*Ишматов З.Ш.,*
*Гурентьев Е.А., Плотников Ю.В.*

*Россия*
*Екатеринбург*

*ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»*

# СИНТЕЗ АДАПТИВНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОЛИНОМИАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

Сравнительно простой и эффективный метод синтеза, основанный на аппарате полиномиальных уравнений (ПУ), впервые представлен в [1] и получил свое дальнейшее развитие в [2]. Разработанный первоначально для синтеза цифровых регуляторов, он позднее стал использоваться и в непрерывных системах [3,4]. Двадцатилетний опыт применения полиномиальных методов на кафедре электропривода и автоматизации промышленных установок УГТУ-УПИ позволил накопить богатый опыт его использования как в электроприводах постоянного и переменного тока, так и в задачах управления различными технологическими процессами [5].

Синтез непрерывных регуляторов этим методом производится для объекта с передаточной функцией (ПФ):

$$W_{\text{о}}(s)=\frac{P(s)}{s^{i}Q(s)}, \tag{1}$$

где $i$ – количество интегрирующих звеньев в объекте, $P(s)$, $Q(s)$ – полиномы от $s$ степени $n_P$ и $n_Q$ соответственно, не имеющие нулей в точке $s = 0$.

Общая расчетная структура непрерывной замкнутой системы представлена на рис. 1. В практике проектирования электроприводов принято компенсировать некоторые устойчивые нули и полюсы объекта. Для этого ПФ объекта управления разбивают на компенсируемую и некомпенсируемую части [5]:

$$W_{\text{ок}}(s)=\frac{P_{\text{к}}(s)}{Q_{\text{к}}(s)};\quad W_{\text{он}}(s)=\frac{P_{\text{н}}(s)}{s^{i}Q_{\text{н}}(s)}.$$

Из условия грубости к компенсируемой части объекта недопустимо относить неустойчивые нули и полюсы объекта [2,5].

Регулирующая часть системы состоит из собственно регулятора $W_{\text{р}}(s)$ и фильтра на входе замкнутой системы $W_{\text{ф}}(s)$; последний дает дополнительную степень свободы для независимого формирования процессов по задающему и возмущающему воздействиям. Здесь $M(s)$, $N(s)$, $L(s)$ – искомые полиномы от $s$ степени $n_M$, $n_N$, $n_L$ соответственно, не имеющие нулей в точке $s = 0$, $j$ – количество интегрирующих звеньев в регуляторе, обеспечивающих требуемый порядок астатизма. Обычно в системах электропривода числитель фильтра $L(s)$ – полином нулевого порядка, т.е. константа.

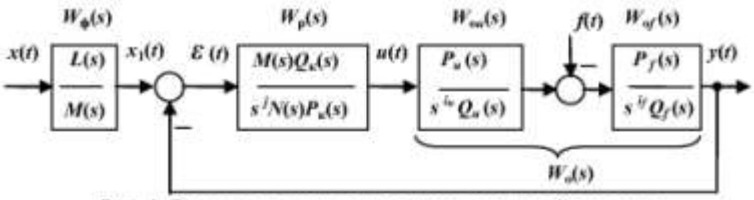


Рис. 1. Расчетная структурная схема замкнутой системы

Анализ передаточных функций замкнутой системы рис. 1 позволяет получить следующие соотношения, обеспечивающие требуемые точность и качество регулирования:

1) для получения требуемого порядка астатизма $r_x$ по задающему воздействию или $r_f$ по возмущающему воздействию количество полюсов $s = 0$ в передаточной функции регулятора должно быть равно

$$j=r_x-i; \tag{2}$$

$$j=r_f-i+i_f; \tag{3}$$

2) для обеспечения требуемого качества регулирования, соответствующего желаемой передаточной функции замкнутой системы $G_{\text{ж}}(s)=B(s)/A(s)$ (здесь $A(s)$ и $B(s)$ – полиномы от $s$ степени $n_A$ и $n_B$ соответственно), должны выполняться равенства:

$$L(s)P_{\text{н}}(s)=B(s); \tag{4}$$

$$M(s)P_{\text{н}}(s)+s^{i+j}Q_{\text{н}}(s)N(s)=A(s). \tag{5}$$

Если предположить, что полиномы $A(s)$ и $B(s)$ известны, а $j$ найдено из (2) или (3), то равенства (4) и (5) представляют систему двух ПУ с тремя неизвестными полиномами $M(s)$, $N(s)$ и $L(s)$, решение которой даст искомые передаточные функции регулятора $W_{\text{р}}(s)$ и фильтра $W_{\text{ф}}(s)$. ПУ (4) имеет единственное решение, а ПУ

(5) – множество решений. Минимальное решение ПУ (5) соответствует минимально возможным степеням характеристического полинома $A(s)$ и искомых полиномов регулятора $M(s)$ и $N(s)$, при этом регулятор получается наиболее простым.

Минимальные степени полиномов $A(s)$, $M(s)$ и $N(s)$ равны [5]:

$$n_A = n_Q + n_{Q\text{н}} + 2i + j - n_{P\text{к}} - 1,\ \ n_M = n_{Q\text{н}} + i + j - 1,\ \ n_N = n_Q + i - n_{P\text{к}} - 1. \tag{6}$$

При использовании метода ПУ обычно ограничиваются отысканием минимального решения. Однако некоторые неминимальные решения могут также представлять интерес для специалистов по проектированию систем управления.

Общее (неминимальное) решение $M^*(s)$ и $N^*(s)$ находится из минимального решения $M(s)$, $N(s)$ следующим образом [1,2,5]:

$$M^*(s) = M(s) + D(s)s^{i+j}Q_\text{н}(s);\ \ N^*(s) = N(s) - D(s)P_\text{н}(s), \tag{7}$$

где $D(p)$ – произвольный устойчивый полином, не имеющий нулей в точке $s = 0$. Простой подстановкой можно убедиться, что (7) является решением уравнения (5). Неминимальное решение ПУ (5) дает все множество регуляторов, обеспечивающих устойчивость, требуемое качество и точность, определяемые желаемым характеристическим полиномом. Практический интерес представляет общее решение, полученное в предположении, что $D(s)$ – дробно-рациональная функция вида [5]:

$$D(p) = k_D / A_D(p),$$

где $k_D$ – настроечный коэффициент; $A_D(s)$ – устойчивый полином, не имеющий нулей $s = 0$. Тогда общее решение может быть записано по-другому:

$$M^*(s) = M(s)A_D(s) + k_D s^{i+j}Q_\text{н}(s);\ \ N^*(s) = N(s)A_D(s) - k_D P_\text{н}(s). \tag{8}$$

Регулятор, соответствующий этому общему решению

$$W_\text{р}(s) = \frac{M(s)A_D(s) + k_D s^{i+j}Q_\text{н}(s)}{N(s)A_D(s) - k_D P_\text{н}(s)}\,\frac{Q_\text{к}(s)}{s^j P_\text{к}(s)} = \frac{M(s)A_D(s)Q_\text{к}(s) + k_D s^j s^i Q(s)}{s^j[N(s)A_D(s)P_\text{к}(s) - k_D P(s)]}, \tag{9}$$

можно преобразовать к виду, представленному на структурной схеме рис. 2. Из нее видно, что замкнутая система содержит внутреннюю двухвходовую модель объекта. Невязка $e(t)$ через звено с передаточной функцией $s^jD(s)$ подается на вход системы. Соответствующий выбор дробно-рациональной функции $D(s)$ при условии, что она устойчива, открывает новые возможности для улучшения свойств замкнутой системы.

В частности, такая структура, благодаря наличию внутренней модели объекта, не требует точного знания структуры и параметров объекта и обладает свойством адаптивности (слабой чувствительностью к изменению параметров объекта и внешним возмущениям). Исследования показали, что в системах с регуляторами (9) чувствительность к внешним и параметрическим возмущениям уменьшается в несколько раз [5].

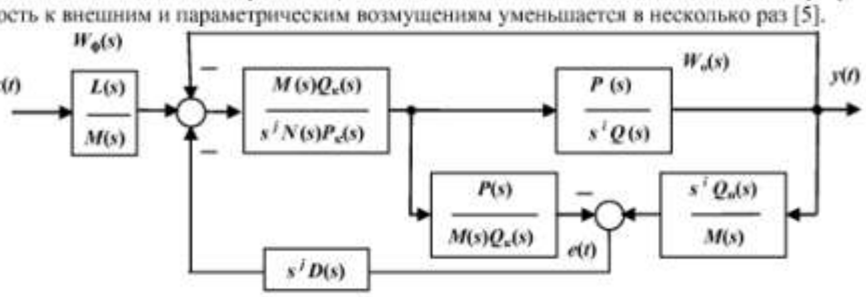


Рис. 2. Структура замкнутой системы, полученная на основе общего решения полиномиального уравнения

Синтез цифровых регуляторов может быть выполнен традиционным способом – аппроксимацией полученного методом ПУ непрерывного регулятора $W_\text{р}(s)$ цифровым, например, методом прямоугольников. Однако при высоких требованиях к быстродействию более эффективным является подход, когда синтез выполняется в z-области по методике, изложенной выше с учетом особенностей цифровых систем [5]. При этом появляются некоторые дополнительные возможности, например связанные с устранением влияния запаздывания на качество и точность процессов.

ЛИТЕРАТУРА


1. Волгин Л.Н. Элементы теории управляющих машин. – М.: Сов. радио, 1962. 164 с.

2. Волгин Л.Н. Оптимальное дискретное управление динамическими системами / Под ред. П.Д. Крутько. – М.: Наука, 1986. 240с.

3. Синтез упрощённых структур двухмассовых электроприводов с нелинейной нагрузкой / Л.В. Акимов, В.Т. Долбня, В.Б. Клепиков, А.В. Пирожок. – Харьков: НТУ "ХПИ", Запорожье: ЗНТУ, 2002. 160 с.

4. Залялеев С.Р. О применении метода полиномиальных уравнений для синтеза непрерывных систем электропривода. Электротехника, 1998, №2. С. 48-53.

5. Ишматов З.Ш. Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 278 с.