

**Взаимодействие модели процесса резания и регулятора
в системе управления точностью обработки
Генералов Л. К.¹, Мочалова М. И.², Генералов А. Л.³**

¹Генералов Леонтий Константинович / Generalov Leontiy Konstantinovich - кандидат технических наук, доцент,
кафедра приборостроения и информационно измерительных технологий,
Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых;

²Мочалова Марина Ивановна / Mochalova Marina Ivanovna - директор;

³Генералов Александр Леонтьевич / Generalov Alexandr Leontiyvich - главный инженер,
ООО «Теплотехника – Центр», г. Владимир

Аннотация: повышение точности движения исполнительного звена привода металлорежущего станка, выполнено за счет использования дополнительных корректирующих сигналов, формируемых моделью процесса резания, встроенной в систему управления. Показано взаимодействие модели и регулятора, а также возможность управления процессом для достижения требуемых значений выходного параметра.

Ключевые слова: регулятор, структура, модель, передаточная функция, взаимодействие, управление, свойства.

Применение моделей и модельных блоков в системах автоматического управления металлорежущих станков является эффективным средством повышения точности размеров, получаемых в процессе обработки. Основное назначение модельного блока заключается в формировании воздействия, позволяющего корректировать траекторию движения инструмента, который отклоняется от заданной траектории на величину упругих деформаций, возникающих в результате действия силовых факторов, а также элементарных погрешностей, обусловленных геометрическими неточностями станка, приспособления, неточностью установки заготовки, температурными деформациями и др.[1, 2, 3, 4 с. 52]

Модель процесса резания включает описание физических процессов происходящих при резании металла и может иметь различную степень детализации в зависимости от решаемых задач [1 с. 56]. При этом вопросы взаимодействия модели и регулятора приобретают важное значение, поскольку влияние дополнительных сигналов, поступающих в систему управления, может существенно влиять на динамику привода, снижать или повышать точность движения, нарушать устойчивость и другие показатели качества.[5 с.143]

Рассмотрим взаимодействие номинальной модели и регулятора, используя структурную схему системы управления, показанную на рис.1.

Контур обратной связи, в котором находится регулятор, взаимодействующий с моделью, опишем с помощью передаточных функций, представленных операторами Лапласа.

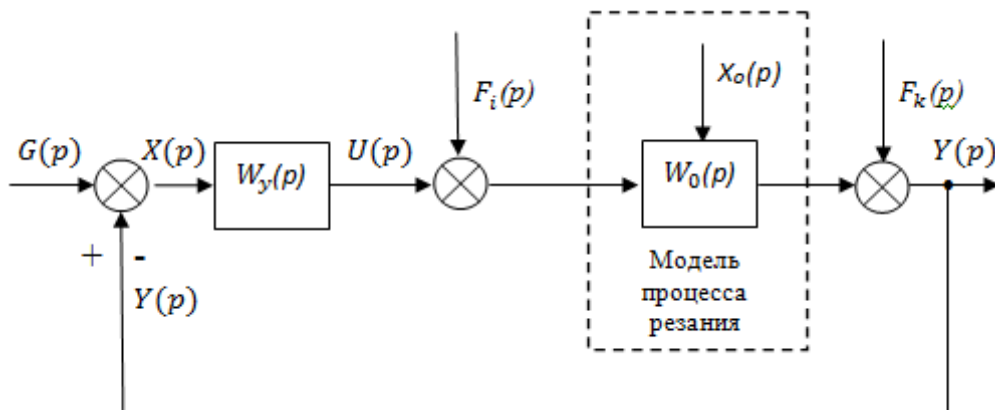


Рис. 1. Структурная схема системы управления с модельным блоком

Так $W_y(p)$ и $W_o(p)$ обозначают передаточные функции регулятора и модели объекта соответственно, которые представлены в виде:

$$W_y(p) = \frac{U(p)}{X(p)} = \frac{B_y(p)}{C_y(p)}, \quad (1)$$

$$W_0(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{B_0(p)}{C_0(p)}, \quad (2)$$

где $B_y(p)$, $C_y(p)$, $B_0(p)$, $C_0(p)$ – полиномы от p , $G(p)$, $U(p)$, $Y(p)$ – преобразования Лапласа входного воздействия, управляющего сигнала и выхода объекта соответственно; $X_0(p)$ – начальные условия модели; $X(p)$ – сигнал рассогласования.

Между выходным сигналом и управляющим имеются следующие соотношения:

$$Y(p) = W_0(p) \cdot U(p) + F_k(p) + W_0(p) \cdot F_i(p) + \frac{B(p, x_0)}{A_0(p)}, \quad (3)$$

$$U(p) = W_y(p) \cdot G(p) - W_y(p) \cdot Y(p), \quad (4)$$

где $F_k(p)$, $F_i(p)$ обозначают преобразование Лапласа для возмущения, приложенного к входу объекта и к его выходу соответственно.

Подставляем (3) в (4) и получаем:

$$U(p) = W_y(p) \cdot G(p) - W_y(p) [W_0(p) \cdot U(p) + F_k(p) + W_0(p) \cdot F_i(p) + \frac{B(p, x_0)}{A_0(p)}], \quad (5)$$

где $B(p, x_0)$ – линейная функция, зависящая от начальных условий.

Из предыдущих уравнений получаем:

$$U(p) = \frac{W_y(p)}{1 + W_0(p)W_y(p)} G(p) - F_k(p) - W_0(p) - W_0(p) \cdot F_i(p) - \frac{B(p, x_0)}{A_0(p)}, \quad (6)$$

$$Y(p) = \frac{1}{1 + W_0(p)W_y(p)} [W_y(p) \cdot W_0(p) \cdot G(p) + F_k(p) + W_0(p) \cdot F_i(p) + \frac{B(p, x_0)}{A_0(p)}]. \quad (7)$$

Поскольку передаточные функции сформированы для системы с одной степенью свободы, то регулятор проектируется под конкретную связь входного сигнала и реакции системы в виде:

$$\frac{Y(p)}{G(p)} = \frac{W_0(p)W_y(p)}{1 + W_0(p)W_y(p)}, \quad (8)$$

что приводит к однозначной реакции на входное возмущение:

$$\frac{Y(p)}{F_k(p)} = \frac{1}{1 + W_0(p)W_y(p)} \quad (9)$$

Поскольку в выражение (8), (9) входит управляющий сигнал и возмущающее воздействие, скорректировать их одновременно нет возможности. Поэтому разделим сигналы и отдельно исследуем реакцию системы на входное воздействие и возмущение.

Для этого используем структуру с двумя степенями свободы, как показано на рис.2. Первая степень свободы – регулятор обратной связи $W_y(p)$, а вторая $W_0(p)$ эталонный или подналадочный фильтр.

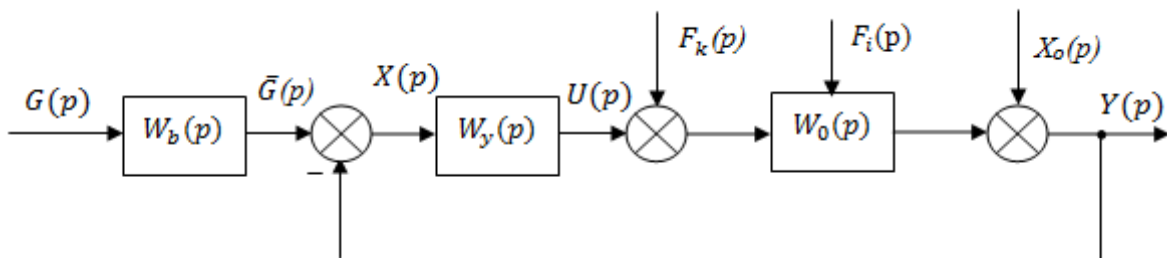


Рис. 2. Замкнутая система с двумя степенями свободы

Аналогично формуле (8), выражение для контура с двумя степенями свободы имеет вид:

$$\left[\right] Y(p) = \frac{W_0(p)W_y(p)W_b(p)}{1+W_0(p)W_y(p)} \cdot G(p) + \frac{1}{1+W_0(p)W_y(p)} F_k(p) + \frac{B(p,x_0)}{A_0(p)} + \frac{W_0(p)}{1+W_0(p)W_y(p)} F_i(p) \quad (10)$$

Передаточная функция $W_0(p)$ может быть спроектирована так, чтобы получить нужную реакцию на возмущение не отличающуюся от (8), а $W_b(p)$ может быть использована для получения реакции на входное воздействие:

$$\frac{Y(p)}{G(p)} = \frac{W_0(p)W_y(p)W_b(p)}{1+W_0(p)W_y(p)} \quad (11)$$

При этом следует отметить, что в случае контура управления с двумя степенями свободы остаются передаточные функции, чью динамику нельзя получить независимо.

Так регулятор $W_y(p)$ может быть использован для получения реакции на одно из заранее определенных возмущений $F_i(p)$ или $F_k(p)$, то после их определения можно находить реакции на другие возмущения.

В итоге соответствующая реакция на выходе регулятора равна:

$$U(p) = \frac{W_y(p)W_b(p)}{1+W_0(p)W_y(p)} \cdot G(p) - \frac{W_y(p)}{1+W_0(p)W_y(p)} F_k(p) + \frac{B(p,x_0)}{A_0(p)} - \frac{W_0(p)W_y(p)}{1+W_0(p)W_y(p)}. \quad (12)$$

Анализ выражения (12) показывает влияние регулятора $W_y(p)$ на номинальную модель $W_0(p)$ в контуре обратной связи, который описывается уравнениями (10) и (11). Это означает, что подбором передаточной функции $W_0(p)$ можно обеспечить заданное регулирование процесса для достижения требуемых значений выходного параметра.

Рассмотренный прием позволяет обеспечить желаемые свойства системы автоматического управления обработкой резанием, путем желаемого расположения корней характеристического полинома, что можно использовать для повышения точности регулирования силовых параметров и скоростей подачи, устранить возмущающие воздействия, вызываемые процессом резания, стабилизировать неустойчивую систему.

Литература

1. Кобзев А. А. Модель процесса токарной обработки в системе автоматического управления / А.А. Кобзев, Л.К. Генералов // Станки и инструмент. – 2008. - № 11. - С. 26 – 29.
2. Кобзев А. А. Использование моделируемых сигналов в системах автоматического управления процессом резания / А.А.Кобзев, В.П. Легаев, Л.К. Генералов // Вестник машиностроения. – 2011. - № 1. - С. 54 – 61.
3. Генералов Л. К. Управление формообразованием деталей с использованием упреждающих сигналов [Электронный ресурс]: / Л.К. Генералов // Труды МАИ: Электронный журнал: машиноведение, машиностроение. - 2011. - № 44. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/sciense/trudy/>
4. Легаев В. П. Модельное управление точностью обработки на металлорежущих станках / В.П. Легаев, А.А. Кобзев, Л.К. Генералов. – Владимир: ВлГУ, 2010. - 166 с.
5. Гудвин Г. К. Проектирование систем управления [пер. с англ.] / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребен, М.Э. Сальдаго. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.: ил.