

Выделяя в главном определителе Гурвица диагональные миноры, получаем вспомогательные определители Гурвица Δ_{n-1} , Δ_{n-2} и т.д.

$$\Delta_{n-1} = |a_{n-1}|; \Delta_{n-2} = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} \\ a_n & a_{n-2} \end{vmatrix}; \Delta_{n-3} = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} \end{vmatrix}.$$

Формулировка критерия: чтобы САУ была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы определитель Гурвица и его диагональные миноры были положительными.

Практически после проверки знака всех коэффициентов характеристического уравнения составляют определители, начиная с наименьшего. Если он меньше 0, проверяют знак следующего и т.д. Если какой-либо из определителей меньше 0, то дальнейшие вычисления бессмысленны, т.к. система уже неустойчива.

Рассмотрим критерий в общем виде для систем некоторых порядков при выполнении необходимого условия (все коэффициенты $a_i > 0$).

Критерий Гурвица для системы первого порядка

Для САУ первого порядка характеристическое уравнение имеет вид

$$a_1 p + a_0 = 0.$$

Определитель Гурвица

$$\Delta = a_0 > 0$$

положителен, поэтому необходимое и достаточное условия устойчивости совпадают.

Критерий Гурвица для системы второго порядка

Для САУ второго порядка характеристическое уравнение имеет вид

$$a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0.$$

Определители Гурвица

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ a_2 & a_0 \end{vmatrix} = a_1 a_0 > 0, \Delta_1 = a_1 > 0$$

всегда положительны при выполнении необходимого условия устойчивости (все параметры положительны).

Критерий Гурвица для системы третьего порядка

Для САУ третьего порядка характеристическое уравнение

$$a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0.$$

Условия устойчивости:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} = a_2 a_1 a_0 - a_3 a_0^2 > 0,$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 a_1 - a_3 a_0 > 0,$$

$$\Delta_2 = a_2 > 0.$$

Графическое представление критерия Гурвица

Способ графической интерпретации критерия Гурвица позволяет наглядно оценить влияние того или иного параметра системы регулирования на устойчивость.

Для выполнения этой задачи:

- 1) выбирают параметр, влияние которого на устойчивость будут исследовать; остальные параметры оставляют неизменными;
- 2) фиксируют значение параметра λ_1 , рассчитывают для него значения определителей $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$;
- 3) берут следующие значения параметра λ_2 и вновь рассчитывают $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$;
- 4) в прямоугольной системе координат строят графики $\Delta_1(\lambda), \Delta_2(\lambda), \dots, \Delta_n(\lambda)$.

Получили семейство кривых, количество которых равно порядку системы. Расположение этих кривых друг относительно друга пока-

зывает допустимые границы изменения исследуемого параметра λ без нарушения устойчивости САУ (рис. 1.1).

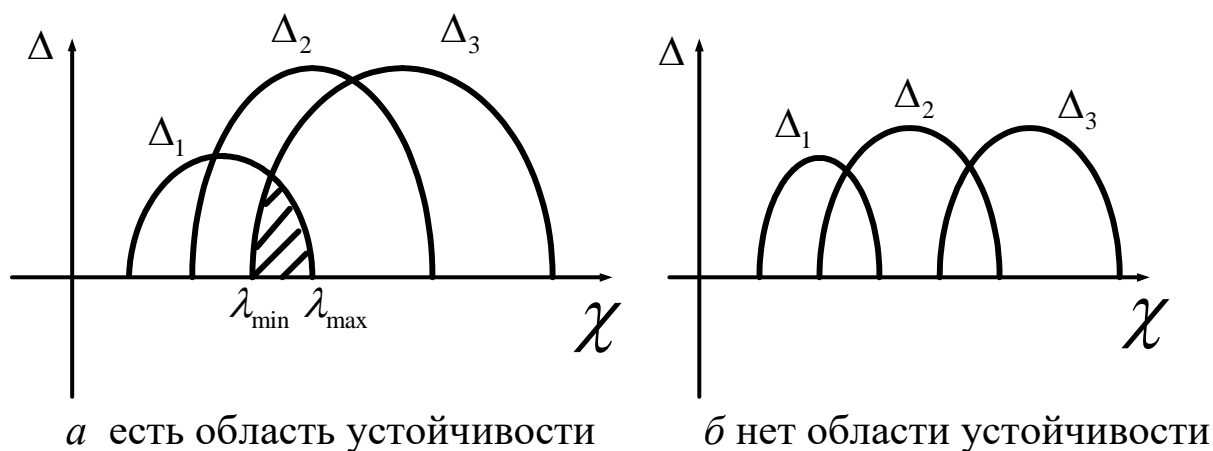


Рис. 1.1. Влияние параметра λ на устойчивость:
 а – САУ устойчива при $\lambda = \lambda_{min} \dots \lambda_{max}$; б – САУ неустойчива.

Областью устойчивости будет пересечение всех площадей ограниченных кривыми $\Delta_1(\lambda)$, $\Delta_2(\lambda)$, ..., $\Delta_n(\lambda)$ и осью абсцисс. Следовательно, отрезок $[\lambda_{min}; \lambda_{max}]$ соответствует диапазону изменения параметра, при котором САУ будет устойчива (рис. 1, а). Если таковой области не обнаруживается, то это означает, что САУ неустойчива при любом значении параметра.

Можно ограничиться поиском отрезков $[\lambda_{min}; \lambda_{max}]$ для каждого $\Delta_i(\lambda)$, т.е. найти $\Delta_i(\lambda) = 0$, а затем, отложив эти отрезки на оси, найти их пересечение.

Пример. САУ состоит из трех последовательно соединенных апериодических звеньев (рис. 1.2). Найти область изменения $k = k_1 k_2 k_3$, при котором замкнутая САУ устойчива. Постоянные времени звеньев равны $T_1 = 1$, $T_2 = 2$, $T_3 = 3$.

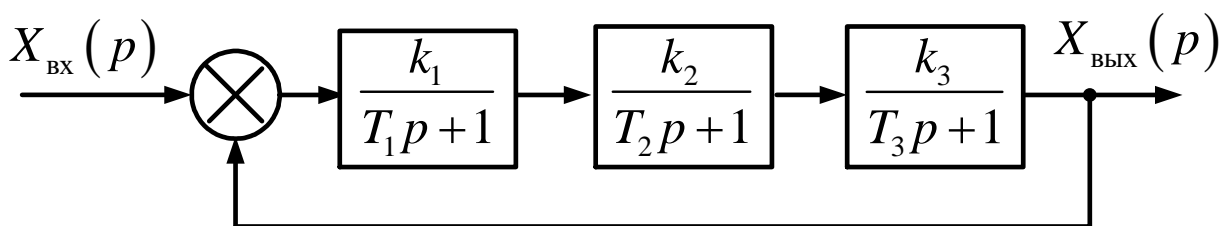


Рис. 1.2. Пример САУ для исследования влияния коэффициента усиления разомкнутой САУ на устойчивость замкнутой САУ

Передаточная функция данной системы

$$W(p) = \frac{k_1 k_2 k_3}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} = \frac{k_1 k_2 k_3}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + k_1 k_2 k_3}.$$

Характеристическое уравнение

$$(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + k = 0.$$
$$T_1 T_2 T_3 p^3 + (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) p^2 + (T_1 + T_2 + T_3) p + (1 + k) = 0.$$

Коэффициенты характеристического уравнения:

$$a_3 = T_1 T_2 T_3 = 1 \cdot 2 \cdot 3 = 6;$$
$$a_2 = T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3 = 1 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 2 \cdot 3 = 11;$$
$$a_1 = T_1 + T_2 + T_3 = 1 + 2 + 3 = 6;$$
$$a_0 = 1 + k.$$

Определители Гурвица

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 & 0 \\ a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} = a_2 a_1 a_0 - a_3 a_0^2 = 0.$$

Подстановка числовых значений

$$11 \cdot 6 \cdot (1 + k) - 6 \cdot (1 + k)^2 = 0,$$

отсюда

$$(1 + k)(66 - 6 - 6k) = 0.$$

Решение полученного уравнения дает два значения:

$$k_{min} = -1, k_{max} = 10.$$

Следовательно, отрезок устойчивости для определителя Δ_3 будет равен $[-1; 10]$.

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ a_3 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 a_1 - a_3 a_0 > 0, \text{ если } a_2 a_1 > a_3 a_0.$$

Подстановка числовых значений

$$11 \cdot 6 > 6 \cdot (1 + k).$$

После упрощения получаем $11 > 1+k$. Следовательно, $k < 10$. Отсюда, для определителя Δ_2 отрезок устойчивости $[-\infty; 10]$.

$\Delta_1 = a_2 = 11 > 0$ независимо от k . Следовательно, отрезок устойчивости для этого определителя составляет $[-\infty, \infty]$.

Пересечение отрезков устойчивости для всех трех определителей Гурвица дает диапазон k от -1 до 10 . Но поскольку физический смысл k - коэффициент усиления, то этот диапазон составляет $[0, 10]$.

Таким образом, замкнутая САУ будет устойчива при коэффициенте усиления разомкнутой САУ, не превышающем 10 .

Задание

Определить, устойчива ли САУ заданной структуры при положительной и отрицательной обратной связи. Варианты задания даны в таблице 1.1. Схемы 1-6 приведены на рис. 1.3-1.8, соответствующие им параметры – в таблицах 1.2-1.7.

Таблица 1.1

Распределение вариантов

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Схема | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Вариант параметров схемы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| № | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Схема | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Вариант параметров схемы | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| № | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| Схема | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Вариант параметров схемы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| № | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 |
| Схема | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Вариант параметров | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| схемы | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

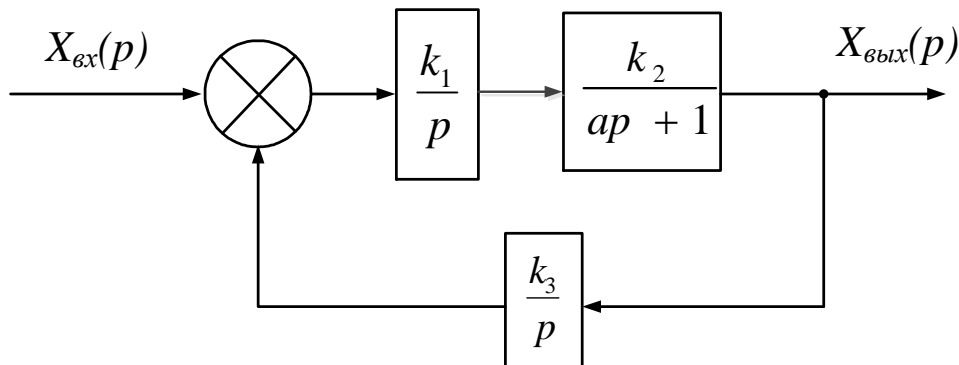


Рис. 1.3. Структурная схема 1

Таблица 1.2

Исходные данные к схеме 1

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| a | 0,05 | 3 | 0,85 | 5 | 0,25 | 0,06 | 4 | 0,35 | 0,65 | 0,07 |

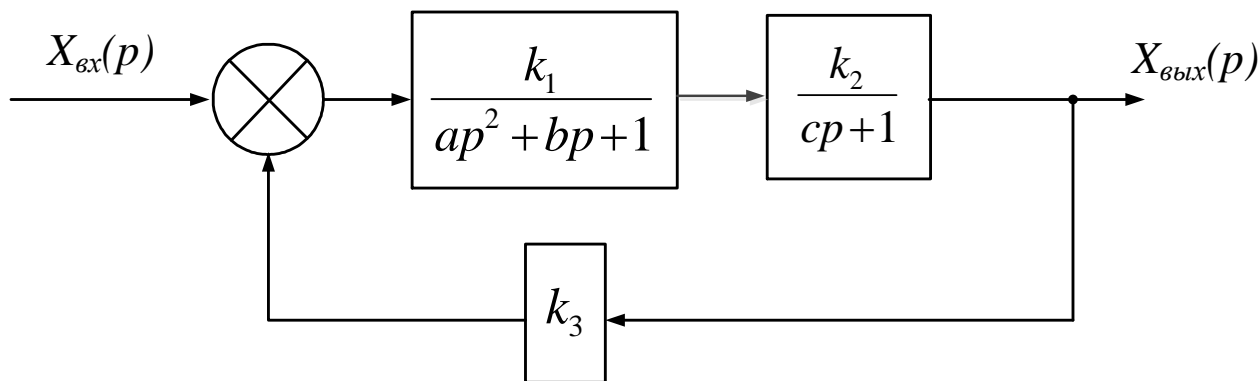


Рис. 1.4. Структурная схема 2

Таблица 1.3

Исходные данные к схеме 2

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| a | 0,05 | 3 | 0,85 | 5 | 0,25 | 0,6 | 4 | 0,35 | 0,65 | 0,07 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|----|------|------|-----|-----|-----|
| b | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 2,5 | 0,5 |
| c | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |

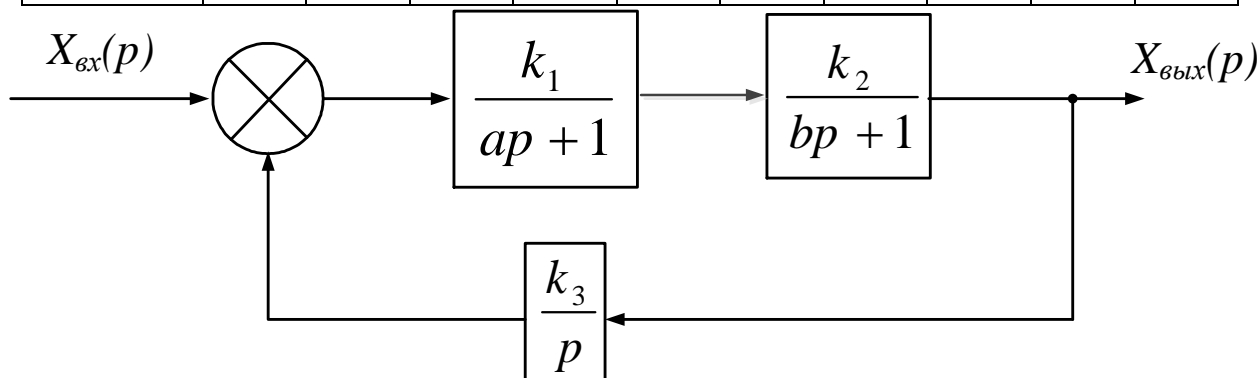


Рис. 1.5. Структурная схема 3

Таблица 1.4

Исходные данные к схеме 3

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 2 | 6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 3 | 4 | 5 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| a | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |
| b | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

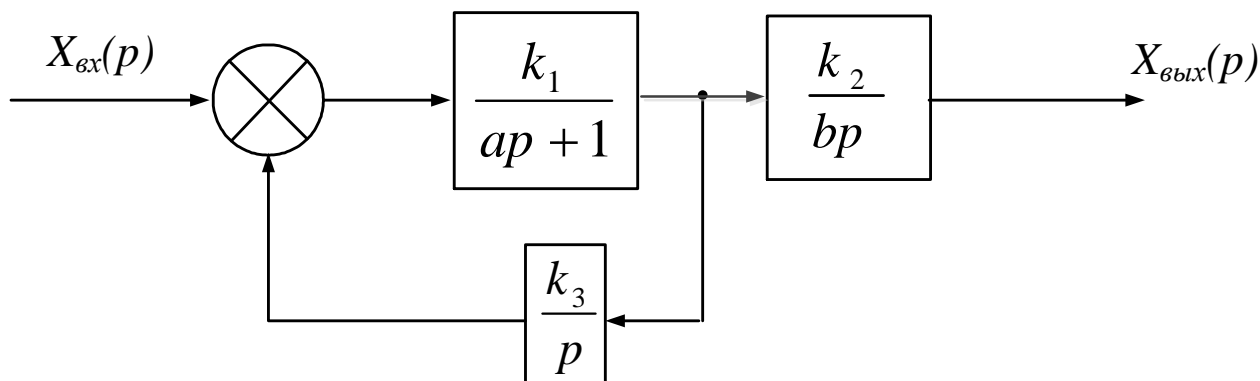


Рис. 1.6. Структурная схема 4

Таблица 1.5

Исходные данные к схеме 4

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 0,7 | 0,8 | 9 | 10 | 15 | 1,5 | 0,2 | 2,5 | 0,3 | 3,5 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|---|
| a | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |
| b | 0,5 | 0,7 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

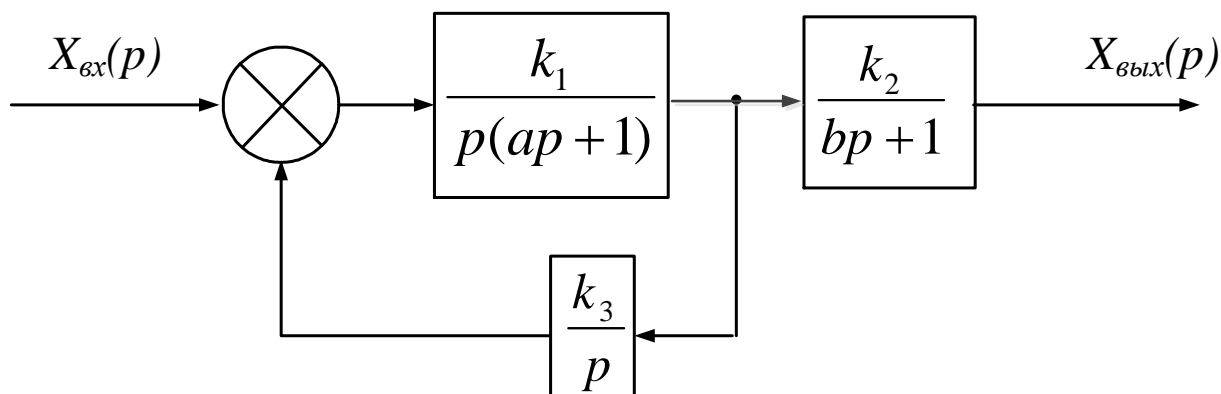


Рис. 1.7. Структурная схема 5

Таблица 1.6

Исходные данные к схеме 5

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 1,7 | 2,8 | 3,9 | 10 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 2 | 4,6 | 5,4 | 6,3 | 7,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| a | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |
| b | 2,5 | 7,5 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

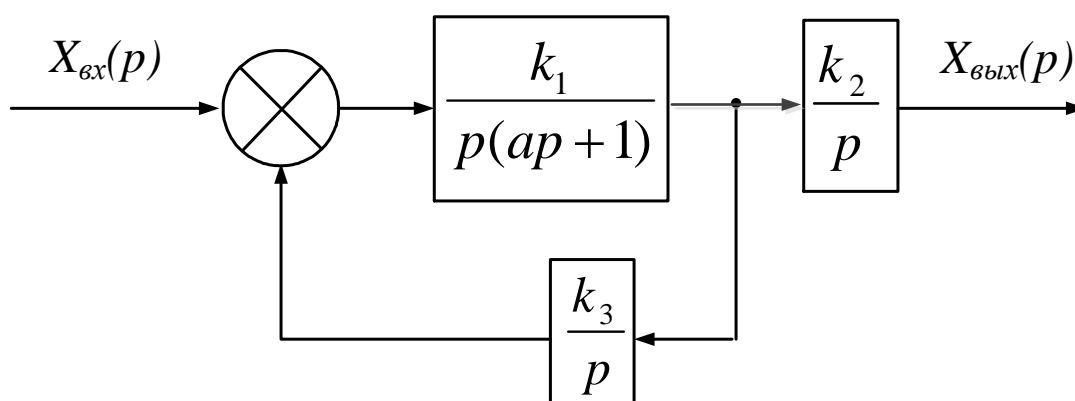


Рис. 1.8. Структурная схема 6

Таблица 1.7

Исходные данные к схеме 6

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| k_2 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|----|---|
| k_3 | 0,9 | 0,5 | 2 | 6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 3 | 4 | 5 |
| a | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |

Пример решения

Схема для исследования приведена на рис. 1.9.

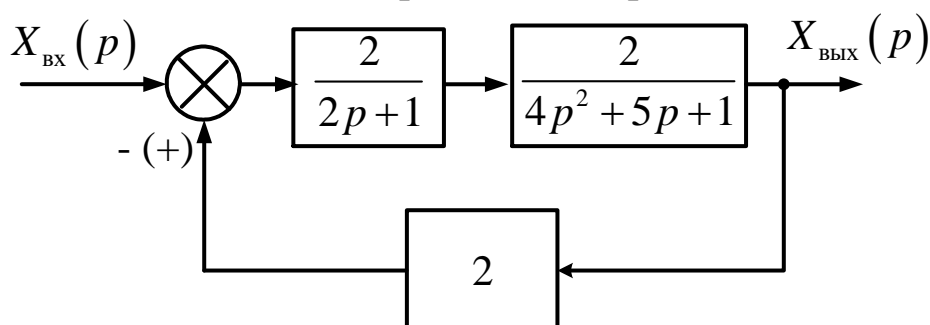


Рис. 1.9. Функциональная схема САУ

Передаточные функции звеньев, входящих в САУ:

$$W_1(p) = \frac{2}{2p+1}; W_2(p) = \frac{2}{4p^2+5p+1}; W_3(p) = 2.$$

Исследование САУ с ООС

Передаточная функция САУ:

$$\begin{aligned}
 W_1(p) &= \frac{W_1(p) \cdot W_2(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\frac{2}{2p+1} \cdot \frac{2}{4p^2+5p+1}}{1 + \frac{2}{2p+1} \cdot \frac{2}{4p^2+5p+1} \cdot 2} = \\
 &= \frac{4}{(2p+1) \cdot (4p^2+5p+1) + 8} = \frac{4}{8p^3 + 14p^2 + 7p + 9}.
 \end{aligned}$$

Характеристическое уравнение:

$$8p^3 + 14p^2 + 7p + 9 = 0.$$

Определитель Гурвица

$$\Delta = \begin{vmatrix} 14 & 9 & 0 \\ 8 & 7 & 0 \\ 0 & 14 & 9 \end{vmatrix} = 14 \cdot 7 \cdot 9 - 8 \cdot 9^2 = 234 > 0.$$

Наименьший минор

$$\Delta_1 = 14 > 0.$$

Следующий минор

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 14 & 9 \\ 8 & 7 \end{vmatrix} = 14 \cdot 7 - 8 \cdot 9 = 42 > 0.$$

Вывод: система устойчива, так как определитель Гурвица и его диагональные миноры положительны. График переходного процесса данной системы представлен на рис. 1.10.

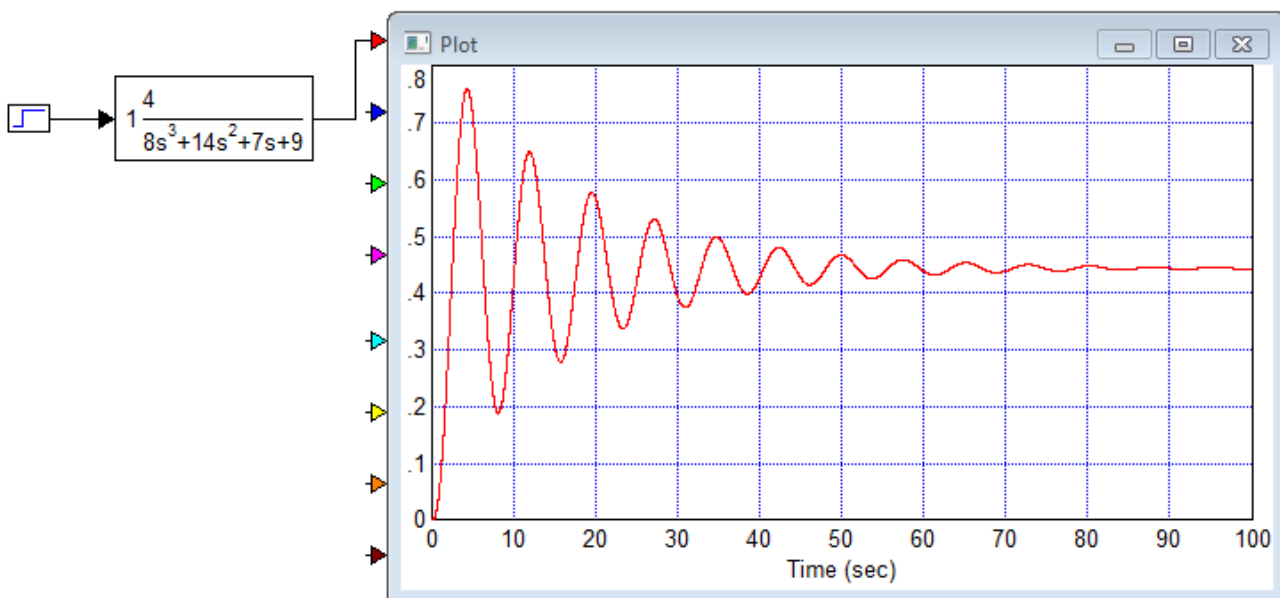


Рис. 1.10. Переходный процесс системы с отрицательной обратной связью

Исследование САУ с ПОС

Передаточная функция системы в этом случае

$$W_1(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p)}{1 - W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p)} = \frac{\frac{2}{2p+1} \cdot \frac{2}{4p^2+5p+1}}{1 - \frac{2}{2p+1} \cdot \frac{2}{4p^2+5p+1} \cdot 2} =$$

$$= \frac{4}{\frac{(2p+1) \cdot (4p^2 + 5p + 1)}{(2p+1) \cdot (4p^2 + 5p + 1) - 8}} = \frac{4}{8p^3 + 14p^2 + 7p - 7}.$$

Характеристическое уравнение:

$$8p^3 + 14p^2 + 7p - 7 = 0.$$

Определитель Гурвица

$$\Delta = \begin{vmatrix} 14 & -7 & 0 \\ 8 & 7 & 0 \\ 0 & 14 & -7 \end{vmatrix} = 14 \cdot 7 \cdot (-7) - 8 \cdot (-7)^2 = -1078 < 0.$$

Наименьший минор

$$\Delta_1 = 14 > 0.$$

Следующий минор

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 14 & -7 \\ 8 & 7 \end{vmatrix} = 14 \cdot 7 - 8 \cdot (-7) = 154 > 0.$$

График переходного процесса данной системы представлен на рис. 1.11.

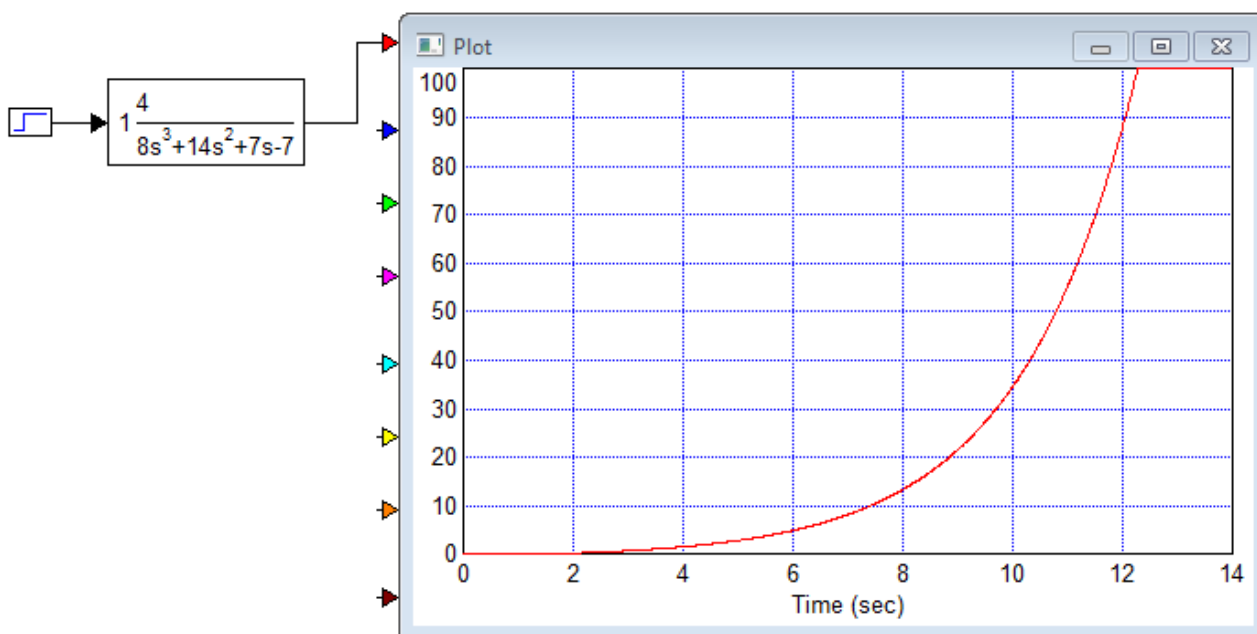


Рис. 1.11. Переходный процесс системы с ПОС

<http://cifra.studentmiv.ru/tau-2-semester/2-6-arifm-kriterii/>

Вывод: система неустойчива, так как определитель Гурвица отрицателен, несмотря на то что его диагональные миноры положительны.

2. Критерий устойчивости Линара-Шипара

Предложен в 1914 г. и применяется при степени САУ $n \geq 5$.

Доказано, что в том случае, когда все коэффициенты характеристического уравнения положительны, и из того факта, что $\Delta_1 > 0$, $\Delta_3 > 0$, $\Delta_5 > 0$, т.е. с нечетными индексами, следует и положительность определителей Гурвица с четными индексами Δ_2 , Δ_4 и т.д.

Формулировка критерия: *когда выполнены необходимые условия устойчивости, т.е. $a_0 > 0$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, ..., $a_n > 0$, необходимые и достаточные условия устойчивости сводятся к тому, чтобы среди определителей Гурвица $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ были положительны все определители с четными или же все определители с нечетными индексами.*

То есть для того, чтобы САУ была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись следующие неравенства:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0;$$

$$\Delta_1 > 0, \Delta_3 > 0, \Delta_5 > 0;$$

или

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0;$$

$$\Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \dots$$

Востребованность критерия объясняется тем, что для систем высокого порядка нужно раскрывать в 2 раза меньше определителей.

Пример

Определить, устойчива ли САУ заданной структуры (рис. 2.1) при отрицательной обратной связи.

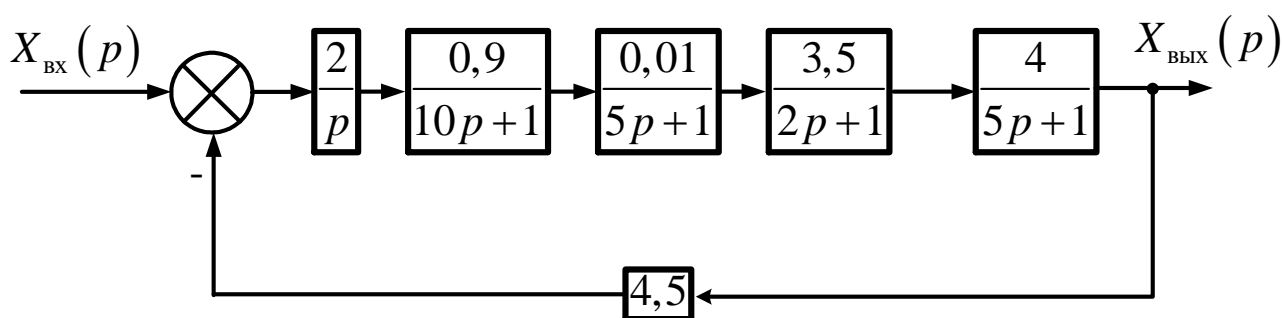


Рис. 2.1. Функциональная схема САУ

Передаточные функции звеньев, входящих в САУ:

$$W_1(p) = \frac{2}{p}; W_2(p) = \frac{0,9}{10p+1}; W_3(p) = \frac{0,01}{5p+1}; W_4(p) = \frac{3,5}{2p+1};$$

$$W_5(p) = \frac{4}{5p+1}; W_6(p) = 4,5.$$

Передаточная функция САУ

$$W(p) = \frac{W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p) \cdot W_6(p)} =$$

$$\frac{\frac{2}{p} \cdot \frac{0,9}{10p+1} \cdot \frac{0,01}{5p+1} \cdot \frac{3,5}{2p+1} \cdot \frac{4}{5p+1}}{1 + \frac{2}{p} \cdot \frac{0,9}{10p+1} \cdot \frac{0,01}{5p+1} \cdot \frac{3,5}{2p+1} \cdot \frac{4}{5p+1} \cdot 4,5} \quad (2.1)$$

После преобразований получим

$$W(p) = \frac{0,252}{500p^5 + 500p^4 + 165p^3 + 22p^2 + p + 1,13}. \quad (2.2)$$

Характеристическое уравнение:

$$500p^5 + 500p^4 + 165p^3 + 22p^2 + p + 1,13 = 0.$$

Определитель Гурвица для исследуемой системы:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 500 & 22 & 1,13 & 0 & 0 \\ 500 & 165 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 500 & 22 & 1,13 & 0 \\ 0 & 500 & 165 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 500 & 22 & 1,13 \end{vmatrix}.$$

Согласно критерию, нужно рассмотреть либо чётные, либо нечётные определители.

Проанализируем чётные:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 500 & 22 \\ 500 & 165 \end{vmatrix} = 500 \cdot 165 - 500 \cdot 22 > 0.$$

Значение следующего определителя

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 500 & 22 & 1,13 & 0 \\ 500 & 165 & 1 & 0 \\ 0 & 500 & 22 & 1,13 \\ 0 & 500 & 165 & 1 \end{vmatrix} = -11762400$$

найдено с помощью он-лайн калькулятора.

Вывод: система неустойчива, так как один из определителей оказался отрицательным.

Проверка адекватности данного вывода осуществляется моделированием переходного процесса исследуемой системы в *VisSim*. На рис. 2.2 приводятся два графика переходного процесса одной и той же САУ:

- 1 – получен моделированием передаточной функции (2.2);
- 2 – моделированием функциональной схемы, представленной на рис. 2.1.

Сравнением этих графиков можно осуществить проверку правильности найденной передаточной функции исследуемой системы. Небольшое расхождение графиков 1 и 2 в рассматриваемом примере связано с округлением коэффициентов, полученных при преобразовании дроби в выражении (2.1).

Задание

Варианты представлены в таблице 1.1. Схемы и данные к ним представлены на рис. 2.3-2.8 и табл. 2.1-2.6 соответственно.

1. Определить устойчивость САУ по критерию Линара-Шипара для САУ с ООС.
2. Смоделировать переходный процесс САУ с ООС в VisSim, проанализировать результат, полученный в п. 1.
3. Определить устойчивость САУ по критерию Линара-Шипара для САУ с ПОС.
4. Смоделировать переходный процесс САУ с ПОС в VisSim, проанализировать результат, полученный в п. 2.

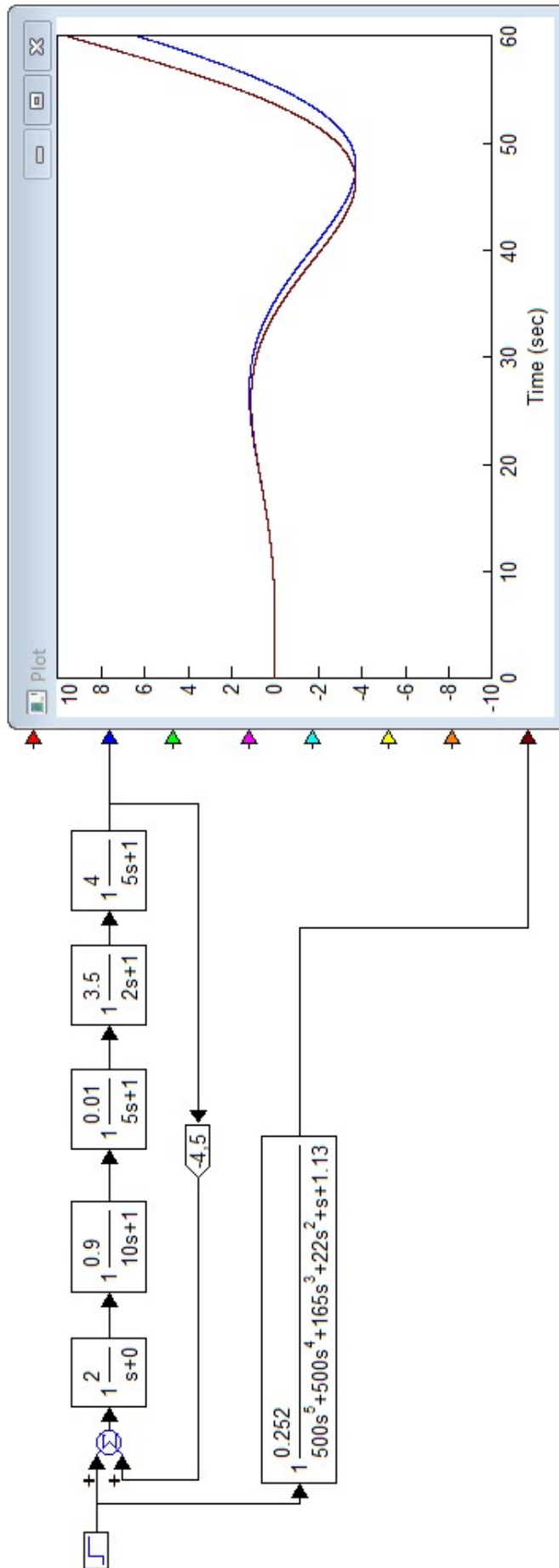


Рис. 19.2. Переходный процесс исследуемой системы

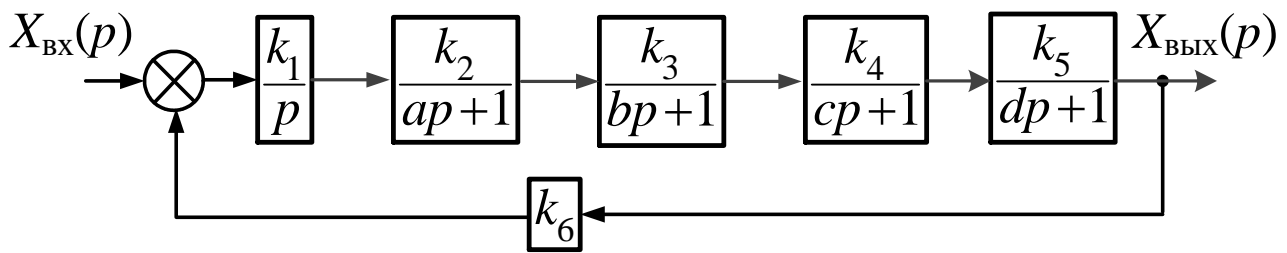


Рис. 2.3. Структурная схема 1

Таблица 2.1

Исходные данные к схеме 1

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 20 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| k_3 | 0,1 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| k_4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 2 | 4 | 5 |
| k_5 | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| k_6 | 0,5 | 1 | 1,5 | 6 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 |
| a | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| b | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| c | 2 | 1,75 | 1,5 | 1,25 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,25 | 0,6 | 0,95 |
| d | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 | 27,5 |

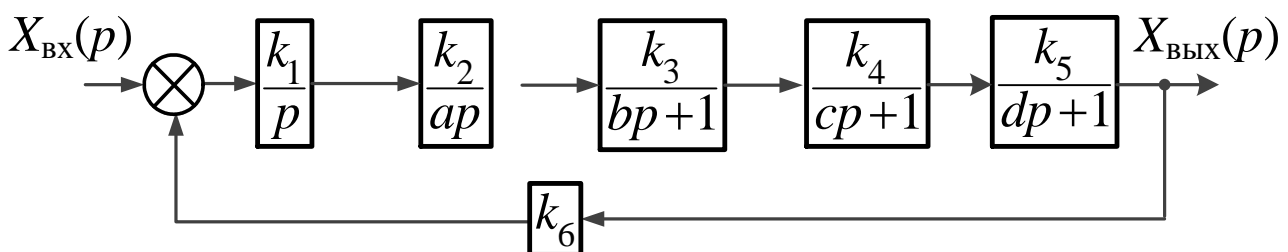


Рис. 2.4. Структурная схема 2

Таблица 2.2

Исходные данные к схеме 2

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|
| k_1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| k_2 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| k_3 | 2 | 1,75 | 1,5 | 1,25 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,25 | 0,6 | 0,95 |
| k_4 | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 | 27,5 |
| k_5 | 8 | 7,5 | 7 | 6,5 | 6 | 5,5 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 |
| k_6 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 2 | 4 | 5 |
| a | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| b | 4,5 | 1 | 1,5 | 6 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 |
| c | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| d | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |

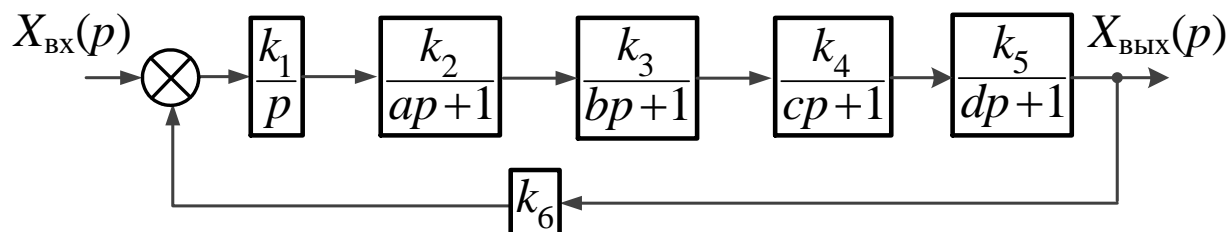


Рис. 2.5. Структурная схема 3

Таблица 2.3

Исходные данные к схеме 3

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 2 | 6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 3 | 4 | 5 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| k_4 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |
| k_5 | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| k_6 | 0,35 | 0,65 | 1,4 | 3,5 | 0,25 | 2,5 | 3 | 4,5 | 5 | 6,5 |
| a | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| b | 0,9 | 0,5 | 2 | 6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 3 | 4 | 5 |
| c | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|---|---|
| d | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 2 | 4 | 5 |
|-----|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|---|---|

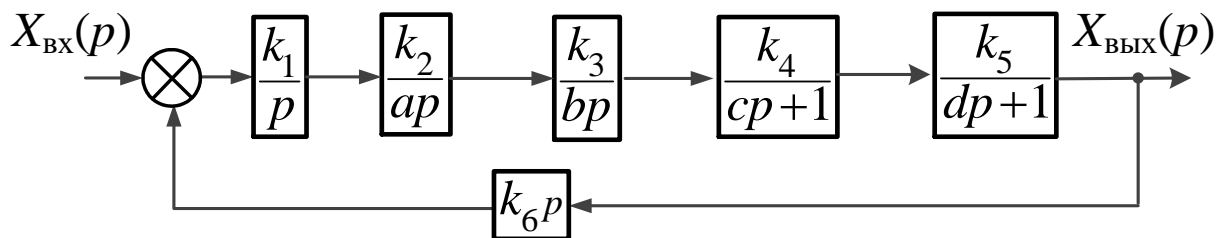


Рис. 2.6. Структурная схема 4

Таблица 2.4

Исходные данные к схеме 4

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 0,7 | 0,8 | 9 | 10 | 15 | 1,5 | 0,2 | 2,5 | 0,3 | 3,5 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| k_4 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |
| k_5 | 0,5 | 0,7 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| k_6 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| a | 2 | 1,75 | 1,5 | 1,25 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,25 | 0,6 | 0,95 |
| b | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 | 27,5 |
| c | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| d | 4,5 | 1 | 1,5 | 6 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | 6,5 | 7 |

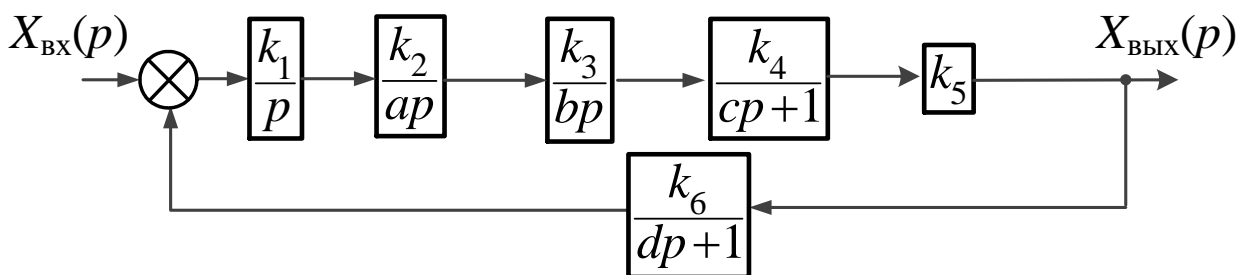


Рис. 2.7. Структурная схема 5

Таблица 2.5

Исходные данные к схеме 5

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 1,7 | 2,8 | 3,9 | 10 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 |
| k_2 | 0,9 | 0,5 | 2 | 4,6 | 5,4 | 6,3 | 7,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| k_3 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| k_4 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |
| k_5 | 2,5 | 7,5 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| k_6 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| a | 2 | 1,75 | 1,5 | 1,25 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,25 | 0,6 | 0,95 |
| b | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 25 | 27,5 |
| c | 8 | 7,5 | 7 | 6,5 | 6 | 5,5 | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 |
| d | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 | 2 | 4 | 5 |

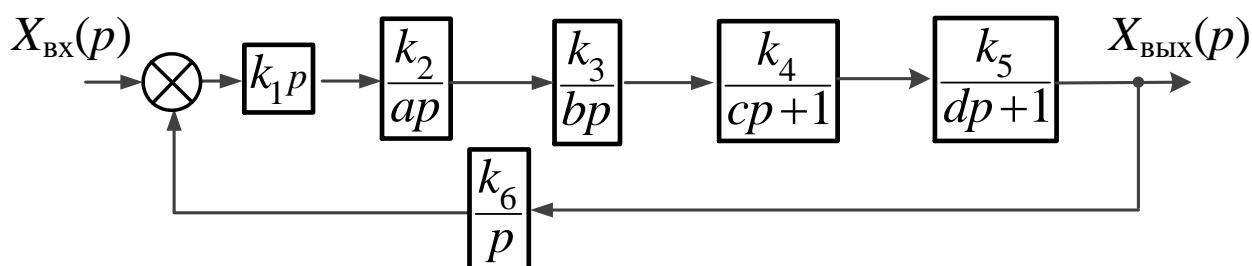


Рис. 2.8. Структурная схема 6

Таблица 2.6

Исходные данные к схеме 6

| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| k_1 | 0,25 | 0,75 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| k_2 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,01 | 0,02 |
| k_3 | 0,9 | 0,5 | 2 | 6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 3 | 4 | 5 |
| k_4 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 15 | 1,5 | 2 | 2,5 | 10 | 3 |
| k_5 | 25 | 30,5 | 36 | 41,5 | 7 | 12,5 | 18 | 23,5 | 29 | 34,5 |
| k_6 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| a | 15 | 17,5 | 20 | 22,5 | 5 | 7,5 | 10 | 12,5 | 15 | 17,5 |
| b | 10 | 11 | 12 | 13 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| c | 5 | 4,5 | 4 | 3,5 | 3 | 2,5 | 2 | 1,5 | 1 | 0,5 |
| d | 2 | 1,75 | 1,5 | 1,25 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,25 | 0,6 | 0,95 |

