

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"
(ДГТУ)

ФАКУЛЬТЕТ: АВТОМАТИЗАЦИЯ, МЕХАТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
КАФЕДРА: АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольной работе №1

по дисциплине: Теория колебаний

для студентов: Заочной формы обучения по направлению
15.03.04 “Автоматизация технологических
процессов и производств”

автор: к.т.н. доцент Чувейко М.В.

Ростов-на-Дону

2022

Аннотация

Приведены пояснения по выбору варианта задания для контрольной работы по дисциплине “Теория колебаний”, а также пояснения по выполнению разделов контрольной работы. Методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения по направлению 15.03.04 “Автоматизация технологических процессов и производств”.

Содержание

1	Цели и задачи	4
2	Выбор варианта задания	4
3	Задание на контрольную работу	4
3.1	Общие сведения	4
3.2	Основные этапы выполнения	5
3.3	Рекомендации по выполнению и оформлению	6
4	Индивидуальные задания	7
	Список литературы	68
	Приложение А Пример выполнения контрольной работы	69

1 Цели и задачи

Целью выполнения данной контрольной работы является освоение навыков исследования нелинейных динамических систем на предмет возникновения в них устойчивых автоколебательных процессов. Для выполнения работы предполагается использование классического метода гармонической линеаризации, а также графического(частотного) метода решения задачи гармонического баланса и применение критерия Гольдфарба. Кроме того студентам необходимо выполнить численное моделирование нелинейной динамической системы и сравнить результаты аналитических исследований с результатами численного моделирования.

На основании сравнения результатов необходимо сделать выводы относительно наличия/отсутствия соответствия между полученными результатами.

2 Выбор варианта задания

Исходными данными для выполнения контрольной работы является структурная схема нелинейной динамической системы, математические модели линейных звеньев входящих в состав системы, а также тип и параметры нелинейного элемента. Для выбора задания необходимо:

- а) Определить номер варианта N . Номер варианта соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки.
- б) Выбрать в соответствии со своим номером варианта параметры исследуемой системы в главе 4.

3 Задание на контрольную работу

3.1 Общие сведения

В данном разделе приводится перечень заданий которые необходимо выполнить в контрольной работе. По каждому заданию даны краткие указания, а

также ссылки на литературные источники в которых подробно освещены соответствующие вопросы.

Выполнение работы рекомендуется осуществлять в соответствии с примером выполнения, приведенном в приложении к данному методическому пособию.

Структурная схема исследуемой динамической системы является общей для всех вариантов и приведена на рис. 1.

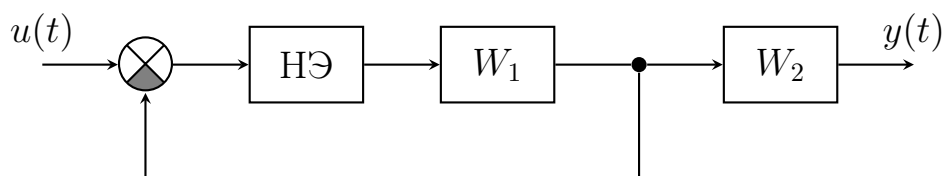


Рисунок 1 – Структурная схема системы

3.2 Основные этапы выполнения

Для успешного выполнения работы необходимо осуществление следующих пунктов контрольной работы:

- а) Выбрать индивидуальное задание (см. главу 2).
- б) Получить передаточные функции для каждого линейного динамического звена. Каждой передаточной функции отмеченной на рисунке структурной схемы соответствует свое дифференциальное уравнение. Например, запись $W_1 : 2.5y' + y = 4u'$ означает, что передаточной функции W_1 соответствует дифференциальное уравнение: $2.5y' + y = 4u'$.
Для выполнения данного пункта можно использовать следующие источники литературы: [1] п2.4, стр. 31, [2] п2.1, стр. 19.
- в) Произвести гармоническую линеаризацию нелинейного элемента с учетом параметров нелинейного элемента извлеченных при выборе задания.
Для выполнения данного пункта можно использовать следующие источники литературы: [2] п5.3, стр. 217, [3] п3.1, стр. 74.
- г) Используя частотный(графический) метод гармонического баланса установить параметры автоколебаний.

Для выполнения данного пункта можно использовать следующие источники литературы: [2] п5.3, стр. 217, [3] п3.3.2, стр. 91.

- д) Используя критерий Гольдфарба определить являются ли найденные автоколебания орбитально устойчивыми.

Для выполнения данного пункта можно использовать следующие источники литературы: [2] п5.3, стр. 217, [3] п3.3.2, стр. 91.

- е) Определить амплитуду автоколебаний на выходе системы.

Для выполнения данного пункта можно использовать следующие источники литературы: [1] п2.5, стр. 37.

- ж) Используя математический пакет Matlab или метод Рунге-Кутты, произвести численное моделирование функционирования динамической системы.

Для выполнения данного пункта можно использовать следующие источники литературы: [4] п8.2, стр. 367, [5] п2.3, стр. 85.

- з) Сравнить результаты аналитических расчетов амплитуды и частоты колебаний на выходе системы с результатами численных вычислений. Сделать выводы на основании проведенного сравнения.

3.3 Рекомендации по выполнению и оформлению

В контрольной работе необходимо приводить все схемы, графики, аналитические выкладки при выводе передаточных функций и других выражений, вид которых зависит от конкретного НЭ (проведение гармонической линеаризации и т.п.).

Для построения некоторых характеристик необходимо вычислять значения функций в некотором диапазоне изменения их аргументов. Эти вычисления можно выполнять без применения ЭВМ. В этом случае результаты вычислений сводятся в таблицы. Если для построения характеристик используется ЭВМ, то таблицы можно не приводить в контрольной работе, а привести листинги программ (тексты программ) при помощи которых выполнялись построения.

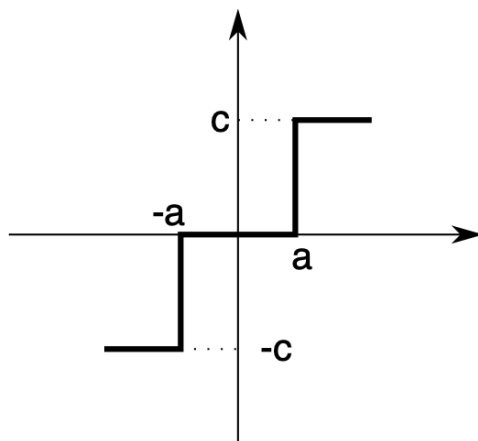
Для проведения численного моделирования динамики динамической системы использование ЭВМ так же не является необходимым. Допускается ручное вычисление методом Рунге-Кутты с приведением всех соответствующих рас-

счетов в тексте контрольной работы. При использовании ЭВМ для проведения вычислений необходимо привести листинги программ или, в случае использования для моделирования программ типа Simulink, снимки с экрана (screenshot), а также графики выходного сигнала.

4 Индивидуальные задания

Вариант №00

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 2.5, \quad c = 250.$$

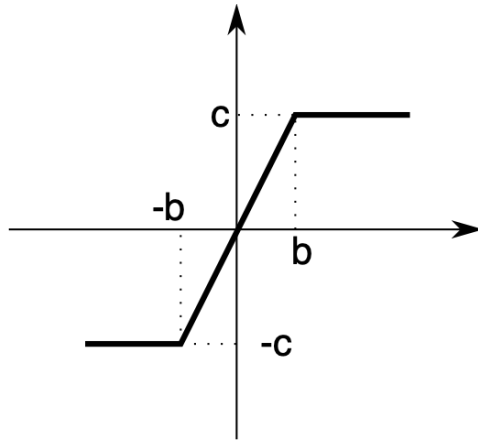
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 9.2\ddot{y} + 34.96\ddot{y} + 94.08\dot{y} + 149.76y = 234\dot{u} + 1404u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №01

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, \quad b = 4, \quad c = 200.$$

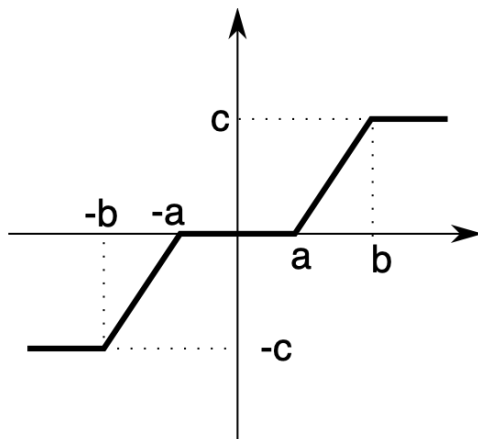
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7\dot{y} + 63.25\ddot{y} + 303.5\dot{y} + 394y = 154\dot{u} + 1386u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №02

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, \quad b = 4.5, \quad c = 250.$$

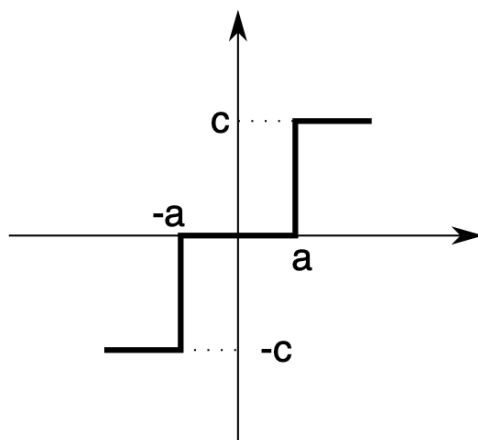
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.8\dot{y} + 93.01\ddot{y} + 334.44\dot{y} + 327.24y = 360\dot{u} + 1080u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 3y = u.$$

Вариант №03

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, \quad b = 3.5, \quad c = 250.$$

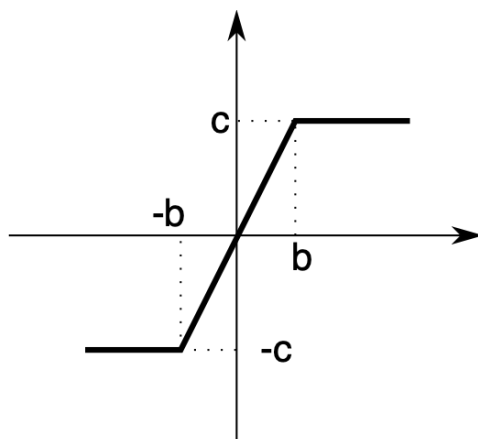
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\ddot{y} + 7.49\ddot{y} + 6.76\dot{y} + 4.36y = 487u + 3409u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №04

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, b = 3, c = 150.$$

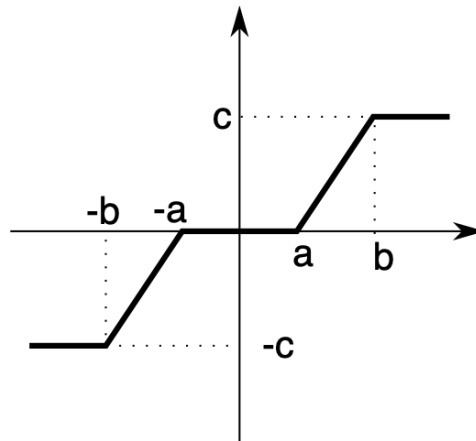
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.2\ddot{y} + 11.61\dot{y} + 27.43\dot{y} + 18.02y = 200\dot{u} + 600u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №05

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, b = 4.5, c = 200.$$

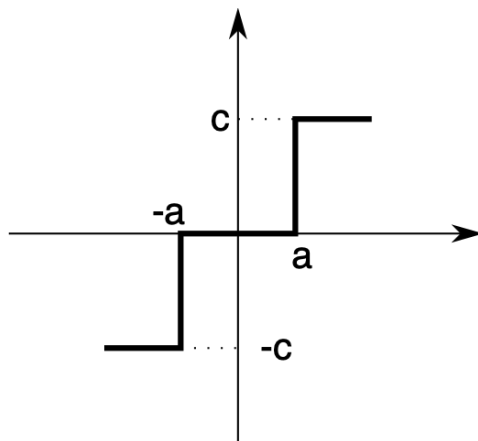
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 2.8\ddot{y} + 66.76\dot{y} + 129.12\dot{y} + 64.16y = 317\dot{u} + 2536u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 3y = u.$$

Вариант №06

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, \quad b = 2.5, \quad c = 250.$$

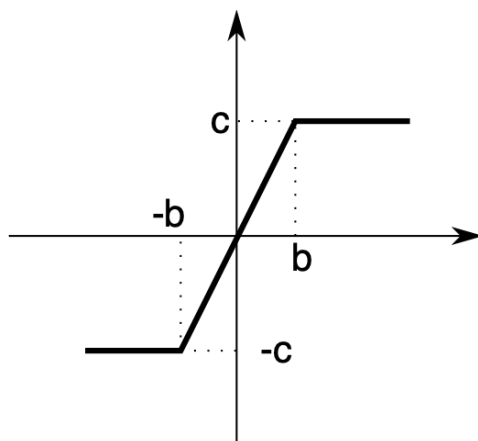
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 34.09\ddot{y} + 106.16\dot{y} + 76.47y = 395\dot{u} + 1975u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №07

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 4, \quad c = 250.$$

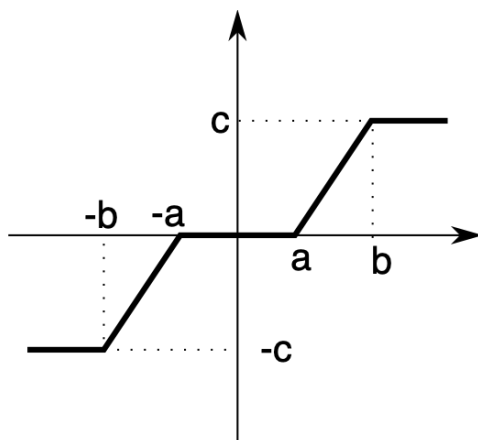
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 24.04\ddot{y} + 82.6\dot{y} + 96.24y = 439\dot{u} + 878u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №08

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 3, c = 150.$$

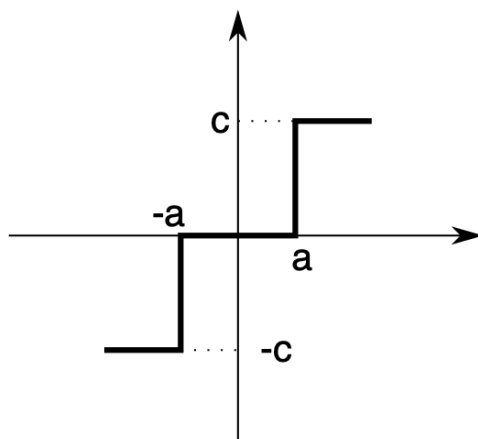
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.4\ddot{y} + 60.44\dot{y} + 297.84y + 441.36y = 121\dot{u} + 1089u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 3y = u.$$

Вариант №09

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, \quad b = 2.5, \quad c = 150.$$

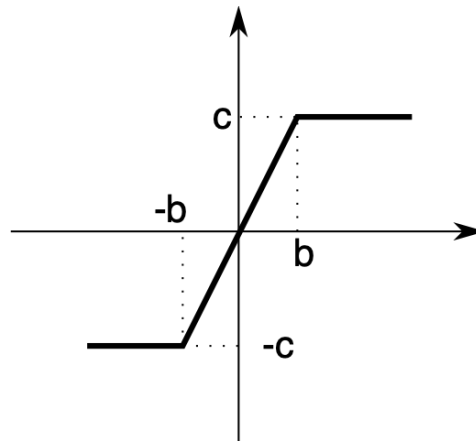
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 61.36\ddot{y} + 254\dot{y} + 296.16y = 280\dot{u} + 2240u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 3y = u.$$

Вариант №10

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, \quad b = 2.5, \quad c = 150.$$

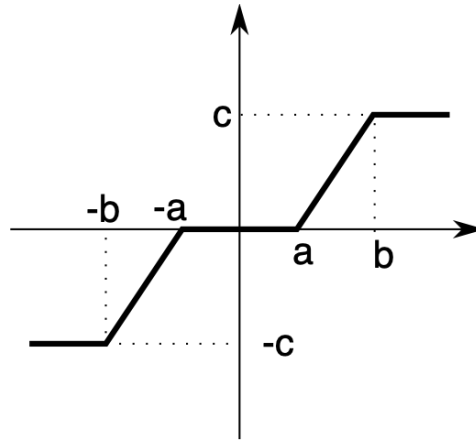
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.8\ddot{y} + 24.81\ddot{y} + 59.85\dot{y} + 58.86y = 482\dot{u} + 3856u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 2y = u.$$

Вариант №11

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, \quad b = 4.5, \quad c = 200.$$

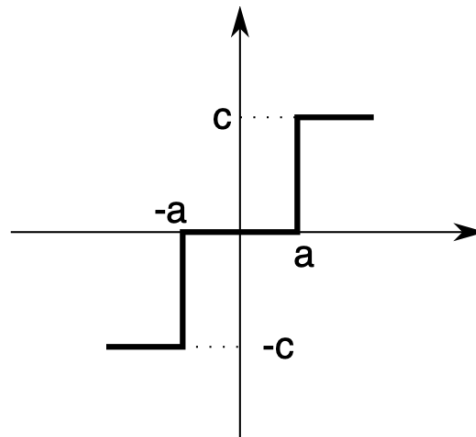
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.2\dot{y} + 84.81y + 324.64\dot{y} + 243.03y = 264\dot{u} + 2112u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №12

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 3, \quad c = 250.$$

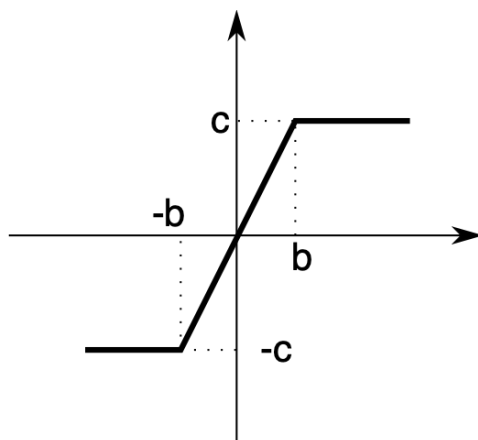
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.8\dot{y} + 56.36y + 199.84\dot{y} + 196.64y = 140\dot{u} + 700u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 3y = 2u.$$

Вариант №13

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 4.5, \quad c = 150.$$

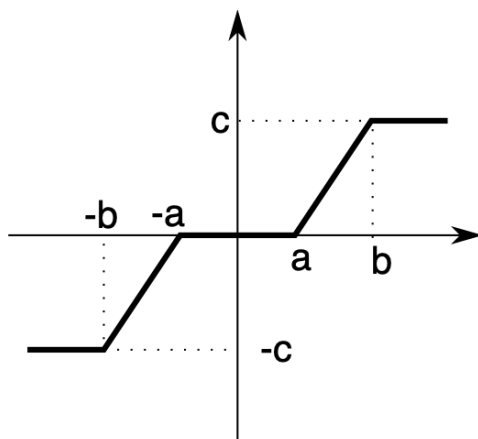
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.4\ddot{y} + 94.49\dot{y} + 415.85y + 488.94y = 303\dot{u} + 606u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №14

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, b = 4.5, c = 200.$$

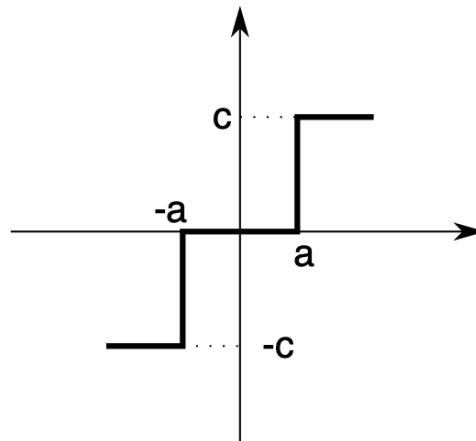
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.4\ddot{y} + 35.44\ddot{y} + 153.44\dot{y} + 200.32y = 203\dot{u} + 406u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = u.$$

Вариант №15

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, b = 3, c = 200.$$

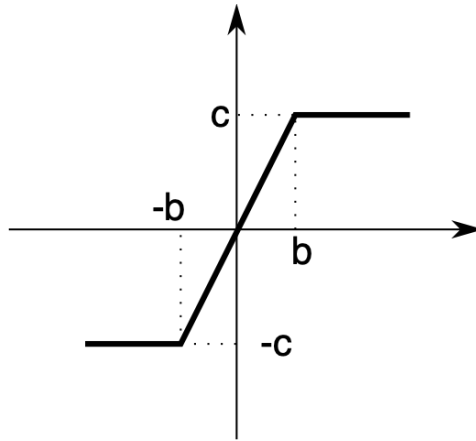
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 18.09\ddot{y} + 42.16\dot{y} + 28.47y = 194\dot{u} + 388u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = u.$$

Вариант №16

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 4.5, \quad c = 200.$$

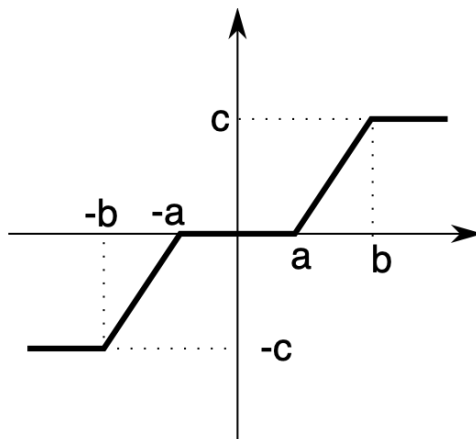
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 70.04\ddot{y} + 321.8\dot{y} + 256.16y = 295\dot{u} + 2360u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 3y = u.$$

Вариант №17

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 4, \quad c = 250.$$

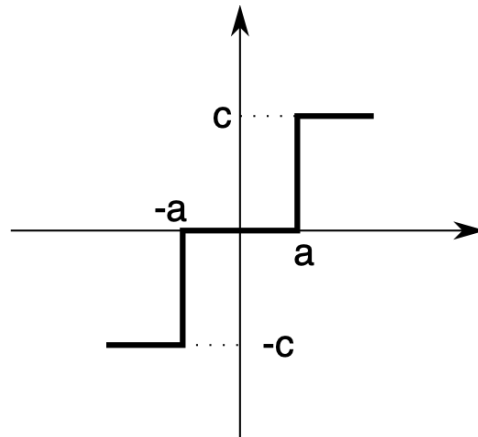
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.8\ddot{y} + 16.81\ddot{y} + 19.85\dot{y} + 10.86y = 368\dot{u} + 3312u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №18

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, b = 3, c = 150.$$

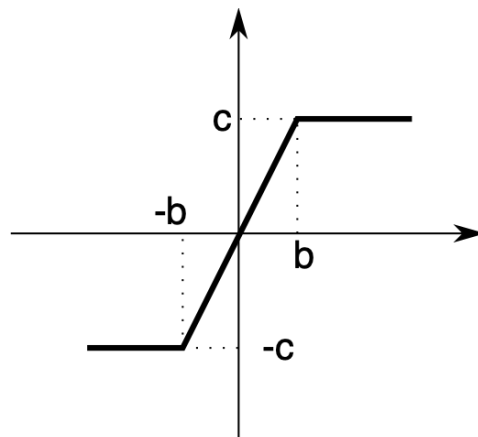
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\dot{y} + 42.04\ddot{y} + 181.8\dot{y} + 144.16y = 153\dot{u} + 459u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + y = u.$$

Вариант №19

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, \quad b = 3, \quad c = 250.$$

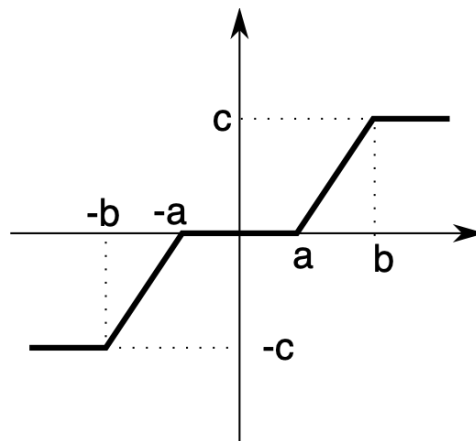
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6\ddot{y} + 58.25\ddot{y} + 250.25\dot{y} + 197y = 134\dot{u} + 1072u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 4y = u.$$

Вариант №20

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 4.5, \quad c = 200.$$

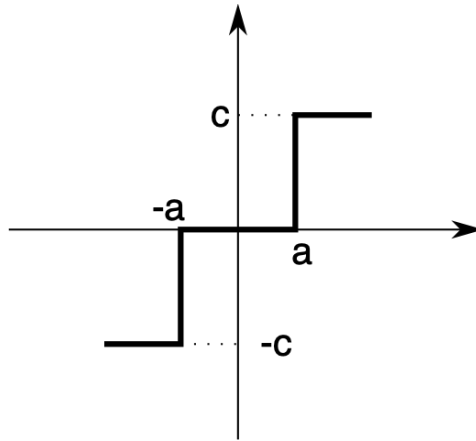
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\ddot{y} + 9.49\ddot{y} + 18.16\dot{y} + 12.27y = 373\dot{u} + 3357u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №21

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 4, \quad c = 200.$$

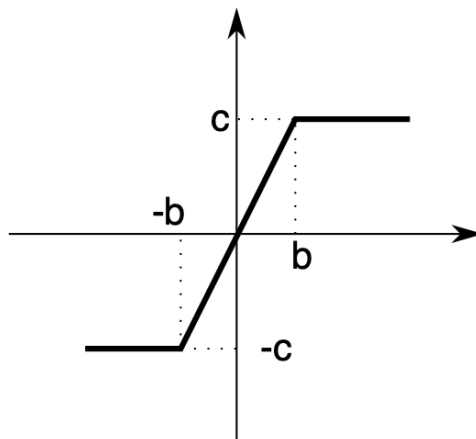
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 35.09\ddot{y} + 107.56\dot{y} + 101.96y = 482\dot{u} + 1928u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 4y = 3u.$$

Вариант №22

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, \quad b = 3.5, \quad c = 150.$$

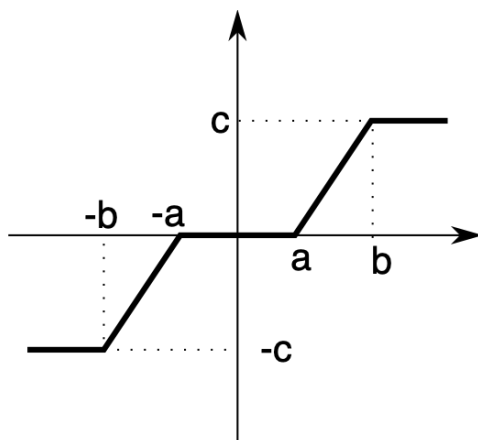
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.6\ddot{y} + 75.69\ddot{y} + 389.34\dot{y} + 512.72y = 473\dot{u} + 1892u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №23

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, b = 4, c = 200.$$

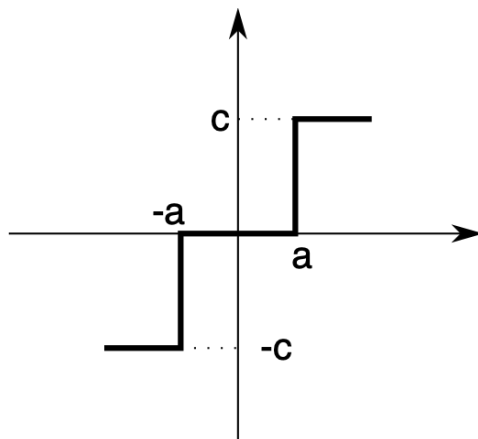
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 9.4\ddot{y} + 43.69\dot{y} + 154.32y = 148\dot{u} + 592u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + y = u.$$

Вариант №24

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 3, c = 200.$$

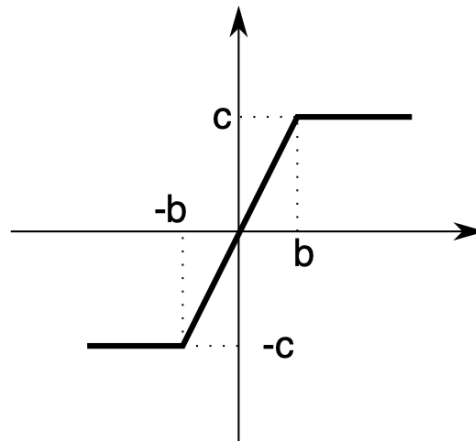
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.6\dot{y} + 4.89y = 328u + 1312u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 3y = 2u.$$

Вариант №25

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, b = 4.5, c = 200.$$

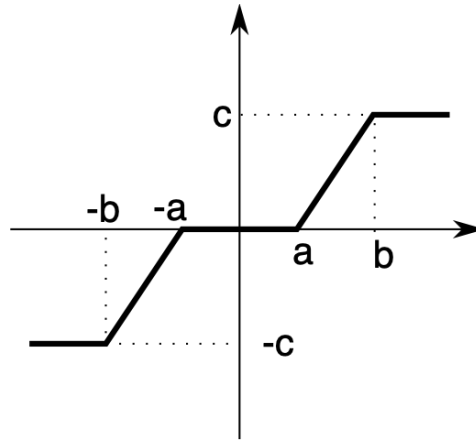
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.8\dot{y} + 29.56y = 357u + 1785u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №26

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 2.5, \quad c = 200.$$

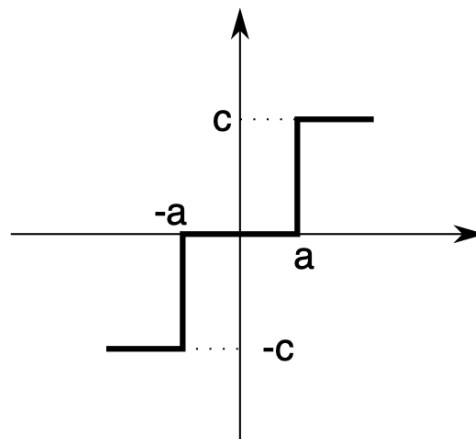
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.8\ddot{y} + 62.96\ddot{y} + 302.16\dot{y} + 442.44y = 127\dot{u} + 889u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №27

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 3.5, \quad c = 200.$$

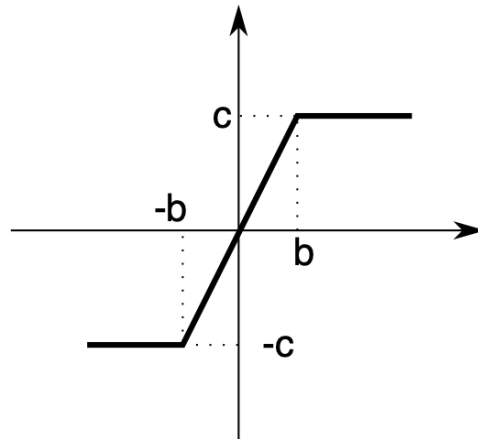
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 9.8\ddot{y} + 56.21\ddot{y} + 235.28\dot{y} + 412.96y = 271\dot{u} + 1355u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №28

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, b = 3.5, c = 150.$$

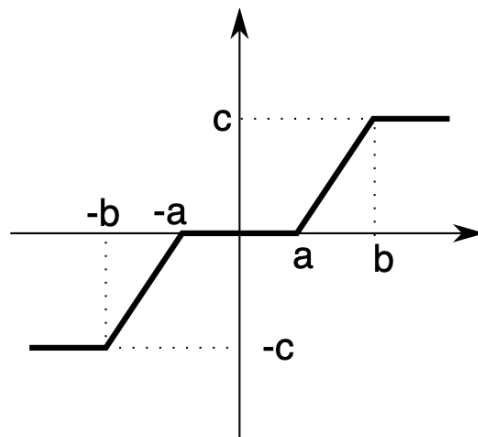
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.8\dot{y} + 17.81y + 31.25\dot{y} + 19.24y = 146\dot{u} + 1168u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №29

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, b = 3, c = 200.$$

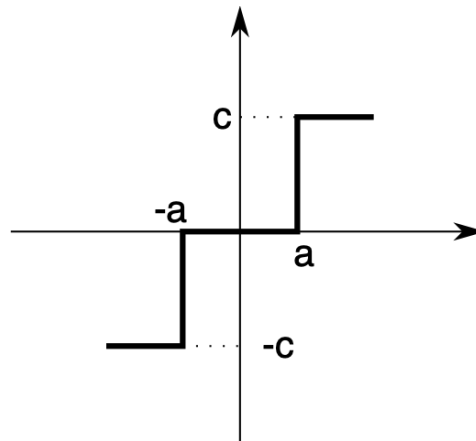
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.8\ddot{y} + 10.36\ddot{y} + 19.04\dot{y} + 12.48y = 256\dot{u} + 1792u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = 3u.$$

Вариант №30

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, b = 2.5, c = 200.$$

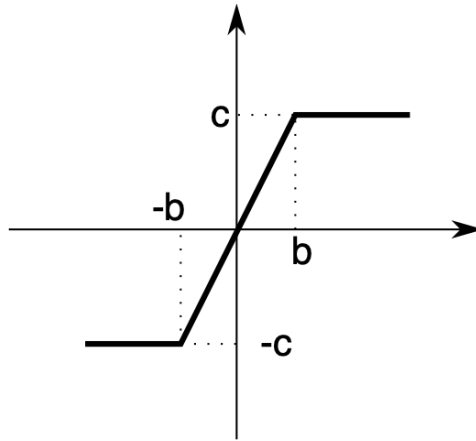
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 37.36\ddot{y} + 134\dot{y} + 152.16y = 389\dot{u} + 2723u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = 3u.$$

Вариант №31

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, b = 2.5, c = 200.$$

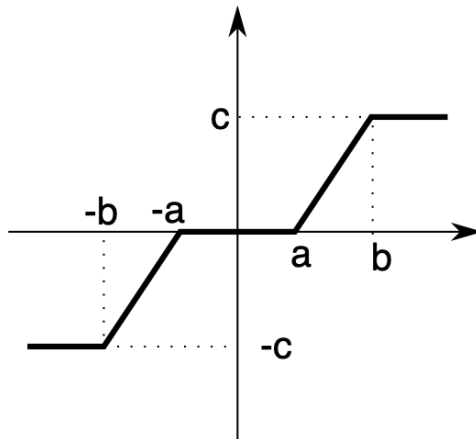
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 8\ddot{y} + 83.25\ddot{y} + 461.75\dot{y} + 771y = 380\dot{u} + 2280u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 3y = 2u.$$

Вариант №32

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.25, b = 2.5, c = 250.$$

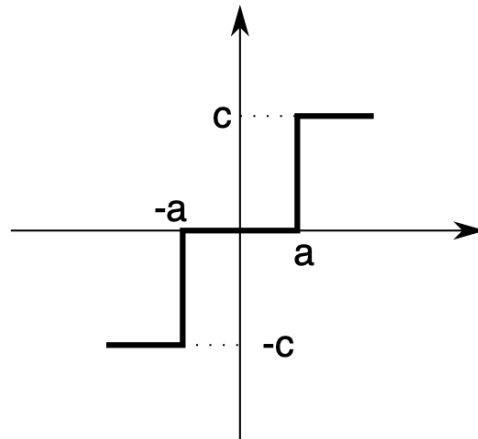
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5\ddot{y} + 43.25\ddot{y} + 148\dot{y} + 108.75y = 468\dot{u} + 3276u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 4y = 3u.$$

Вариант №33

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, b = 2.5, c = 150.$$

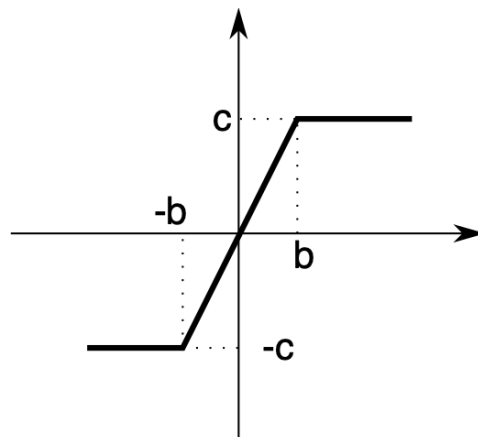
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 90.09\ddot{y} + 330.16\dot{y} + 244.47y = 291\dot{u} + 2037u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №34

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 4.5, c = 250.$$

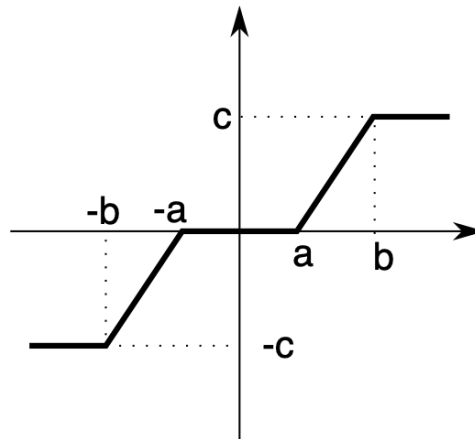
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.8\ddot{y} + 7.36\ddot{y} + 7.04\dot{y} + 3.48y = 476\dot{u} + 1428u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 3y = 2u.$$

Вариант №35

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, b = 3, c = 150.$$

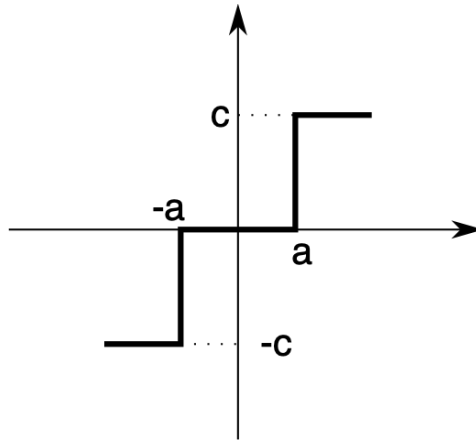
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.8\ddot{y} + 22.81\ddot{y} + 56.25\dot{y} + 39.24y = 119\dot{u} + 357u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 3y = 2u.$$

Вариант №36

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, \quad b = 4.5, \quad c = 150.$$

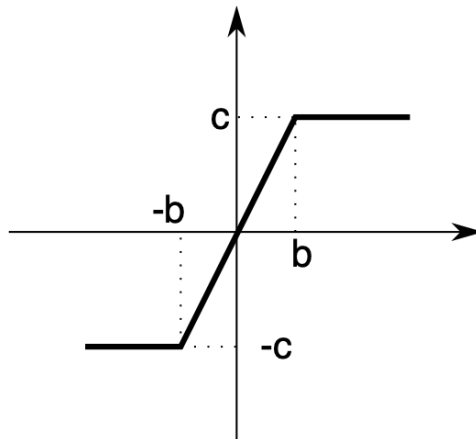
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.6\ddot{y} + 45.09\ddot{y} + 184.05\dot{y} + 216.54y = 156\dot{u} + 1248u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №37

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, \quad b = 3.5, \quad c = 250.$$

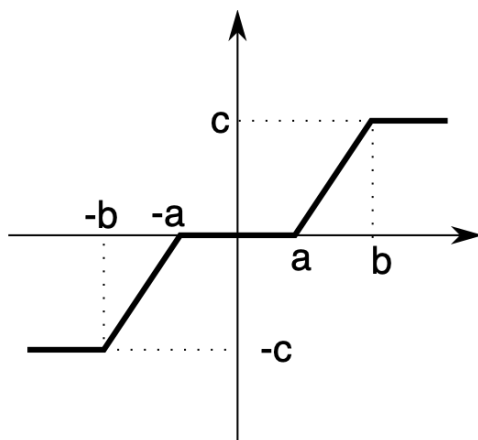
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.8\ddot{y} + 24.16\ddot{y} + 84\dot{y} + 64.64y = 256\dot{u} + 2304u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №38

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.25, b = 3, c = 150.$$

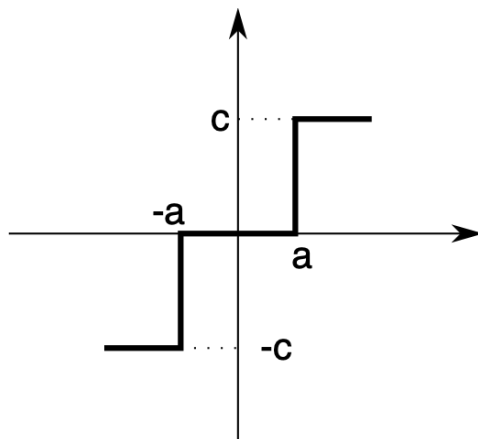
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.2\ddot{y} + 9.96\dot{y} + 15.48y = 239\dot{u} + 1195u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 4y = 3u.$$

Вариант №39

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, b = 4, c = 150.$$

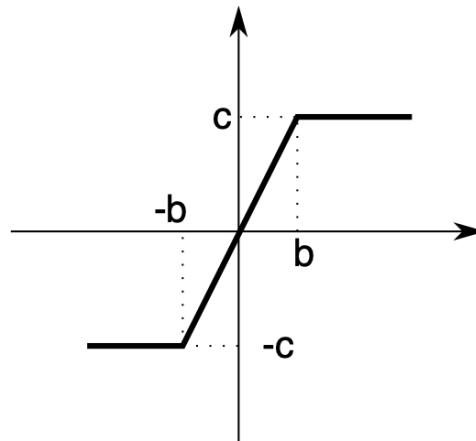
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.4\ddot{y} + 33.89\ddot{y} + 111.54\dot{y} + 148.41y = 291\dot{u} + 2619u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №40

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 4, c = 200.$$

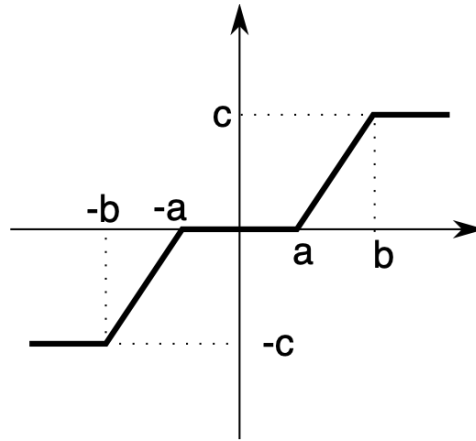
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.6\ddot{y} + 39.89\ddot{y} + 109.47\dot{y} + 72.18y = 131\dot{u} + 524u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = u.$$

Вариант №41

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, b = 4, c = 200.$$

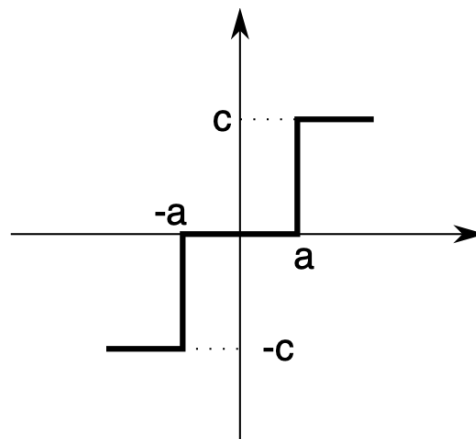
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.6\ddot{y} + 84.89\ddot{y} + 244.47\dot{y} + 162.18y = 239\dot{u} + 2151u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №42

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, b = 4.5, c = 200.$$

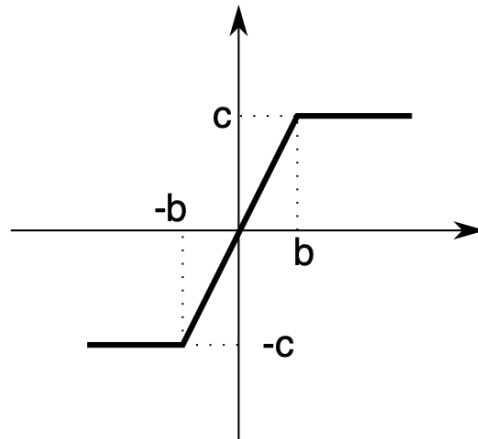
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 61.36\ddot{y} + 254\dot{y} + 296.16y = 313\dot{u} + 939u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 2y = u.$$

Вариант №43

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, \quad b = 3, \quad c = 250.$$

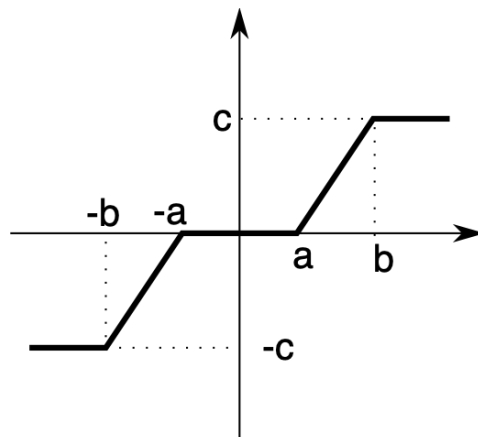
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.8\ddot{y} + 9.21\dot{y} + 9.03y = 270u + 1080u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = u.$$

Вариант №44

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 3, c = 250.$$

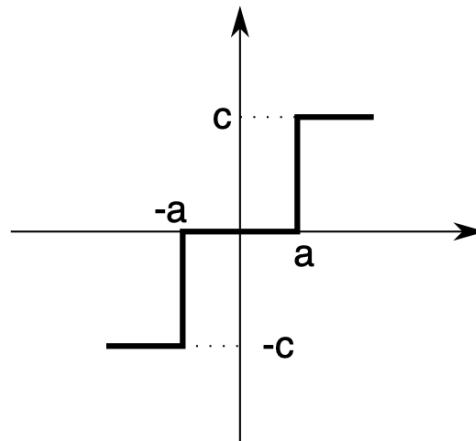
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.4\ddot{y} + 53.89\ddot{y} + 231.54\dot{y} + 328.41y = 398\dot{u} + 1194u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = 3u.$$

Вариант №45

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, b = 2.5, c = 150.$$

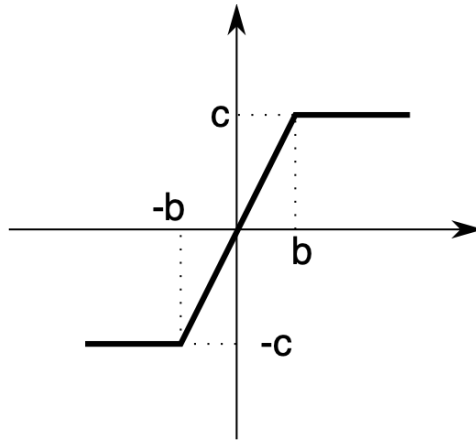
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 59.09\ddot{y} + 203.56\dot{y} + 197.96y = 261\dot{u} + 1566u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №46

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 2.5, \quad c = 250.$$

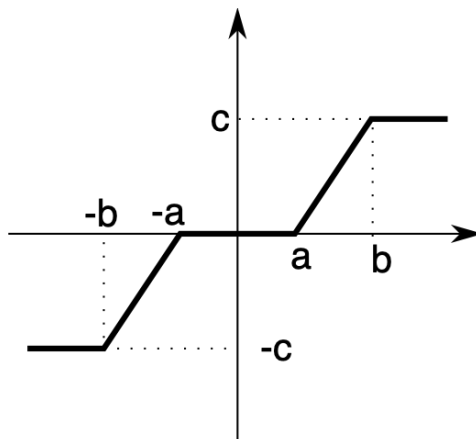
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 13.36\ddot{y} + 14\dot{y} + 8.16y = 212\dot{u} + 1484u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = u.$$

Вариант №47

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, \quad b = 4, \quad c = 250.$$

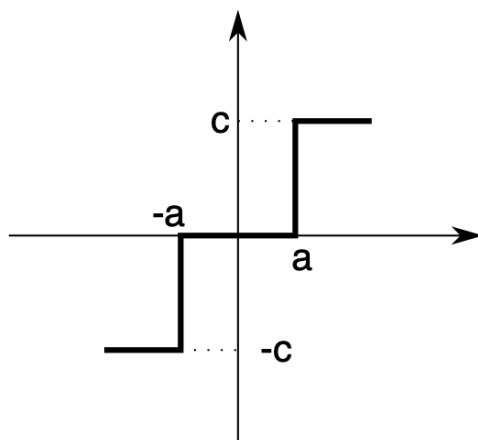
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 8.2\ddot{y} + 101.76\ddot{y} + 583.92\dot{y} + 976.32y = 355\dot{u} + 710u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №48

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, b = 4.5, c = 150.$$

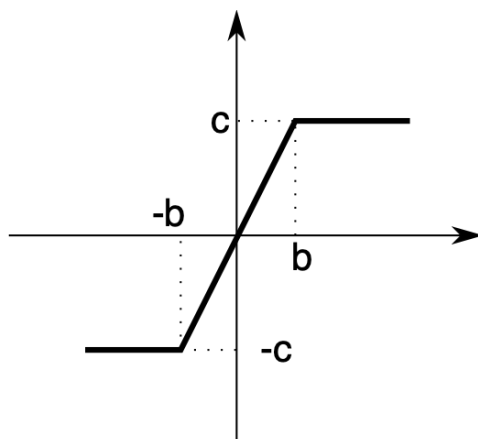
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 14.36\ddot{y} + 26.6\dot{y} + 17.44y = 496\dot{u} + 4464u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + y = 3u.$$

Вариант №49

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 3, c = 150.$$

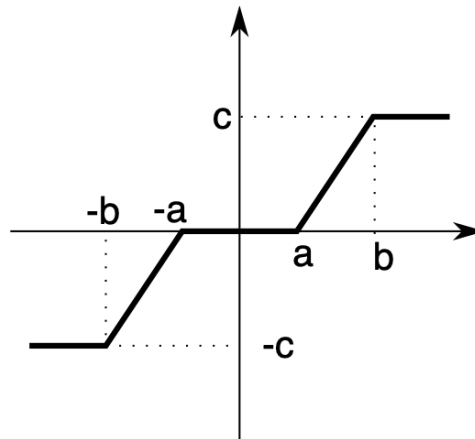
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 13.21\dot{y} + 25.66\dot{y} + 32.08y = 297\dot{u} + 891u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = 3u.$$

Вариант №50

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, b = 4.5, c = 200.$$

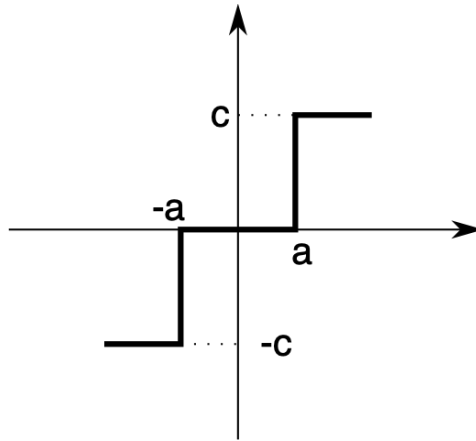
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\ddot{y} + 8.44\dot{y} + 8.12\dot{y} + 3.28y = 348\dot{u} + 696u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №51

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, b = 4, c = 150.$$

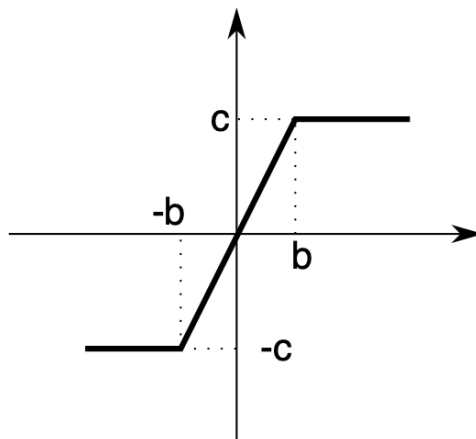
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.4\ddot{y} + 17.89\dot{y} + 20.14y = 192\dot{u} + 576u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №52

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 2.5, c = 250.$$

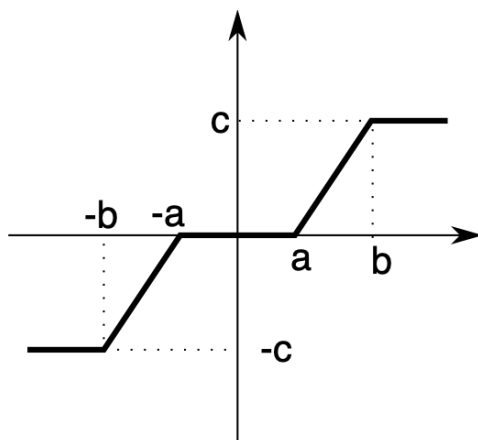
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.4\ddot{y} + 69.64\dot{y} + 257.76y = 278\dot{u} + 1668u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №53

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 4, \quad c = 150.$$

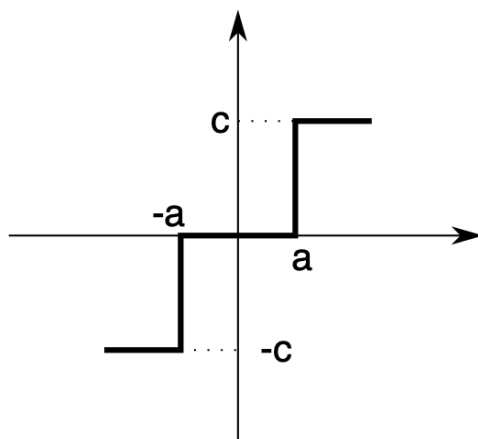
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.6\dot{y} + 11.09y + 22.85\dot{y} + 16.36y = 435u + 2175\dot{u},$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + y = u.$$

Вариант №54

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 3, \quad c = 250.$$

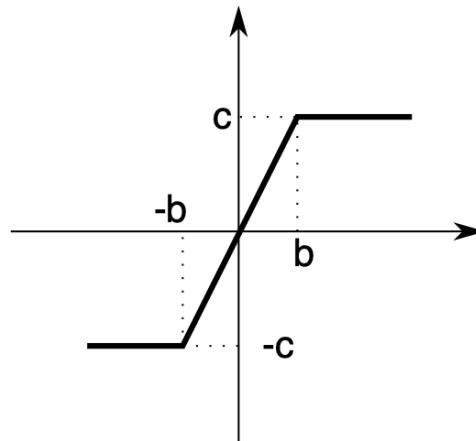
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.6\ddot{y} + 17.29\ddot{y} + 14.83\dot{y} + 13.08y = 183\dot{u} + 1281u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = 3u.$$

Вариант №55

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 3.5, \quad c = 250.$$

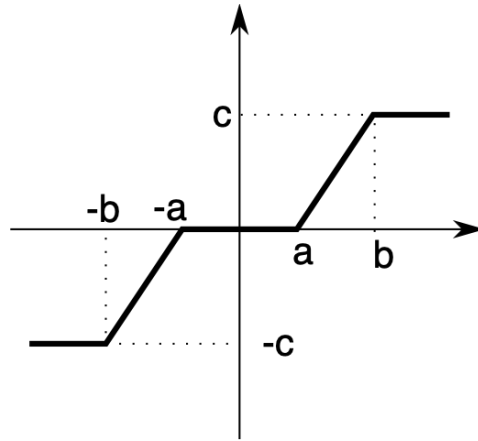
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.6\ddot{y} + 73.09\ddot{y} + 324.05\dot{y} + 384.54y = 338\dot{u} + 676u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 3y = 2u.$$

Вариант №56

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, \quad b = 3.5, \quad c = 150.$$

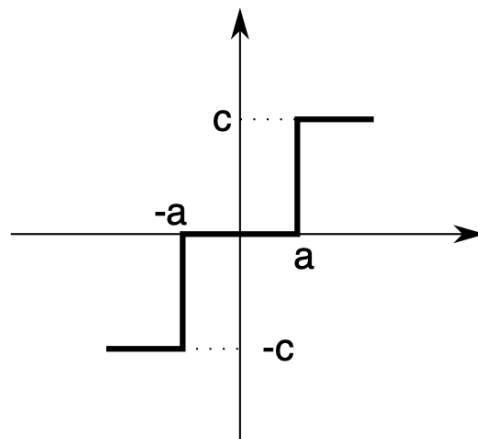
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\ddot{y} + 14.49\dot{y} + 38.16y = 287\dot{u} + 2009u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №57

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, \quad b = 2.5, \quad c = 150.$$

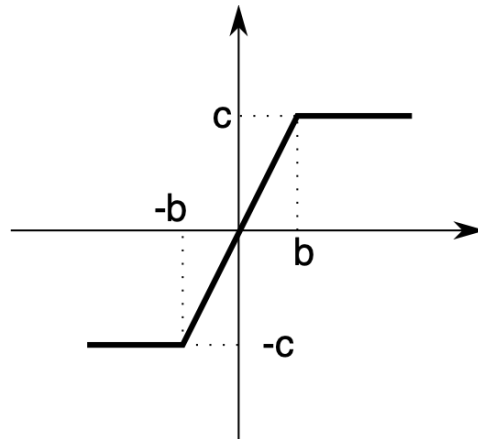
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 19.36\dot{y} + 51.6y = 279\dot{u} + 1674u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = u.$$

Вариант №58

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 3.5, \quad c = 150.$$

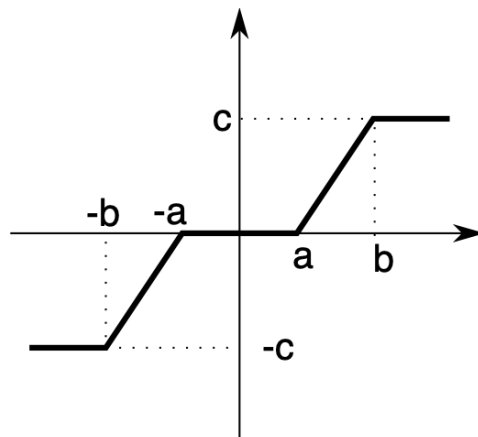
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.2\ddot{y} + 34.16\ddot{y} + 106.24\dot{y} + 101.44y = 184\dot{u} + 1472u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 4y = 3u.$$

Вариант №59

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, b = 4.5, c = 250.$$

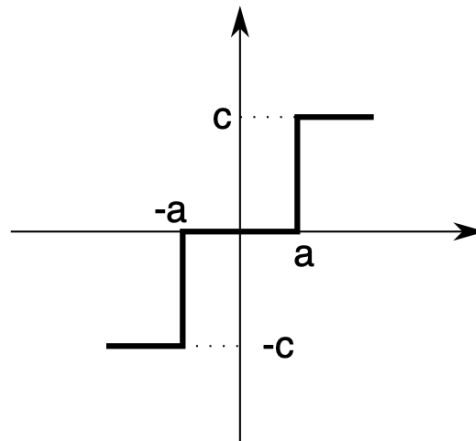
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{\ddot{y}} + 6.6\ddot{\ddot{y}} + 28.69\ddot{y} + 101.94\dot{y} + 144.81y = 187\dot{u} + 1309u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = u.$$

Вариант №60

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, b = 3.5, c = 200.$$

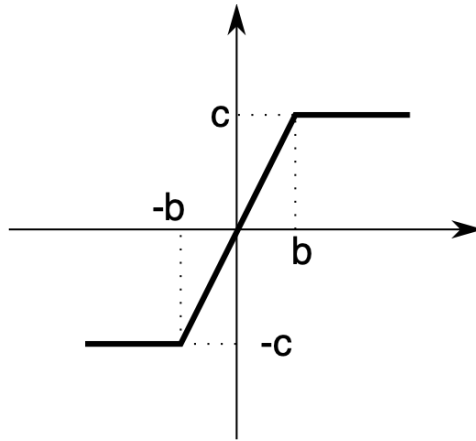
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{\ddot{y}} + 8.8\ddot{\ddot{y}} + 89.41\ddot{y} + 475.27\dot{y} + 777.72y = 239\dot{u} + 1434u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 3y = u.$$

Вариант №61

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 3.5, \quad c = 150.$$

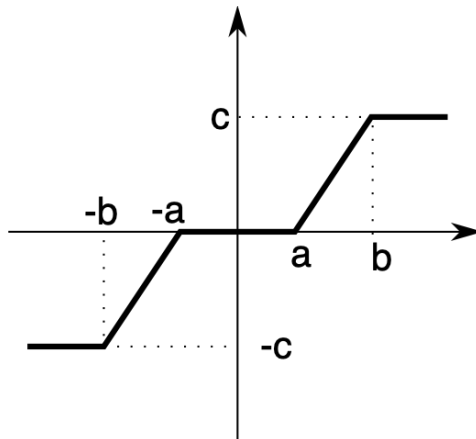
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 8\ddot{y} + 68.25\ddot{y} + 356.75\dot{y} + 591y = 171\dot{u} + 1539u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №62

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, \quad b = 3, \quad c = 200.$$

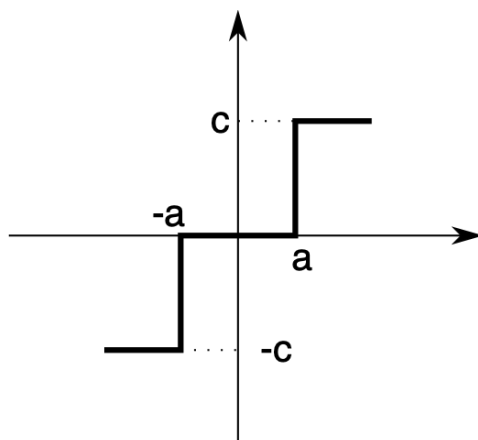
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.2\ddot{y} + 7.76\ddot{y} + 9.92\dot{y} + 4.36y = 419\dot{u} + 1676u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 3y = u.$$

Вариант №63

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, \quad b = 3.5, \quad c = 150.$$

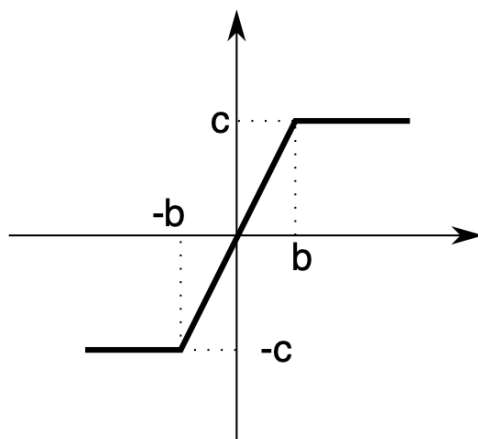
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5\ddot{y} + 11.25\ddot{y} + 20\dot{y} + 12.75y = 164\dot{u} + 1312u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = u.$$

Вариант №64

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 4.5, \quad c = 250.$$

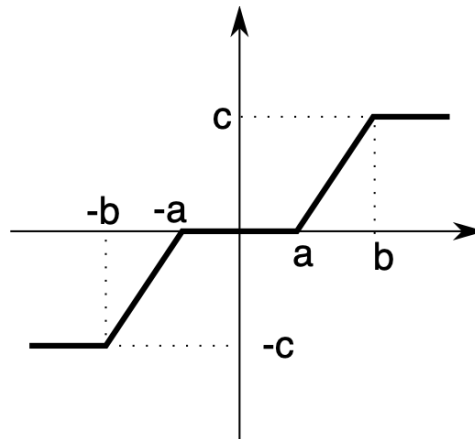
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.4\ddot{y} + 33.89\ddot{y} + 111.54\dot{y} + 148.41y = 435\dot{u} + 3045u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №65

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 2.5, \quad c = 200.$$

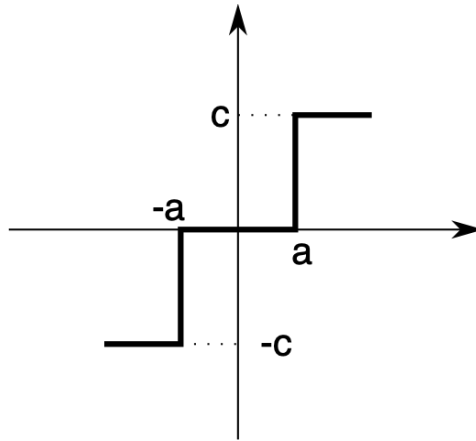
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.8\ddot{y} + 72.21\ddot{y} + 198.03\dot{y} + 129.62y = 107\dot{u} + 749u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 4y = u.$$

Вариант №66

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, \quad b = 2.5, \quad c = 200.$$

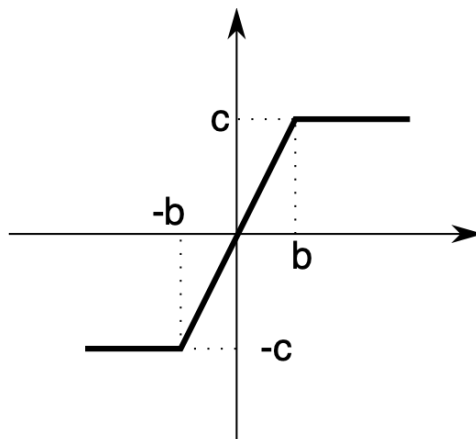
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.8\ddot{y} + 24.21\dot{y} + 54.03y = 447\dot{u} + 3129u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №67

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, \quad b = 4, \quad c = 150.$$

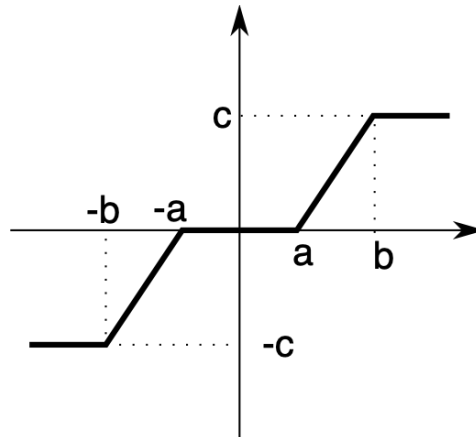
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.2\ddot{y} + 38.61\dot{y} + 108.43y = 162\dot{u} + 1134u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = 3u.$$

Вариант №68

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 4.5, \quad c = 250.$$

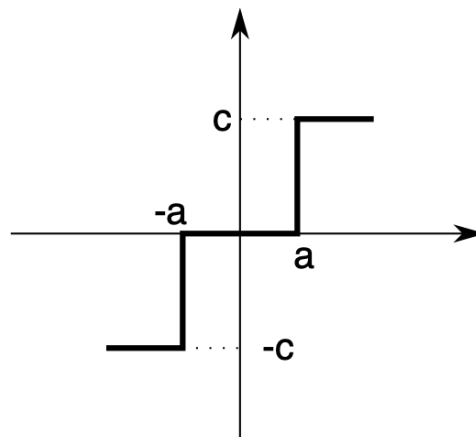
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.2\ddot{y} + 27.61\dot{y} + 75.43y = 429u + 1716u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №69

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, b = 2.5, c = 250.$$

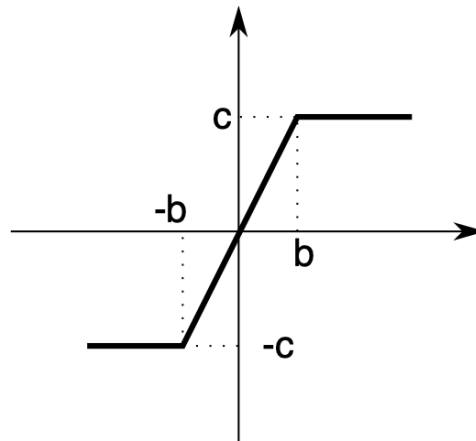
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.8\ddot{y} + 93.01\ddot{y} + 334.44\dot{y} + 327.24y = 366\dot{u} + 2928u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + y = 3u.$$

Вариант №70

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, b = 2.5, c = 250.$$

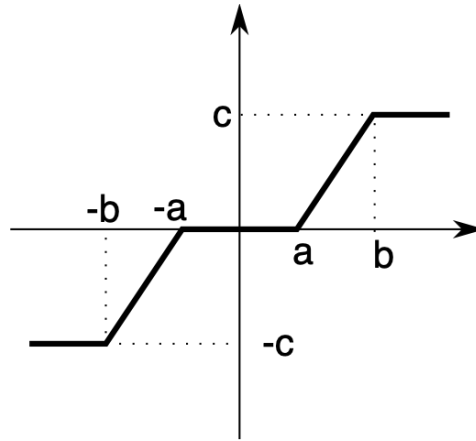
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.2\ddot{y} + 86.01\ddot{y} + 405.85\dot{y} + 324.04y = 262\dot{u} + 1310u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №71

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, \quad b = 3.5, \quad c = 250.$$

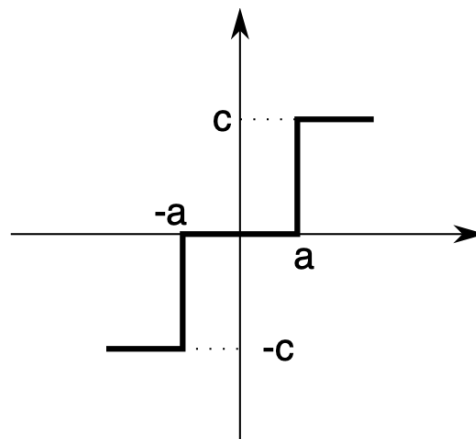
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\ddot{y} + 22.49\dot{y} + 66.76y + 64.36y = 141\dot{u} + 282u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 4y = u.$$

Вариант №72

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 4.5, \quad c = 150.$$

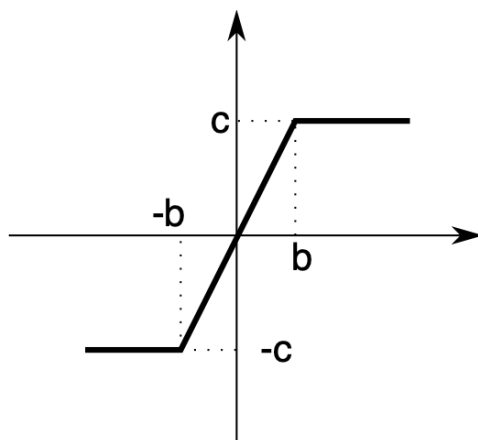
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 57.04\dot{y} + 247.6y + 294.24y = 135\dot{u} + 810u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №73

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, \quad b = 2.5, \quad c = 150.$$

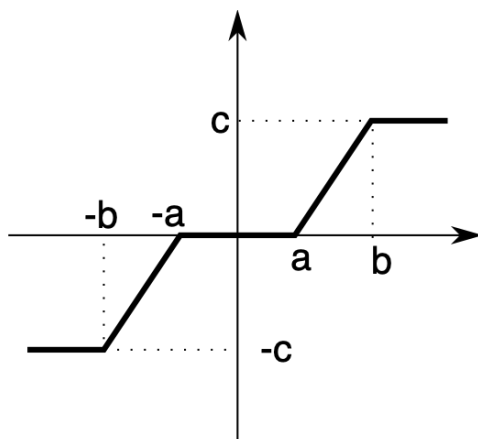
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.6\ddot{y} + 78.64\dot{y} + 332.8y + 387.84y = 233\dot{u} + 1398u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №74

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.15, b = 3.5, c = 200.$$

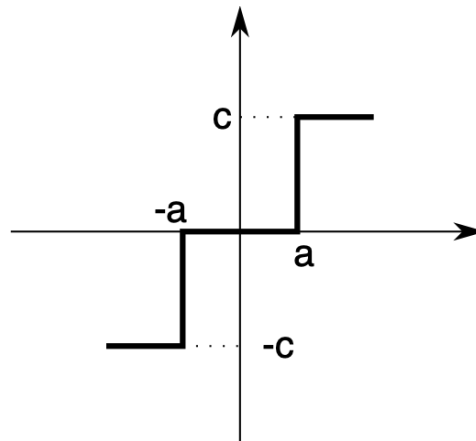
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.2\ddot{y} + 25.56\ddot{y} + 66.96\dot{y} + 84.24y = 322\dot{u} + 2576u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №75

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, b = 2.5, c = 200.$$

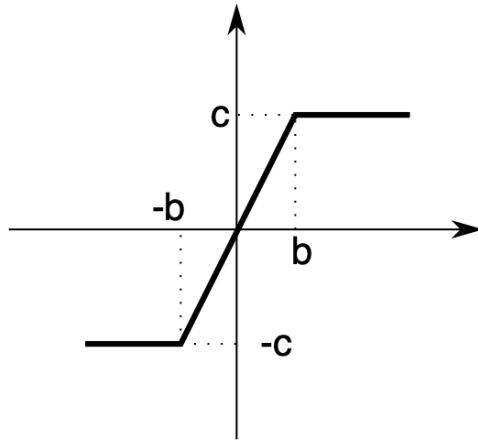
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\ddot{y} + 88.44\ddot{y} + 248.12\dot{y} + 163.28y = 232\dot{u} + 464u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = u.$$

Вариант №76

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, \quad b = 2.5, \quad c = 200.$$

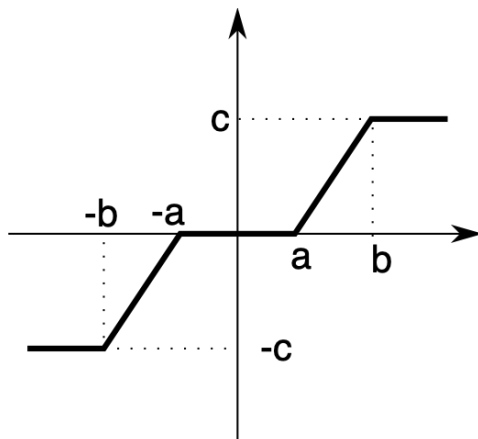
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 70.04\dot{y} + 321.8y = 156\dot{u} + 624u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №77

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, \quad b = 4, \quad c = 250.$$

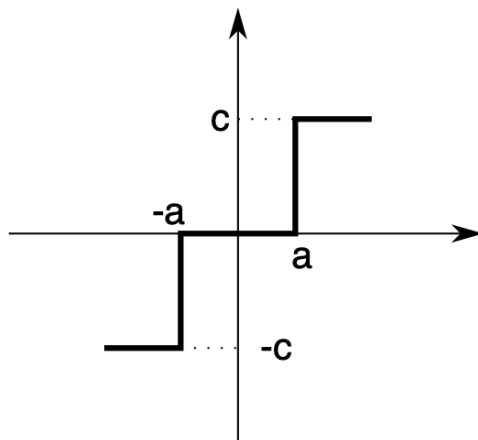
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 8.2\ddot{y} + 29.76\dot{y} + 79.92y = 224\dot{u} + 2016u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №78

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.25, \quad b = 3.5, \quad c = 250.$$

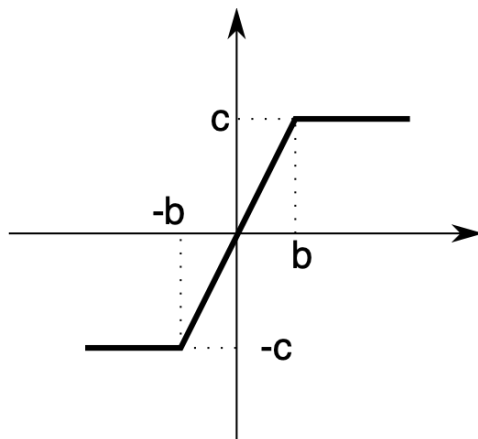
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 8.6\dot{y} + 24.84y + 30.68\dot{y} + 19.68y = 408u + 1224u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + y = 3u.$$

Вариант №79

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, b = 4.5, c = 250.$$

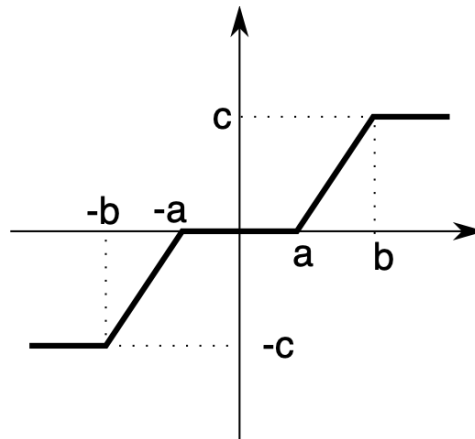
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.2\ddot{y} + 73.16\ddot{y} + 262.24\dot{y} + 257.44y = 217\dot{u} + 1953u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 3y = 2u.$$

Вариант №80

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, b = 4.5, c = 200.$$

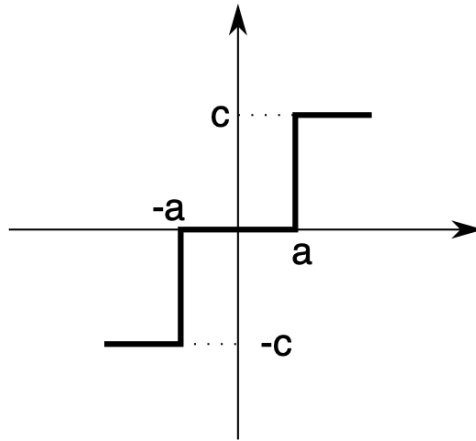
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.2\ddot{y} + 9.01\ddot{y} + 20.85\dot{y} + 16.04y = 466\dot{u} + 2330u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №81

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, \quad b = 2.5, \quad c = 150.$$

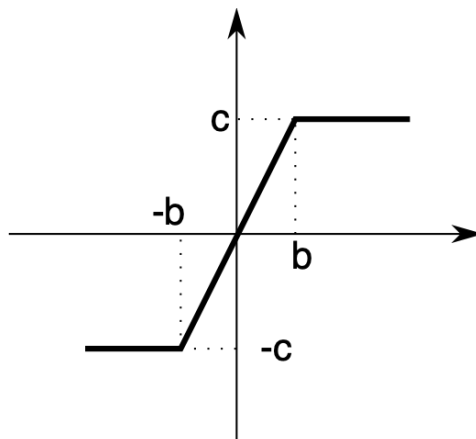
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.4\ddot{y} + 60.44\ddot{y} + 297.84\dot{y} + 441.36y = 400\dot{u} + 1200u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №82

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.05, \quad b = 3, \quad c = 250.$$

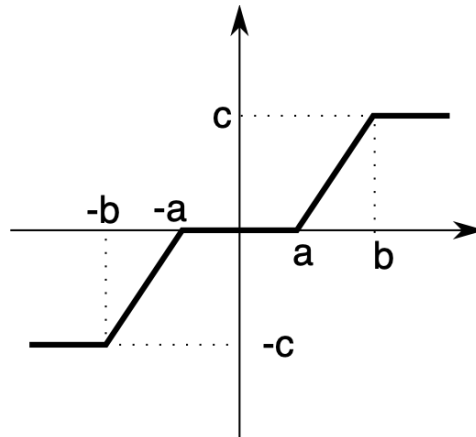
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 8.8\ddot{y} + 86.56\ddot{y} + 526.08\dot{y} + 1026.6y = 406\dot{u} + 3248u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = 2u.$$

Вариант №83

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 2.5, \quad c = 250.$$

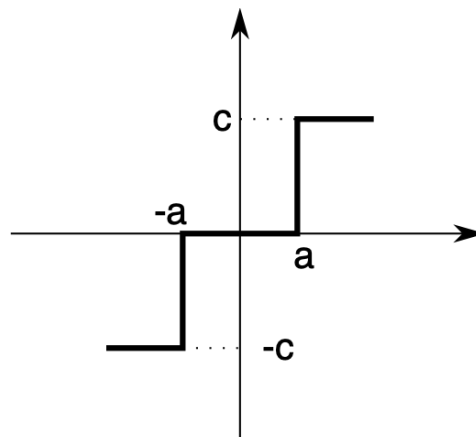
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.8\ddot{y} + 33.16\dot{y} + 129y + 100.64y = 228\dot{u} + 2052u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №84

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.2, \quad b = 4, \quad c = 150.$$

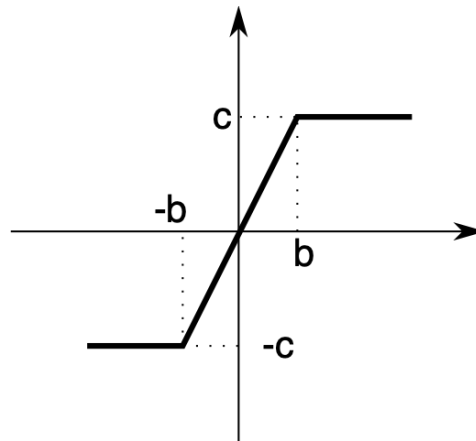
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.2\ddot{y} + 12.16\ddot{y} + 21.04\dot{y} + 13.08y = 397\dot{u} + 3573u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 2y = u.$$

Вариант №85

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.25, \quad b = 4, \quad c = 150.$$

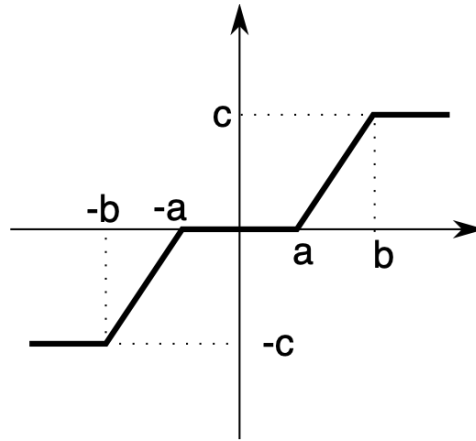
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 8\ddot{y} + 83.25\ddot{y} + 461.75\dot{y} + 771y = 372\dot{u} + 3348u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 3y = 3u.$$

Вариант №86

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.25, \quad b = 2.5, \quad c = 150.$$

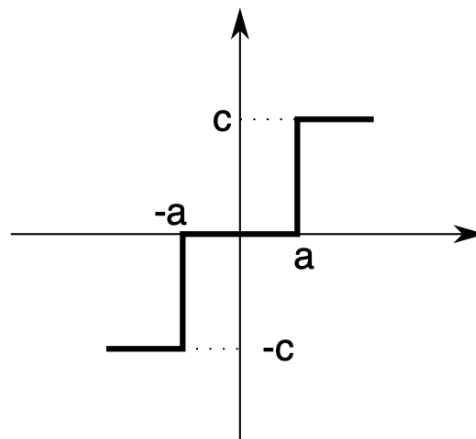
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.6\ddot{y} + 39.64\dot{y} + 137.8y = 106\dot{u} + 424u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = 3u.$$

Вариант №87

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 3, \quad c = 250.$$

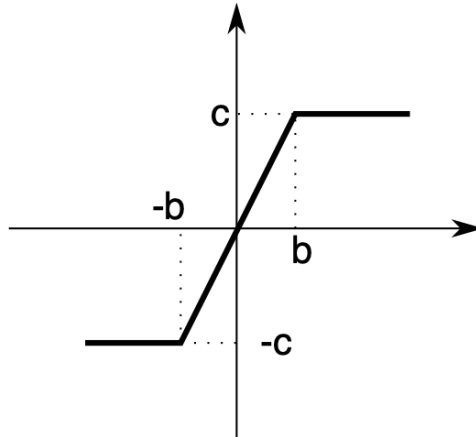
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 2.2\ddot{y} + 10.41\dot{y} + 18.22y = 178\dot{u} + 712u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №88

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, b = 3, c = 150.$$

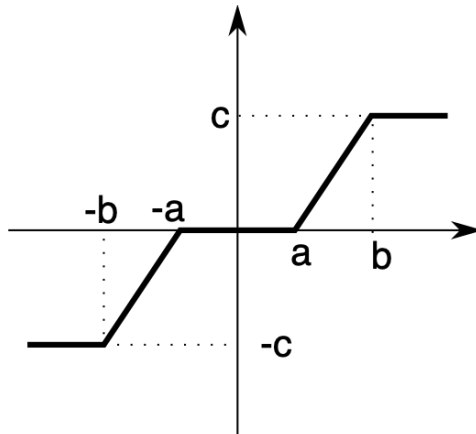
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.6\ddot{y} + 32.09\dot{y} + 127.85y + 100.36y = 366\dot{u} + 732u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + y = u.$$

Вариант №89

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, b = 3.5, c = 150.$$

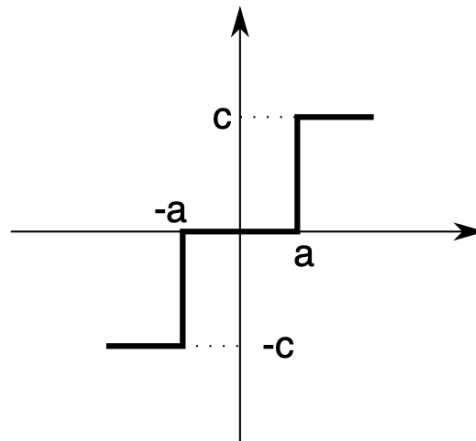
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.8\ddot{y} + 17.81\ddot{y} + 31.25\dot{y} + 19.24y = 214\dot{u} + 1498u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + y = u.$$

Вариант №90

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, b = 4.5, c = 250.$$

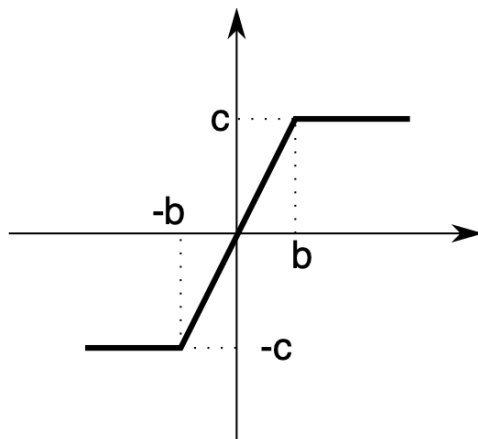
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\ddot{y} + 22.49\ddot{y} + 66.76\dot{y} + 64.36y = 189\dot{u} + 945u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №91

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.1, \quad b = 3.5, \quad c = 150.$$

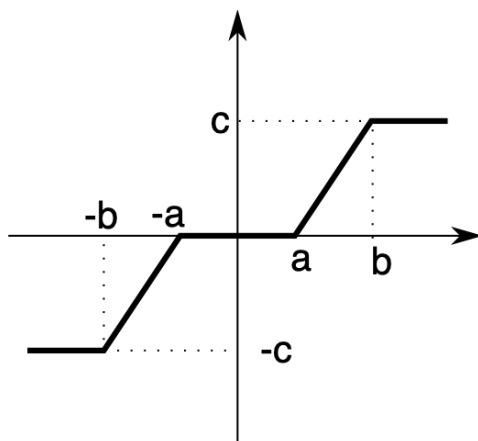
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.8\ddot{y} + 26.76\dot{y} + 73.72y = 467\dot{u} + 934u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = u.$$

Вариант №92

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 3.5, \quad c = 200.$$

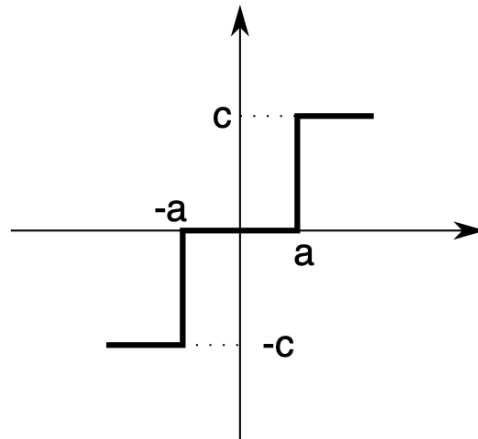
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.8\ddot{y} + 14.41\dot{y} + 21.42y = 125\dot{u} + 500u,$$

$$W_2(s) : 4\dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №93

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, b = 4.5, c = 250.$$

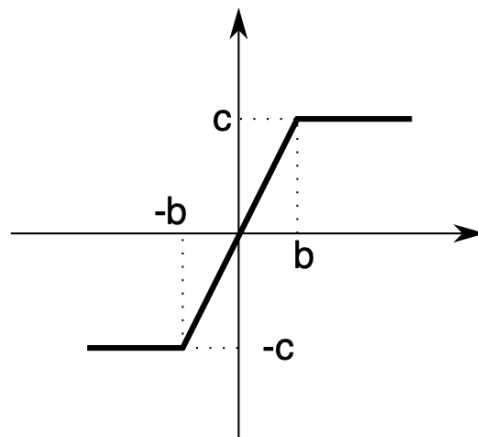
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 7.8\ddot{y} + 35.61\dot{y} + 115.26y = 168\dot{u} + 840u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №94

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, b = 4, c = 150.$$

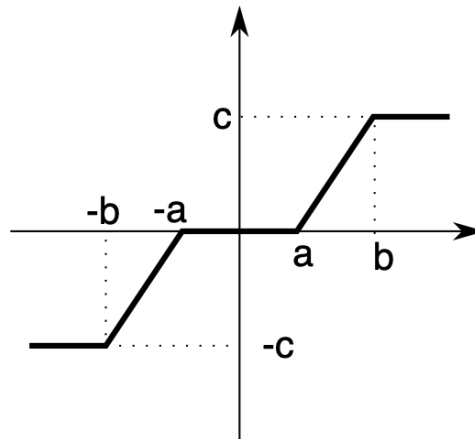
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.4\ddot{y} + 17.04\dot{y} + 47.6\dot{y} + 54.24y = 155\dot{u} + 310u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + y = 2u.$$

Вариант №95

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.35, b = 3, c = 250.$$

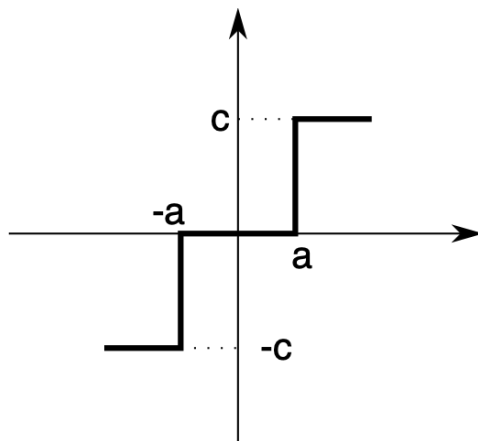
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.6\ddot{y} + 43.09\dot{y} + 182.85\dot{y} + 144.36y = 142\dot{u} + 1278u,$$

$$W_2(s) : \dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №96

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.25, \quad b = 3.5, \quad c = 150.$$

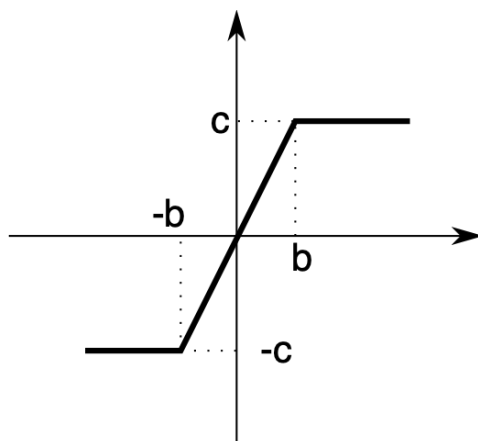
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.6\ddot{y} + 75.04\ddot{y} + 264.96\dot{y} + 258.56y = 166\dot{u} + 830u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = 2u.$$

Вариант №97

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 4, \quad c = 200.$$

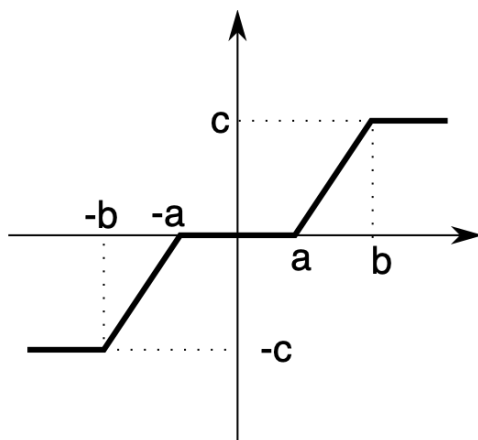
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 5.2\ddot{y} + 44.16\ddot{y} + 149.04\dot{y} + 109.08y = 195\dot{u} + 975u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 4y = u.$$

Вариант №98

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.3, b = 4.5, c = 200.$$

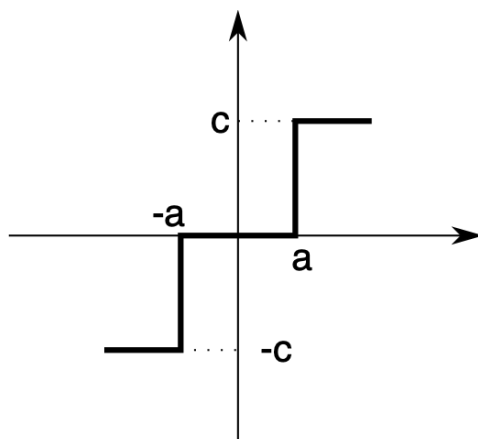
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 4.6\dot{y} + 16.44\ddot{y} + 32.12\dot{y} + 19.28y = 152\dot{u} + 1064u,$$

$$W_2(s) : 3\dot{y} + 2y = 3u.$$

Вариант №99

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.45, \quad b = 3.5, \quad c = 200.$$

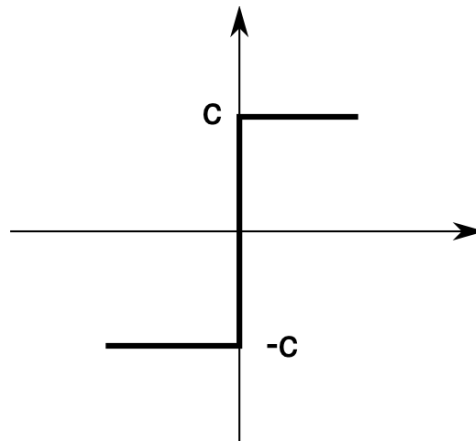
Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 3.8\ddot{y} + 53.56\ddot{y} + 149.08\dot{y} + 98.32y = 376\dot{u} + 2256u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = u.$$

Вариант №100

График функции нелинейного элемента:



Параметры нелинейного элемента:

$$a = 0.4, \quad b = 3.5, \quad c = 200.$$

Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 37.36\ddot{y} + 134\dot{y} + 152.16y = 124\dot{u} + 372u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = 2u.$$

Список литературы

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. -312 с.
2. Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления: Учеб. пособ - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.-616с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 440 с.
4. Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. Численные методы - 5-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 636с.
5. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. - 496 с.

Приложение А

Пример выполнения контрольной работы

В данном приложении приводится пример выполнения контрольной работы. В процессе написания примера контрольной работы для проведения всех вычислений использовался математический пакет Matlab. Скрипты для проведения вычислений приводятся лишь частично так как их написание считается частью самостоятельной работы студента.

Донской государственный технический университет
факультет «Автоматизация, мехатроника и управление»

Заочная форма обучения

=====

Студент _____ Адрес _____

_____ группа _____ Шифр _____

(номер зачетной книжки)

Контрольная работа №1

по дисциплине «Теория колебаний»

за _____ курс

Содержание

1	Выбор задания	3
2	Получение передаточных функций звеньев	4
3	Гармоническая линеаризация	4
4	Определение параметров автоколебаний	5
5	Определение выходной амплитуды колебаний	9
6	Проведение численного моделирования	9
	Заключение	12

					15.03.04.10000000.000 КР					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Контрольная работа по дисциплине «Теория колебаний»			Лит.	Лист	Листов
Разраб.								У	2	12
Пров.	Чувейко							ДГТУ каф. АПП		
Н. контр.										
Утв.										

1 Выбор задания

В соответствии с двумя последними цифрами зачетки $N = 100$ выбираем индивидуальное задание для контрольной работы. На рис. 1 представлена исходная структурная схема динамической системы.

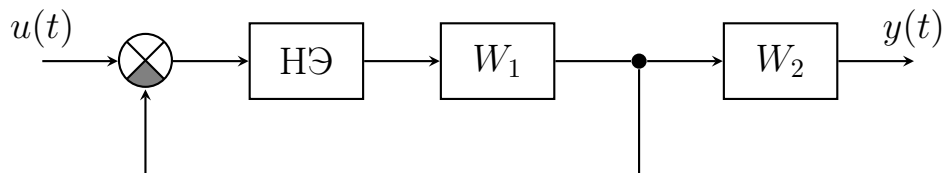


Рисунок 1 – Исходная структурная схема

На рис. 2 представлен график функции нелинейного элемента. Параметры нелинейного элемента приведены ниже:

$$a = 0.4, b = 3.5, c = 200.$$

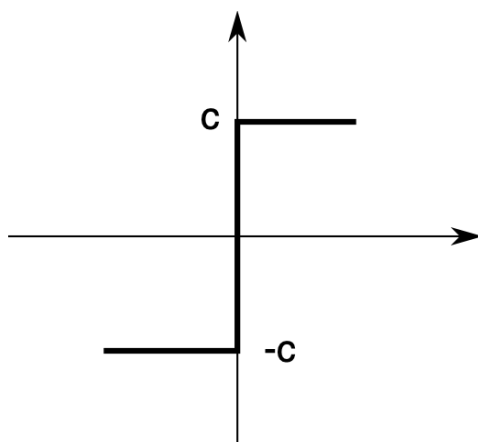


Рисунок 2 – График функции нелинейного элемента

Линейные динамические звенья:

$$W_1(s) : \ddot{y} + 6.2\ddot{y} + 37.36\ddot{y} + 134\dot{y} + 152.16y = 124\dot{u} + 372u,$$

$$W_2(s) : 2\dot{y} + 2y = 2u.$$

2 Получение передаточных функций звеньев

Получим передаточную функцию первого динамического звена. Для этого осуществим преобразование Лапласа исходного дифференциального уравнения:

$$s^4 Y(s) + 6.2s^3 Y(s) + 37.36s^2 Y(s) + 134s Y(s) + 152.16 Y(s) = 124s U(s) + 372 U(s)$$

Отсюда несложно получить передаточную функцию первого звена:

$$W_1(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{124s + 372}{s^4 + 6.2s^3 + 37.36s^2 + 134s + 152.16}.$$

По аналогии получим передаточную функцию для второго динамического звена. Преобразование Лапласа:

$$2sY(s) + 2Y(s) = 2U(s)$$

Передаточная функция второго звена:

$$W_2(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2}{2s + 2}.$$

3 Гармоническая линеаризация

Произведем гармоническую линеаризацию кусочно-линейного элемента f с насыщением. Для этого необходимо определить передаточную функцию нелинейного элемента:

$$W_n(A, s) = q_1(A) + \frac{q_2(A)}{\omega} s,$$

где:

$$q_1(A) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \psi) \sin \psi d\psi,$$
$$q_2(A) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \psi) \cos \psi d\psi.$$

					15.03.04.10000000.000 КР	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

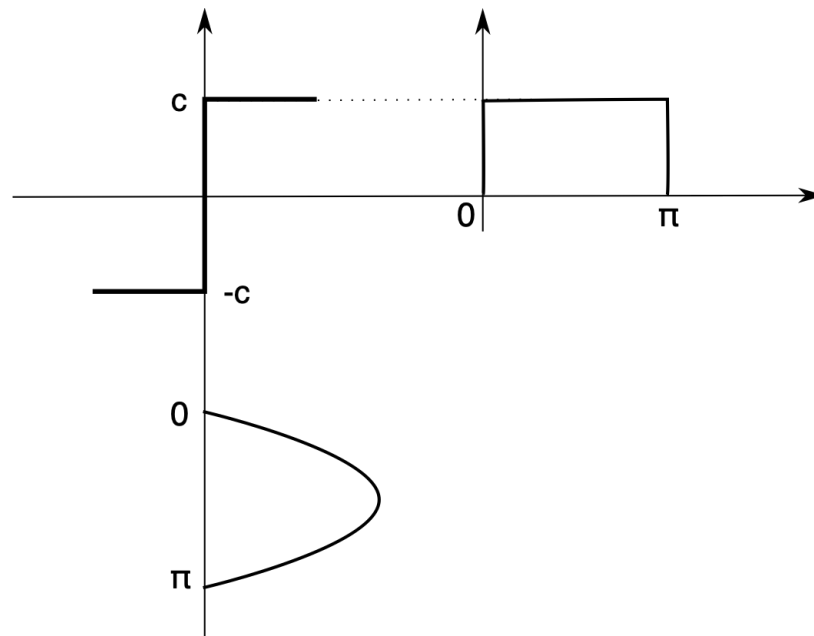


Рисунок 3 – Гармоническая линеаризация

Так как функция f нечетная то имеет место:

$$q_2(A) = 0.$$

Используя рисунок 3 получим:

$$\begin{aligned} q_1(A) &= \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} f(A \sin \psi) \sin \psi d\psi = \frac{2}{\pi A} \int_0^{\pi} c \sin \psi d\psi = \\ &= \frac{2c}{\pi A} (-\cos \psi) \Big|_0^{\pi}. \end{aligned}$$

Подставляя пределы интегрирования находим конечное выражение:

$$q_1(A) = \frac{4c}{\pi A}.$$

4 Определение параметров автоколебаний

Для установления параметров автоколебаний будем использовать графический частотный метод. Для этого необходимо произвести построение двух го-

дографов: $W_1(j\omega)$ и $-1/W_n$. Как было установлено ранее:

$$W_1(s) = \frac{124s + 372}{s^4 + 6.2s^3 + 37.36s^2 + 134s + 152.16},$$

$$W_n = \frac{4c}{\pi A}.$$

Так как $-1/W_n(A)$ не имеет мнимой составляющей, то его годограф будет расположен на реальной оси. Следовательно для нахождения токи пересечения двух годографов достаточно найти пересечения годографа $W_1(j\omega)$ с реальной осью. Пересечение легко увидеть на графиках ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Для построения ЛАЧХ и ЛФЧХ будем использовать программный пакет Matlab. Ниже приведен листинг программы:

```
W1=tf([124, 372], [1, 6.2, 37.36, 134, 152.16])
close
bode(W1);
set(findall(gcf,'type','line'),'linewidth',1.5)
set(findall(gcf,'type','line'),'color','k')
grid on
```

Результат выполнения программы приведен на рис. 4. По графику можно установить, что ЛФЧХ пересекает уровень $-\pi$ на частоте 5.29 рад/с. При этом ЛАЧХ имеет значение 10.1дБ. С учетом значений ЛАЧХ и ЛФЧХ на данной частоте найдем величину вещественной составляющей частотной передаточной функции $W_1(j\omega)$:

$$\Re(W_1(j\omega)) = -10^{10.1/20} = -3.1824.$$

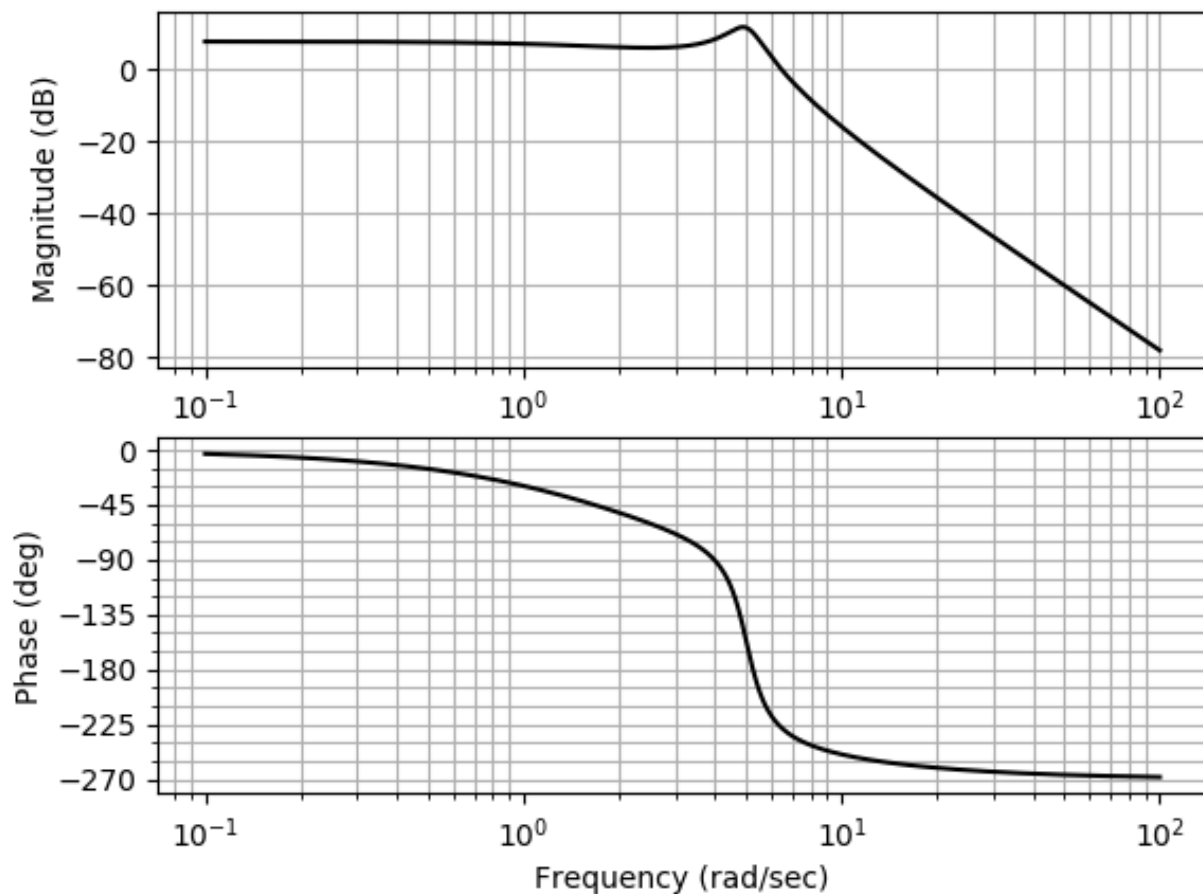


Рисунок 4 – ЛФЧХ передаточной функции W_1

Для построения графика $-1/W_n(A)$ будем использовать программный пакет Matlab. Ниже приведен листинг программы:

```
a = 0.4;
b = 3.5;
c = 200;
A = linspace(688.84,931.96,1000);
K = -1./(4*c./(pi*A));
plot(A, K, 'linewidth', 1.5, 'color', 'k')
xlabel('A')
ylabel('-1/W_n(A)')
grid on
```

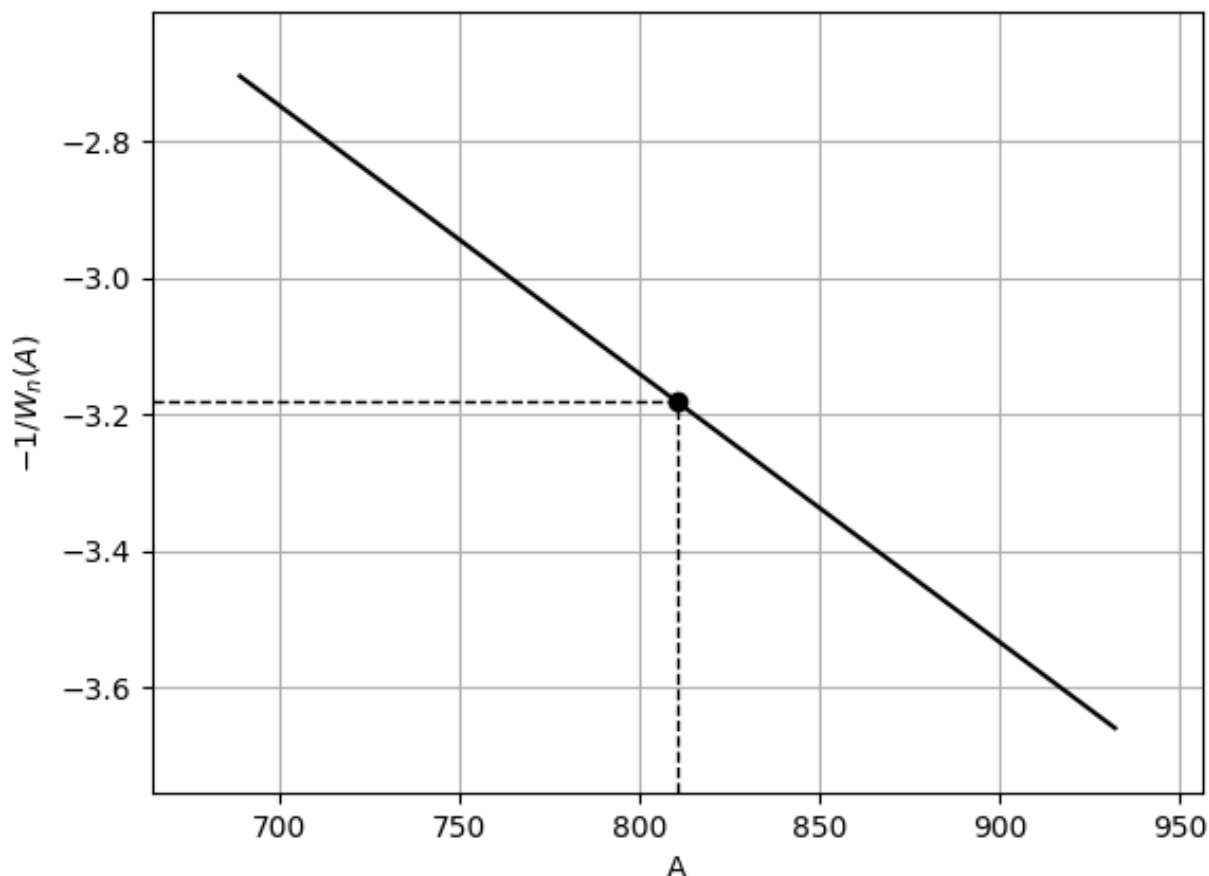


Рисунок 5 – График функции $-1/W_n(A)$

Из графика видно что $-1/W_n(A)$ принимает значение -3.1824 при амплитуде $A \approx 810.4$. Таким образом параметры автоколебаний будут:

$$\omega \approx 5.29 \text{ рад/с}, \quad A \approx 810.4.$$

По графику видно, что с увеличением амплитуды величина $-1/W_n(A)$ уменьшается, следовательно точка $-1/W_n(A + \Delta A)$ окажется левее годографа $W_1(j\omega)$. Исходя из критерия Гольдфарба автоколебания являются орбитально устойчивыми.

5 Определение выходной амплитуды колебаний

Так как возникшие автоколебания подаются на выход системы через линейное динамическое звено $W_2(s)$, амплитуда этих колебаний в установившемся режиме будет отличаться от определенной ранее величины. Определим амплитуду выходных колебаний. Для этого найдем значение функции АЧХ для $W_2(s)$ в точке $\omega = 5.29$. Для этого воспользуемся частотной передаточной функцией:

$$W_2(j\omega) = \frac{2}{2(j\omega) + 2}.$$

Её значение на частоте автоколебаний:

$$W_2(j5.29) = (0.034461) + j(-0.18241)$$

Отсюда коэффициент усиления динамического звена:

$$\begin{aligned} K_2(j\omega) &= \sqrt{\Re(W_2(j\omega))^2 + \Im(W_2(j\omega))^2} = \\ &= \sqrt{(0.034461)^2 + (-0.18241)^2} = 0.18564. \end{aligned}$$

Тогда параметры колебаний на выходе системы будут иметь следующие значения:

$$\omega \approx 5.29 \text{ рад/с}, \quad A \approx 810.4 \cdot 0.18564 = 150.44.$$

6 Проведение численного моделирования

Для проведения численного моделирования был использован математический пакет Simulink. Ниже на рис. 6 приведена построенная математическая модель.

					15.03.04.10000000.000 КР	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

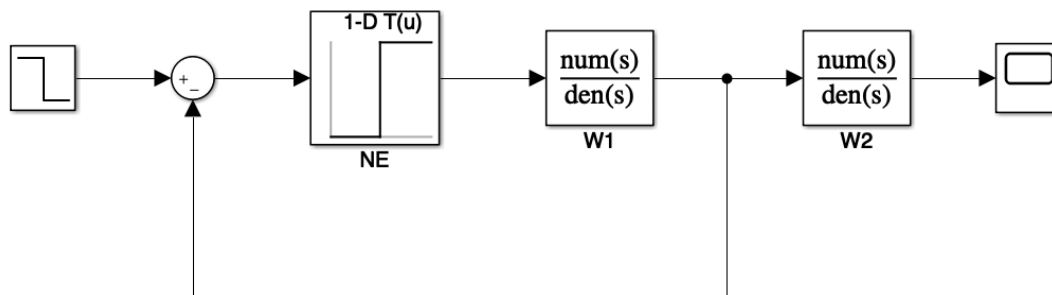


Рисунок 6 – Математическая модель в пакете Simulink

Результаты численного моделирования построенной модели приведены на рис. 7. На рис. 8 приведены два последовательно-идущих амплитудных отклонения.

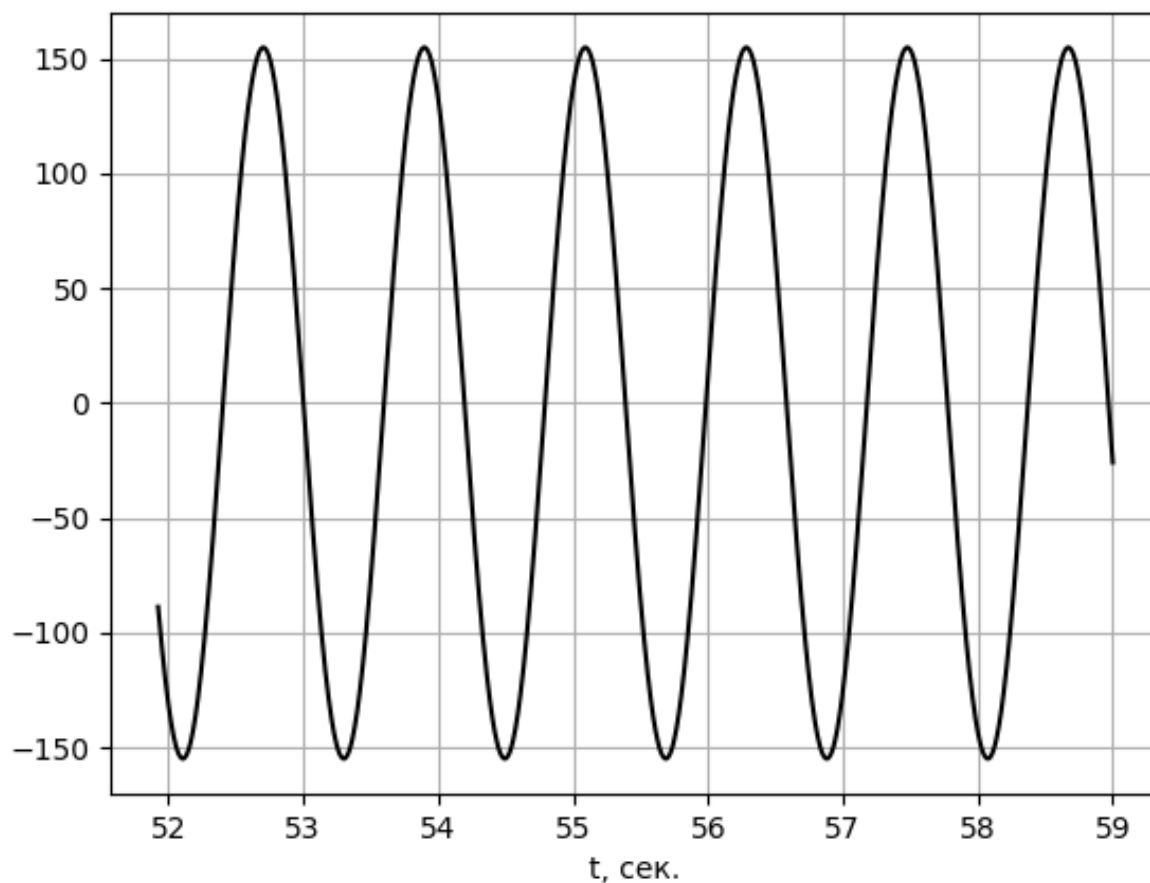
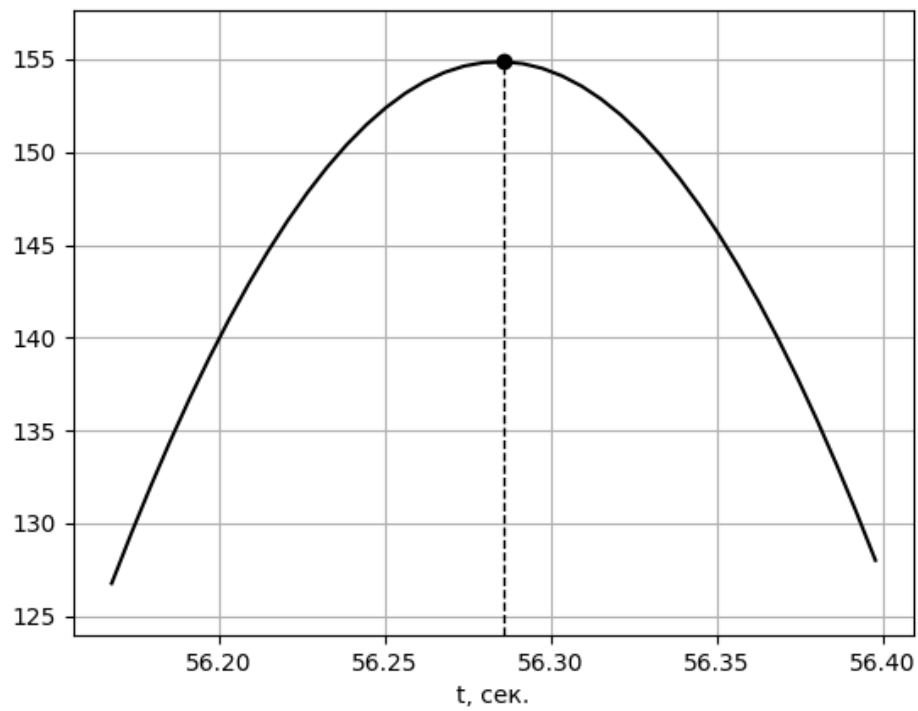
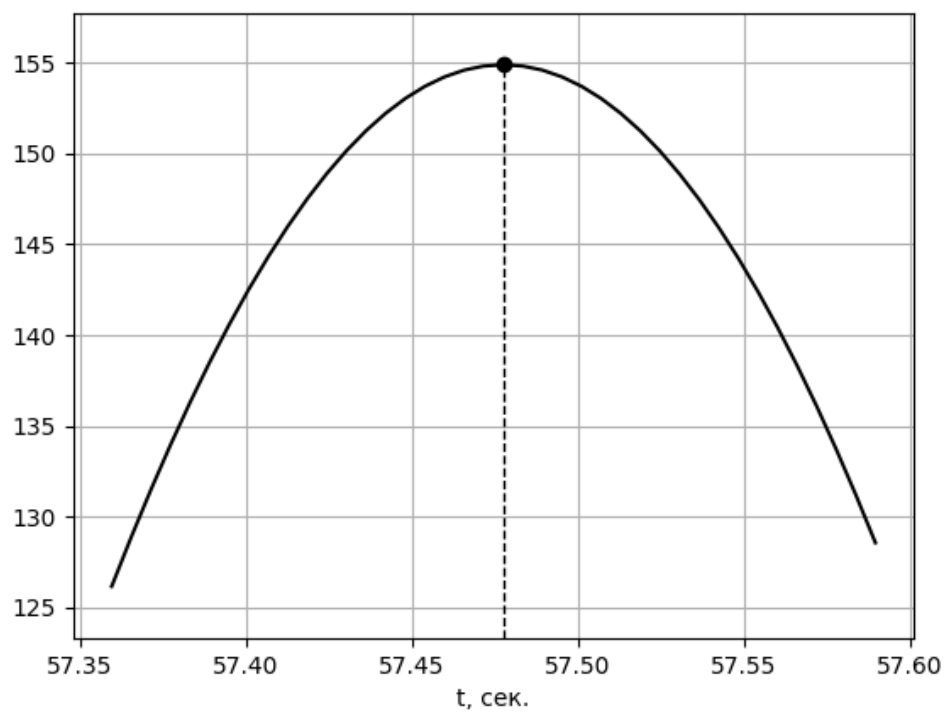


Рисунок 7 – Результат моделирования



а)



б)

Рисунок 8 – Результат моделирования: а - первое амплитудное отклонение, б - второе амплитудное отклонение

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

15.03.04.10000000.000 КР

Лист

11

Измерения позволили установить фактическую амплитуду колебаний равную $A_{\text{ф}} \approx 154.87$. А также период колебаний равный:

$$T_{\text{ф}} = 56.3 - 57.5 = 1.19 \text{ с.}$$

Следовательно фактическая угловая частота:

$$\omega_{\text{ф}} = \frac{2\pi}{T_{\text{ф}}} = 5.27 \text{ рад/с.}$$

Заключение

В ходе выполнения работы была произведена гармоническая линеаризация системы. По результатам линеаризации были получены параметры устойчивых автоколебаний на выходе системы:

$$\omega = 5.29 \text{ рад/с,} \quad A = 150.44.$$

Также в процессе выполнения работы было произведено численное моделирование исходной динамической системы, позволившее установить фактические параметры автоколебаний системы:

$$\omega_{\text{ф}} \approx 5.27 \text{ рад/с,} \quad A_{\text{ф}} \approx 154.87.$$

Относительная погрешность аналитических вычислений составила:

– для частоты: $\delta_{\omega} = 100 \frac{|\omega - \omega_{\text{ф}}|}{\omega_{\text{ф}}} = 0.413\%$

– для амплитуды: $\delta_A = 100 \frac{|A - A_{\text{ф}}|}{A_{\text{ф}}} = 2.86\%$

					15.03.04.10000000.000 КР	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		12