

**Примечание:** Блоками элементарных операций в рамках данной лабораторной работы в частности и курса в целом называется набор из трех функциональных блоков: "интегратора" (блока интегрирования), "сумматора" (блока суммирования) и "усилятеля"/"гейна" (блока усиления).

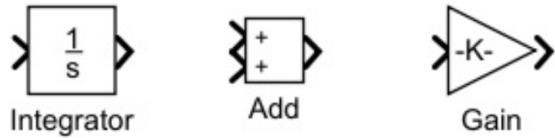


Рис. 1: Пример внешнего вида блоков элементарных операций в программной среде MATLAB/Simulink (слева направо): интегратор, сумматор, усилитель

### Задание 1. Одноканальная система в форме вход-выход

Взять коэффициенты  $a_2, a_1, a_0, b_2, b_1$  и  $b_0$  из **Таблицы 1** в соответствии с вашим вариантом и рассмотреть математическую модель в форме дифференциального уравнения (ДУ)

$$\ddot{y} + a_2\dot{y} + a_1y + a_0y = b_2\ddot{u} + b_1\dot{u} + b_0u.$$

На основании полученного ДУ с использованием *блоков элементарных операций* построить структурную схему одноканальной линейной динамической системы.

Выполнить моделирование при входном воздействии вида  $u(t) = 1$  и нулевых начальных условиях  $\dot{y}(0), \dot{y}(0), y(0)$ .

*Ожидаемые результаты:*

- Математическая модель системы (ДУ).
- Структурная схема системы.
- Графики  $u(t)$  и  $y(t)$ .

**Задание 2. Переход от формы вход-выход к форме вход-состояние-выход**

Для системы из **Задания 1** определить передаточную функцию  $W(p)$  (ПФ) и построить математические модели вход-состояние-выход (В-С-В) в

- канонической управляемой форме;
- канонической наблюдаемой форме;
- канонической диагональной форме.

Для каждой из полученных моделей В-С-В построить структурные схемы с использованием блоков элементарных операций. На структурных схемах должны быть явно обозначены каналы, соответствующие компонентам векторов состояния  $x$ .

Выполнить моделирование четырех полученных форм (ПФ и трех форм В-С-В) представления системы при входном воздействии  $u(t) = 1$  и нулевых начальных условиях. Сопоставить результаты моделирования и сделать выводы.

***Ожидаемые результаты:***

- Математические модели системы (ПФ и представления В-С-В).
- Структурные схемы системы для представлений В-С-В.
- График входа  $u(t)$ .
- Графики выходов  $y(t)$  разных форм представления системы, их сравнение. Для наглядного сравнения полученные графики стоит размещать на одном рисунке на одной координатной плоскости.
- Выводы.

---

**Задание 3. Многоканальная система в форме вход-выход**

Взять коэффициенты  $a_{11}(p), a_{12}(p), a_{21}(p), a_{22}(p), b_{11}(p), b_{12}(p), b_{21}(p)$  и  $b_{22}(p)$  из **Таблицы 2** в соответствии с вашим вариантом и рассмотреть систему

$$A(p)y(t) = B(p)u(t),$$

где

$$A(p) = \begin{bmatrix} a_{11}(p) & a_{12}(p) \\ a_{21}(p) & a_{22}(p) \end{bmatrix}, \quad B(p) = \begin{bmatrix} b_{11}(p) & b_{12}(p) \\ b_{21}(p) & b_{22}(p) \end{bmatrix}.$$

Определить для данной системы передаточную матрицу  $W(p)$  (ПМ) и построить структурную схему двухканальной линейной динамической системы.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>При построении структурной схемы в данном задании приемлемо отводить каждой передаточной функции отдельный блок, не дробя на блоки элементарных операций.

Выполнить моделирование при входных воздействиях  $u_1(t) = 1(t)$  и  $u_2(t) = \sin(t)$  и нулевых начальных условиях.

**Ожидаемые результаты:**

- Математическая модель системы (ПМ).
- Структурная схема системы.
- Графики входов  $u(t)$ .
- Графики выходов  $y(t)$ .

---

**Задание 4. Многоканальная система в форме вход-состояние-выход**

Взять матрицы  $A$ ,  $B$  и  $C$  из **Таблицы 3** в соответствии с вашим вариантом и рассмотреть систему

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, \\ y = Cx. \end{cases}$$

Построить для данной системы структурную схему с использованием *блоков элементарных операций*. На структурной схеме должны быть явно обозначены каналы, соответствующие компонентам вектора состояния  $x$ .

Выполнить моделирование при входных воздействиях  $u_1(t) = 1(t)$  и  $u_2(t) = \sin(t)$  и нулевом начальном значении вектора состояния.

**Ожидаемые результаты:**

- Математическая модель системы (B-C-B).
- Структурная схема системы.
- Графики входов  $u(t)$ .
- Графики выходов  $y(t)$ .

**Контрольные вопросы для подготовки к защите:**

1. Что такое линейная динамическая система?
2. Какие виды математических моделей линейных динамических систем вы знаете?
3. Что такое передаточная функция?
4. Любая ли передаточная функция физически реализуема?
5. Однозначны ли представления  $B-B$ ?  $B-C-B$ ?
6. Что показывает каждая из матриц в форме представления  $B-C-B$ ?
7. Что такое вектор состояния системы?
8. Для каких систем в представлении  $B-C-B$  матрица  $D$  не нулевая?
9. Какие основные виды соединения блоков (звеньев/компонентов/подсистем/...) вы знаете?

Таблица 1: Исходные данные для Заданий 1 и 2

Вариант	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$b_2$	$b_1$	$b_0$	Вариант	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$b_2$	$b_1$	$b_0$
1	9	26	24	2	4	4	16	9	23	15	36	4	8
2	6	11	6	6	4	16	17	8	19	12	12	24	42
3	8	19	12	24	27	9	18	6	11	6	2	12	8
4	10	31	30	21	12	15	19	9	26	24	14	18	18
5	8	19	12	24	30	12	20	7	14	8	24	6	12
6	10	31	30	36	21	21	21	6	11	6	6	5	5
7	8	19	12	12	2	8	22	7	14	8	30	48	6
8	9	26	24	2	6	8	23	6	11	6	5	1	4
9	7	14	8	12	36	18	24	8	17	10	18	12	6
10	8	19	12	3	4	9	25	6	11	6	2	3	7
11	6	11	6	8	1	5	26	7	14	8	6	12	30
12	7	14	8	14	16	2	27	9	23	15	14	6	16
13	8	19	12	72	36	42	28	7	14	8	8	6	4
14	9	26	24	4	3	8	29	8	17	10	16	8	12
15	9	26	24	2	7	4	30	9	26	24	12	2	6

Таблица 2: Исходные данные для Задания 3

Вариант	$a_{11}(p)$	$a_{12}(p)$	$a_{21}(p)$	$a_{22}(p)$	$b_{11}(p)$	$b_{12}(p)$	$b_{21}(p)$	$b_{22}(p)$
1	$p + 12$	$p + 3$	$p + 6$	$p + 2$	4	4	6	5
2	$p + 14$	$p + 2$	$p + 7$	$p + 3$	2	8	9	4
3	$p + 16$	$p + 7$	$p + 3$	$p + 8$	9	3	1	8
4	$p + 13$	$p + 5$	$p + 3$	$p + 7$	4	5	3	1
5	$p + 17$	$p + 8$	$p + 1$	$p + 4$	5	2	2	9
6	$p + 19$	$p + 3$	$p + 6$	$p + 2$	7	7	5	6
7	$p + 18$	$p + 1$	$p + 2$	$p + 6$	1	4	7	4
8	$p + 17$	$p + 5$	$p + 4$	$p + 2$	6	8	4	3
9	$p + 18$	$p + 1$	$p + 2$	$p + 6$	1	4	7	4
10	$p + 17$	$p + 5$	$p + 4$	$p + 2$	6	8	4	3
11	$p + 12$	$p + 2$	$p + 6$	$p + 2$	4	4	6	5
12	$p + 14$	$p + 2$	$p + 7$	$p + 3$	2	8	9	4
13	$p + 16$	$p + 7$	$p + 3$	$p + 8$	9	3	1	8
14	$p + 13$	$p + 5$	$p + 3$	$p + 7$	4	5	3	1
15	$p + 17$	$p + 1$	$p + 5$	$p + 4$	5	2	2	9
16	$p + 19$	$p + 3$	$p + 6$	$p + 2$	7	7	5	6
17	$p + 11$	$p + 2$	$p + 2$	$p + 6$	9	8	1	8
18	$p + 14$	$p + 3$	$p + 4$	$p + 2$	4	6	7	6
19	$p + 17$	$p + 5$	$p + 2$	$p + 6$	3	7	3	9
20	$p + 14$	$p + 6$	$p + 4$	$p + 2$	7	4	2	7
21	$p + 13$	$p + 4$	$p + 6$	$p + 2$	3	3	8	3
22	$p + 12$	$p + 8$	$p + 7$	$p + 4$	9	5	4	1
23	$p + 11$	$p + 5$	$p + 3$	$p + 8$	1	4	2	5
24	$p + 18$	$p + 2$	$p + 3$	$p + 7$	4	8	7	4
25	$p + 19$	$p + 5$	$p + 5$	$p + 4$	8	6	4	9
26	$p + 16$	$p + 3$	$p + 6$	$p + 2$	2	3	3	8
27	$p + 15$	$p + 4$	$p + 2$	$p + 6$	6	6	4	3
28	$p + 12$	$p + 7$	$p + 4$	$p + 2$	2	5	1	5
29	$p + 13$	$p + 2$	$p + 2$	$p + 6$	4	3	3	6
30	$p + 15$	$p + 3$	$p + 4$	$p + 2$	7	4	7	1

Таблица 3: Исходные данные для Задания 4

Вариант	$A$	$B$	$C$	Вариант	$A$	$B$	$C$
1	$\begin{bmatrix} 0 & -5 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & 3 \\ 1 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 3 \\ 3 & 6 \end{bmatrix}$	16	$\begin{bmatrix} 0 & -6 \\ 1 & -4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 9 \\ 3 & 2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 2 & 7 \end{bmatrix}$
2	$\begin{bmatrix} 0 & -2 \\ 1 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$	17	$\begin{bmatrix} 0 & -9 \\ 1 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 9 & 5 \\ 2 & 11 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 6 \\ 3 & 8 \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 5 & 7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 7 \\ 1 & 4 \end{bmatrix}$	18	$\begin{bmatrix} 0 & -8 \\ 1 & -6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 1 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8 & 2 \\ 7 & 3 \end{bmatrix}$
4	$\begin{bmatrix} 0 & -4 \\ 1 & -6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 7 & 1 \\ 4 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 5 \\ 6 & 7 \end{bmatrix}$	19	$\begin{bmatrix} 0 & -7 \\ 1 & -9 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 7 \\ 1 & 4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 6 & 1 \end{bmatrix}$
5	$\begin{bmatrix} 0 & -2 \\ 1 & -7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 5 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 6 & 7 \end{bmatrix}$	20	$\begin{bmatrix} 0 & -3 \\ 1 & -4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 8 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$
6	$\begin{bmatrix} 0 & -9 \\ 1 & -6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 7 \\ 4 & 6 \end{bmatrix}$	21	$\begin{bmatrix} 0 & -7 \\ 1 & -6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 3 \\ 12 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 8 \\ 9 & 1 \end{bmatrix}$
7	$\begin{bmatrix} 0 & -5 \\ 1 & -9 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 5 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 4 & 7 \end{bmatrix}$	22	$\begin{bmatrix} 0 & -4 \\ 1 & -8 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & 5 \\ 2 & 7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 9 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
8	$\begin{bmatrix} 0 & -2 \\ 1 & -7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 2 & 7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 7 \\ 4 & 6 \end{bmatrix}$	23	$\begin{bmatrix} 0 & -5 \\ 1 & -8 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & 3 \\ 6 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 \\ 0 & 7 \end{bmatrix}$
9	$\begin{bmatrix} 0 & -8 \\ 1 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8 & 6 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$	24	$\begin{bmatrix} 0 & -2 \\ 1 & -5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 4 \\ 3 & 3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 3 \\ 7 & 4 \end{bmatrix}$
10	$\begin{bmatrix} 0 & -2 \\ 1 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 8 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 7 & 4 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	25	$\begin{bmatrix} 0 & -3 \\ 1 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 6 \\ 7 & 8 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 & 3 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}$
11	$\begin{bmatrix} 0 & -3 \\ 1 & -7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 7 & 6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 9 & 4 \\ 4 & 1 \end{bmatrix}$	26	$\begin{bmatrix} 0 & -2 \\ 1 & -5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 4 \\ 8 & 5 \end{bmatrix}$
12	$\begin{bmatrix} 0 & -5 \\ 1 & -5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 1 \\ 6 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 7 & 2 \end{bmatrix}$	27	$\begin{bmatrix} 0 & -7 \\ 1 & -3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 9 & 3 \\ 4 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & 6 \\ 5 & 1 \end{bmatrix}$
13	$\begin{bmatrix} 0 & -4 \\ 1 & -5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 4 \\ 6 & 7 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8 & 5 \\ 1 & 8 \end{bmatrix}$	28	$\begin{bmatrix} 0 & -3 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & 4 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 8 & 6 \end{bmatrix}$
14	$\begin{bmatrix} 0 & -6 \\ 1 & -6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 7 & 9 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 8 \\ 2 & 1 \end{bmatrix}$	29	$\begin{bmatrix} 0 & -4 \\ 1 & -5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 4 & 6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 7 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}$
15	$\begin{bmatrix} 0 & -8 \\ 1 & -9 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 & 6 \\ 4 & 2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 8 & 7 \\ 1 & 3 \end{bmatrix}$	30	$\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & -5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 7 & 2 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 9 & 2 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}$