

УДК 681.5.042

**ДВА ПОДХОДА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ
ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ЗВЕНА
ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ОХВАТЕ ЕГО ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ
И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНЫМИ СВЯЗЯМИ**

**TWO APPROACHES FOR DETERMINATION OF EQUIVALENT
TRANSFER FUNCTION FOR DYNAMIC MEMBER WHEN
IT IS EMBRACED BOTH POSITIVE AND NEGATIVE FEEDBACKS
SIMULTANEOUSLY**

**Бабрович С. А., Мельникова А. Е.,
Галямов П.М.,** канд. техн. наук, доц.,

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

S. Babrovich, A. Melnikova,

P. Haliamau, Ph. D. in Eng., Ass. Prof.,

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

В статье предложены два подхода к определению эквивалентной передаточной функции динамического звена, охваченного одновременно и положительной, и отрицательной обратными связями. Первый подход основан на последовательном применении известных преобразований исходной структурной схемы при наличии только одного вида обратной связи. В основу второго подхода положено аналитическое решение системы из четырех уравнений, первое из которых описывает работу сумматора-вычитателя, а последующие три описывают преобразующие свойства самого динамического звена, цепи отрицательной обратной связи и цепи положительной обратной связи соответственно. После проведения алгебраических преобразований оба подхода дают одинаковое выражение для искомой результирующей передаточной функции, из которого известные выражения для эквивалентной передаточной функции при наличии только одного вида обратной связи могут быть получены как частные случаи, что говорит о правильности полученной результирующей передаточной функции.

In this paper, two approaches for determination of equivalent transfer function for dynamic member simultaneously embraced both positive and

negative feedbacks are proposed. The first approach is based on sequential using of known algebraic conversions of the initial structure diagram having only one kind of feedbacks. The second approach is based on analytical solving system of four algebraic equations: the first one describes summing-subtraction unit and the last three ones describe transfer properties of dynamic member and positive and negative feedbacks respectively. After final algebraic conversions both approaches give the same result equation that proves its correctness because two known equations for transfer function with positive and negative feedbacks may be achieved as particular cases of equation obtained in this paper.

Ключевые слова: передаточная функция, обратная связь, структурная схема, динамическое звено, эквивалентное преобразование.

Keywords: transfer function, feedback, structure diagram, dynamic member equivalent conversion.

ВВЕДЕНИЕ

Передаточные функции, возникшие изначально при исследовании электрических и электронных систем, сейчас широко используются и при исследовании динамических систем автомобилей [1, 2]. Из эквивалентных преобразований, позволяющих найти результирующую передаточную функцию динамической системы, наиболее важны преобразования, позволяющие найти передаточную функцию динамического звена при его охвате только положительной или только отрицательной обратной связью. Эти случаи известны и рассмотрены во многочисленной литературе по теории автоматического управления [3, 4]. Однако, задача нахождения эквивалентной передаточной функции при одновременном действии как положительной, так и отрицательной обратной связи в известных авторам литературных источниках не рассматривалась. В данной работе представлены два возможных подхода к ее решению аналитическим путем, позволяющим получить точное алгебраическое выражение для передаточной функции.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Пусть исходная структурная схема динамической системы имеет вид, предоставленный на рис. 1.

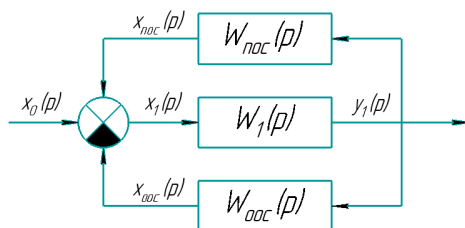


Рисунок 1 – Структурная схема выбранной системы автоматического регулирования

Передаточную функцию этой системы можно найти двумя способами.

Способ №1. Основан на последовательном применении известных преобразований исходной структурной схемы при наличии только одного вида обратной связи. Сразу заменяем два звена, охваченных отрицательной обратной связью на один, с эквивалентной передаточной функцией (рис. 2) [1].

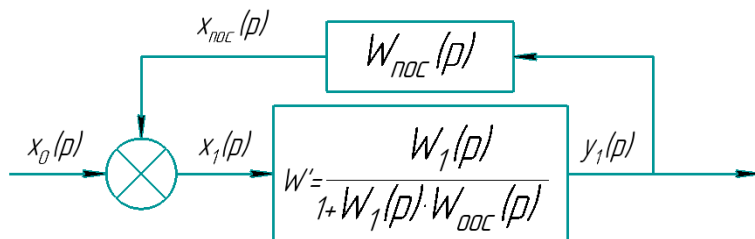


Рисунок 2 – Структурная схема после первого преобразования

Затем заменяем оставшиеся два звена, охваченных положительной обратной связью на один, с эквивалентной передаточной функцией [1].

$$W = \frac{\frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{оос}(p)}}{1 - \frac{W_1(p) \cdot W_{пос}(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{оос}(p) \cdot W_{пос}(p)}}. \quad (1)$$

Преобразуем уравнение (1):

$$W = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{\text{оос}}(p) - W_1(p) \cdot W_{\text{пос}}(p)}. \quad (2)$$

Далее выносим за скобки $W_1(p)$ и получаем окончательное значение передаточной функции:

$$W = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot (W_{\text{оос}}(p) - W_{\text{пос}}(p))}. \quad (3)$$

Упрощенная структурная схема системы представлена на рис. 3.

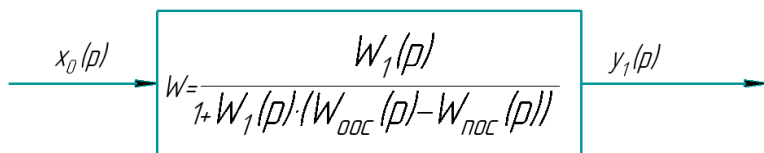


Рисунок 3 – Упрощенная структурная схема

Способ №2. В основу этого способа положено аналитическое решение системы из четырех уравнений.

Составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} x_1(p) = x_0(p) - x_{\text{оос}}(p) + x_{\text{пос}}(p), \\ y_1(p) = W_1 \cdot x_1(p), \\ x_{\text{оос}}(p) = W_{\text{оос}}(p) \cdot y_1(p), \\ x_{\text{пос}}(p) = W_{\text{пос}}(p) \cdot y_1(p). \end{cases} \quad (4)$$

Далее подставляем уравнение (4) в (1). В результате получаем:

$$\begin{cases} y_1(p) = W_1(p) \cdot (x_0(p) - x_{\text{оос}}(p) + x_{\text{пос}}(p)), \\ x_{\text{оос}}(p) = W_{\text{оос}}(p) \cdot y_1(p), \\ x_{\text{пос}}(p) = W_{\text{пос}}(p) \cdot y_1(p). \end{cases} \quad (5)$$

После подстановки (2) и (3) в (1) получаем:

$$y_1(p) = W_1(p) \cdot (x_0(p) - (W_{\text{оос}}(p) \cdot y_1(p)) + (W_{\text{пос}}(p) \cdot y_1(p))). \quad (6)$$

Раскрываем скобки и переносим слагаемые:

$$y_1(p) + W_1(p) \cdot W_{\text{оос}}(p) \cdot y_1(p) - W_1(p) \cdot W_{\text{пос}}(p) \cdot y_1(p) = W_1(p) \cdot x_0(p). \quad (7)$$

Делим выражение на x_0 :

$$\frac{y_1(p) \cdot (1 + W_1(p) \cdot W_{\text{оос}}(p) - W_1(p) \cdot W_{\text{пос}}(p))}{x_0} = \frac{W_1(p) \cdot x_0(p)}{x_0}. \quad (8)$$

Преобразовав выражение (8), получаем:

$$W \cdot (1 + W_1(p) \cdot W_{\text{оос}}(p) - W_1(p) \cdot W_{\text{пос}}(p)) = W_1(p). \quad (9)$$

Выражаем искомую передаточную функцию:

$$W = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_{\text{оос}}(p) - W_1(p) \cdot W_{\text{пос}}(p)}. \quad (10)$$

Далее выносим за скобки $W_1(p)$ и получаем окончательное значение передаточной функции:

$$W = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p) \cdot (W_{\text{оос}}(p) - W_{\text{пос}}(p))}. \quad (11)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчета передаточной функции обоими способами мы получили одинаковый результат. Правильность расчетов подтверждается тем, что при приравнивании к нулю передаточной функции цепи отрицательной обратной связи получается передаточная функция для схемы с положительной обратной связью [1, 2]. Аналогичная ситуация наблюдается и при приравнивании к нулю передаточной функции цепи положительной обратной связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Опейко, А. Ф. Вибрации рулевой системы, вызванные неравномерностью толщины тормозного диска / А. Ф. Опейко // Современные проблемы проектирования автомобилей : материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию кафедры «Автомобили» / Белорусский национальный технический университет, Автотракторный факультет, Кафедра «Автомобили». – Мн., 2015. – С. 114–121.
2. Молибошко, Л. А. Исследование динамических систем с помощью передаточных функций / Л. А. Молибошко // Инженер-механик. – 2001. – № 2. – С. 12–14.
3. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – СПб : Профессия, 2004. – 752 с.
4. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник : в 5 т. / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – Т. 1 : Теория оптимизации систем автоматического управления. – 2004. – 656 с.

Представлено 26.05.2025