рисунке 2.

```

1 - close all
2 - w=-50:0.1:50;
3 - W=(18*(j*w)-5)/(9*(j*w).^2+(j*w)-91);
4 - Um=real(W);
5 - Vm=imag(W);
6 - Vm1=imag(W).*w;
7 - plot(Um,Vm); hold;
8 - plot(Um,Vm1);
9 - grid;
10 - xlabel('U')
11 - ylabel('jVU')
12 - legend('АФХ','Мод АФХ')

```

Рисунок 2 – Листинг кода

Полученная модифицированная АФХ приведена на рисунке 3.

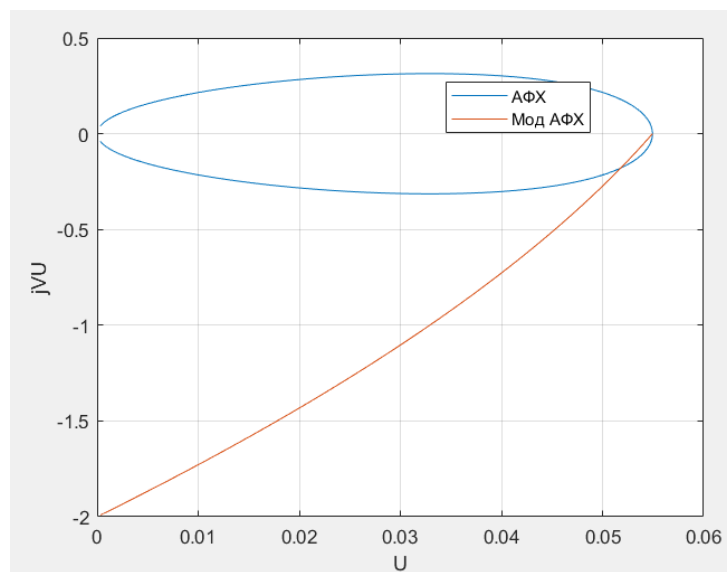


Рисунок 3 – Сравнение АФХ системы и модифицированной АФХ

Обе кривые пересекают действительную ось в одной точке с координатами (0,055 0). Таким образом:

$$-\frac{1}{k} = 0.055 \Rightarrow k \approx -18$$

Рассматриваемая нелинейность имеет $k = 1$ (рис. 4). Условие критерия Попова не выполняется. При его невыполнении система может быть как устойчивой, так и неустойчивой.

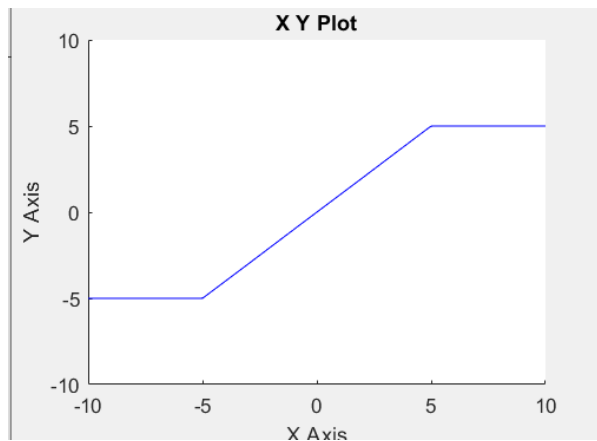


Рисунок 4 – Вид нелинейной характеристики «Насыщение»

Проведем моделирование системы (рис. 5-6).



Рисунок 5 – Схема моделирования системы

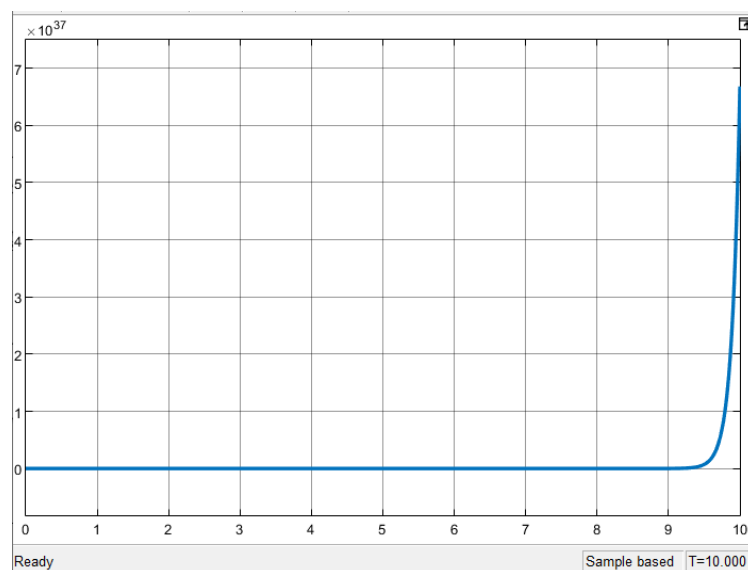


Рисунок 6 – Результат моделирования

2) Требуется оценить устойчивость САР с нелинейной характеристикой $F(x)$, представленной на рис.7 используя критерий Попова. Линейная часть описывается передаточной функцией W из задания 1. Параметры нелинейной характеристики (рис.3): $c=8$; $b=4$; $mb=2$.

Модифицированная АФХ будет выглядеть идентично. Нелинейная характеристика однозначная, ее можно ограничить прямой kx , $k = 4$ (рис. 8).

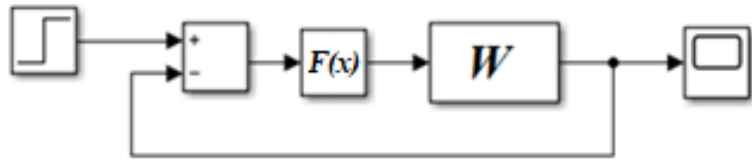


Рисунок 7 – Структурная схема системы

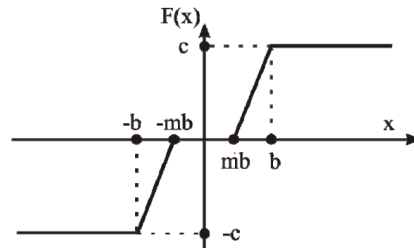


Рисунок 8 – Описание нелинейности

Координаты критической точки будут равны: $\left(-\frac{1}{4}; 0\right) = (-0,25; 0)$. По условию устойчивости - система устойчива, если ее АФХ лежит правее прямой Попова. Как можно заметить АФХ будет пересекаться прямой. Невыполнение критерия еще не означает, что равновесие неустойчиво, так как критерий только достаточный, а не необходимый.

Проверим результат моделированием (рис. 9-10).

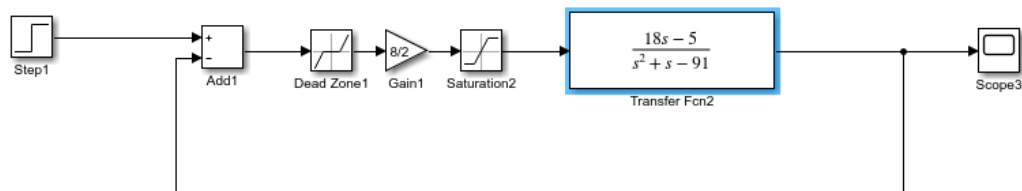


Рисунок 9 - Схема моделирования системы

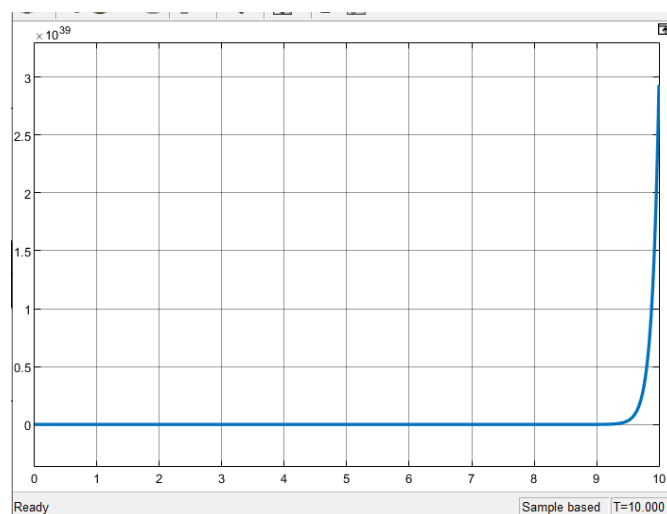


Рисунок 10 – Результат моделирования

3) Требуется оценить устойчивость системы, представленной на рис. 11. Нелинейность «Реле с гистерезисом». Параметры нелинейности представлены на рис. 12. Линейная часть описывается передаточной функцией W из задания 1.

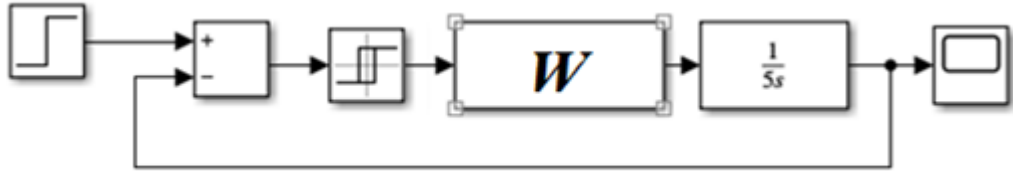


Рисунок 11 – Нелинейная система

Рисунок 12 –Параметры нелинейности

Линейная часть системы описывается звеном:

$$W(s) = \frac{18s - 5}{9s^2 + s - 91} * \frac{1}{5s}$$

Модифицированная АФХ будет выглядеть следующим образом (рис. 13).

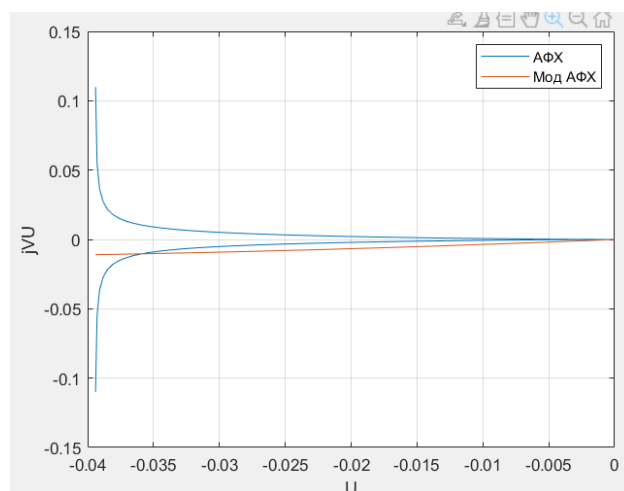


Рисунок 13 – Модифицированная АФХ

Критерий Попова требует существования такого $q \in \mathbb{R}$, что для всех $\omega \geq 0$:

$$\operatorname{Re}[(1 + j\omega q)W(j\omega)] + \frac{1}{k} > 0$$

где k – верхняя граница сектора. Таким образом: $\operatorname{Re}[(1 + j\omega q)W(j\omega)] > -\frac{1}{k}$

Проведем моделирование системы (рис. 14-15).

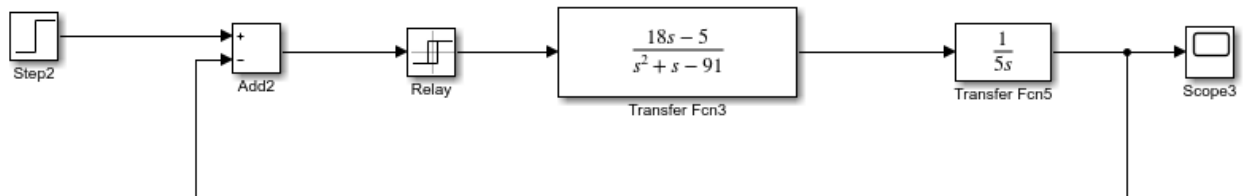


Рисунок 14 - Схема моделирования системы

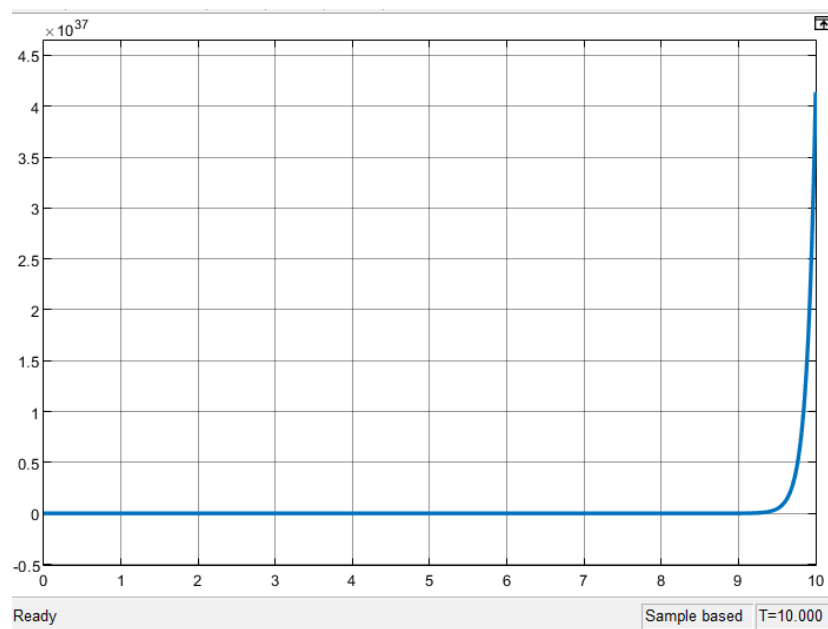


Рисунок 15 – Результат моделирования

Полученный график нелинейной характеристики при заданных согласно ТЗ условиях, представлен на рисунке 16.

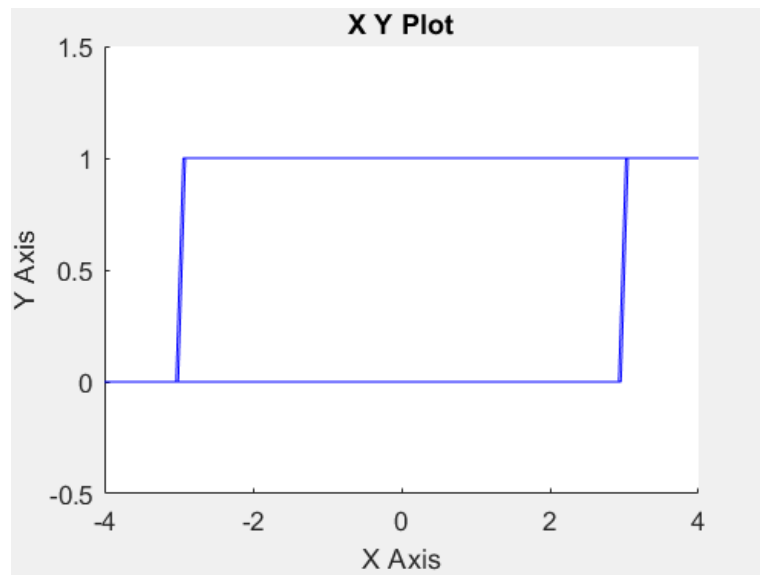


Рисунок 16 – Характеристика заданного нелинейного элемента

Таким образом, метод Попова не применим для нелинейности, находящейся в полном секторе.

ВЫВОД

Выполнено исследование устойчивости используя критерий Попова для различных заданных систем. Важно учитывать, что критерий Попова является достаточным и применяется для систем с устойчивой линейной частью.

Выявлено ограничение метода Попова – нельзя применять для анализа систем с неоднозначными нелинейностями типа «Реле с гистерезисом», что подчеркивает необходимость учета характера нелинейных элементов при выборе метода анализа.