

НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ СОВРЕМЕННОГО ПРИВОДА ПОДАЧИ СТАНКОВ С ЧПУ

Евстафиева С.В., Пушков Р.Л.

(Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Россия)

В современных станках с ЧПУ в качестве привода подачи используется регулируемый по скорости электропривод, поставляемый в виде комплекта унифицированных модулей, размещаемых на станке и в коммутационном шкафу. Такие приводы имеют широкий диапазон регулирования, высокое быстродействие, позволяют обеспечить необходимое качество переходных процессов. Для использования в станках с ЧПУ регулируемый привод «настраивают» до следящего привода (добавляется обратная связь по положению).

Наиболее распространенными на сегодняшний день являются системы с подчиненным регулированием. Достоинствами таких систем являются:

- простота расчета и настройки: система разбивается на ряд контуров, каждый контур включает в себя регулятор, за счет придания которому определенных динамических свойств получают стандартные характеристики. Настройка в процессе наладки системы ведется, начиная с внутреннего контура. Поскольку регулятор имеет простую передаточную функцию, а качество настройки может быть легко оценено по результатам сравнения реакции контура на скачок управляющего воздействия со стандартной переходной характеристикой, наладка системы оказывается простой;
- удобство ограничения предельных значений промежуточных координат системы. Поскольку выходной сигнал регулятора внешнего контура является установленным значением для внутреннего контура, ограничение выходной координаты внутреннего контура достигается за счет ограничения определенным значением выходного сигнала регулятора внешнего контура;

- возможность оптимальной настройки регулирования каждой переменной, как в статике, так и в динамике.

Типовая схема привода подачи представлена на рис. 1. На схеме показаны три контура: положения (КП), скорости (КС) и тока (КТ). Устройство управления (контроллер) осуществляет управление всеми контурами следящего привода и организует взаимодействие с контроллером верхнего уровня (устройство ЧПУ станка). Регуляторы положения, скорости и тока являются программными модулями операционной системы контроллера, предназначенными для непосредственного управления соответствующими контурами привода. В них сравнивается фактический сигнал от обратной связи с управляющим сигналом. Разность этих двух сигналов после соответствующего преобразования подается на вход объекта управления, в качестве которого могут выступать внутренние контуры, или силовая часть привода.

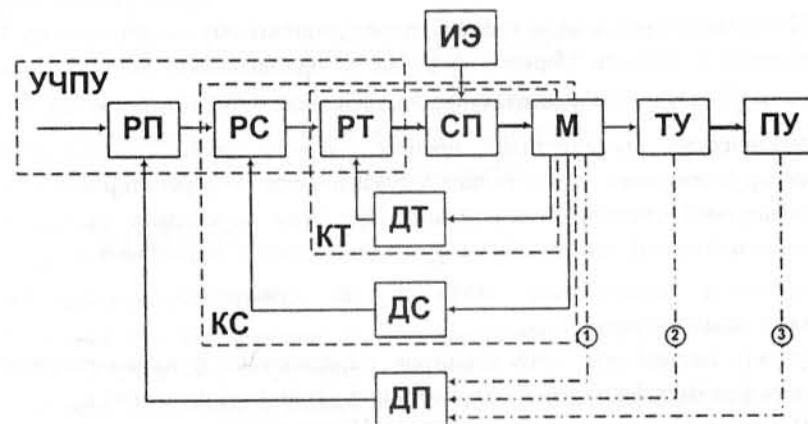


Рис. 1. Структурная схема следящего привода подачи

Основной, внешний контур – контур положения. Он включает: регулятор положения (РП), датчик перемещения (ДП), регулируемый привод (контур скорости (КС)), тяговое устройство (ТУ) и перемещаемый узел (ПУ). В зависимости от требований, предъявляемых к точности привода, и в соответствии с его конструктивными особенностями обратная связь по перемещению может охватывать не только двигатель (1), или компоненты тягового устройства (2), но и перемещаемый узел (3). Основным элементом обратной связи по положению является датчик перемещения, в котором формируется сигнал, содержащий информацию о

величине перемещения. Современный регулятор положения имеет достаточно сложную структуру, включающую в себя интерполяторы, фильтры, компараторы (элементы сравнения), ограничители предельных значений управляющего воздействия и дополнительные контуры управления. Однако его основой является классический пропорциональный регулятор.

Для получения желаемых характеристик передаточной функции значения коэффициентов ПИ-регуляторов тока, скорости и П-регулятора положения можно рассчитать следующими способами:

- 1) простейшая стандартная форма – биномиальная, т.к. ей соответствует желаемая передаточная функция (ПФ) со знаменателем в виде бинома:

$$\Phi_{ж(p)} = \frac{\omega_0^g}{(p + \omega_0)^g},$$

где ω_0 – относительная частота.

ПФ соответствует, в свою очередь, последовательному соединению из g инерционных звеньев первого порядка с одинаковыми постоянными времени $T_i = 1/\omega_0$, и, следовательно, с одинаковыми полюсами $p_i = -\omega_0$. На аperiodический переходный процесс $h_{ж(t)}$ такого соединения ориентируются лишь в тех редких случаях, когда перерегулирование в синтезируемой системе нежелательно. При этом переходные процессы имеют наибольшие длительности t_n – длительность нарастания и t_n – длительность переходного процесса по сравнению с другими стандартными формами.

- 2) фильтр Баттерворта. АЧХ фильтров, передаточные функции которых определяются фильтром Баттерворта при различных значениях n .

Полином $D_n(p)$ называется полиномом Баттерворта:

$$D_n(p) = 1 + d_1 p + d_2 p^2 + d_3 p^3 + \dots + p^n, \text{ причем } d_0 = d_n = 1.$$

Коэффициенты полиномов Баттерворта вычислены и их значения приведены в таблицах.

С увеличением n перерегулирование растёт, но является практически удовлетворительным до $n=5$, наименьшее время переходного процесса при

$$n=2 \text{ и } T_p^{(n)} = \frac{2,5}{\omega_0} = \frac{T_0^{(n)}}{\omega_0}.$$

- 3) Модульный оптимум. Замкнутый контур динамически оптимален, если он одинаково передает на выход разночастотные входные сигналы на

возможно большем интервале частот, т.е. на этом интервале модуль АЧХ замкнутого контура $|W_3(j\omega)| = const$.

Теоретически модульный оптимум может дать бесконечно большую полосу пропускания ($\omega_0 \rightarrow \infty$). Однако практически это невозможно из-за ограниченных возможностей реальных регуляторов и конечной полосы пропускания датчиков. Поэтому модульный оптимум называют также практическим или техническим оптимумом. Оптимизация на максимум полосы пропускания является также и оптимизацией по быстродействию, т.е. чем шире полоса пропускания, тем меньше время переходного процесса контура.

Для объекта управления в виде аperiodического звена первого порядка требуется ПИ-регулятор.

Настройка системы на модульный оптимум даст следующие значения для ПИ-регулятора:

$$T_K = 4T_\mu; T_0 = \frac{k_{o.y.}}{T_{o.y.}} \cdot 8T_\mu^2$$

Данная настройка носит название симметричный оптимум (СО).

$k_{o.y.}$ – коэффициент усиления объекта управления.

- 4) Интегральный взвешенный модуль ошибки.

$$I = \int_0^\infty t |\varepsilon(t)| dt = \min$$

$\varepsilon(t)$ – величина ошибки.

Оценка придает больший вес тем значениям сигнала ошибки, которые имеют место в конце переходного процесса.

Можно использовать только при исследовании систем на моделях для выявления общих тенденций.

Рассмотрим практическую реализацию настройки привода подачи. В качестве объекта исследования был выбран стенд с приводом, представленный на рис. 2.

Данный стенд состоит из двигателя (1) Siemens 1FK7043-7AK71 (параметры двигателя приведены в табл. 1), одноосевого силового модуля (2) SINAMICS S120, блока управления приводами (3) Siemens CU-320, блока питания (4), персонального компьютера (5) с программным обеспечением Siemens STARTER, предназначенным для настройки и снятия динамических характеристик приводов.

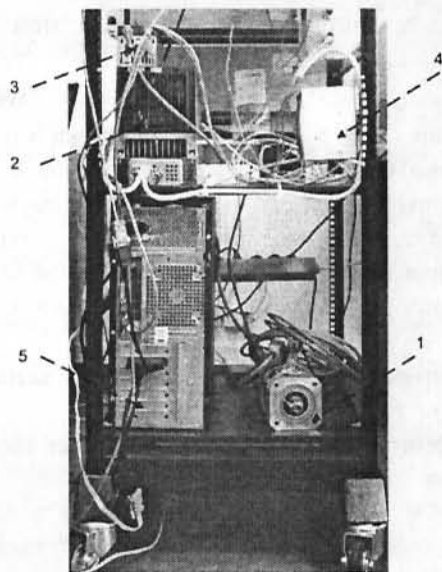


Рис. 2. Стенд для проведения исследований

Таблица 1
Параметры исследуемого двигателя

Параметры двигателя	1FK7043-7AK71
Момент инерции ротора без стояночного тормозом (J), кгм ²	0,000101
Постоянная крутящего момента (K_M), Нм/А	0,48
Сопротивление обмотки (R_s), Ом	0,65
Индуктивность обмотки (L_s), Гн	0,009
Электрическая постоянная времени (T_s), с	0,0138
Номинальная скорость, мин ⁻¹	6000
Номинальный момент, Нм	2
Максимальный крутящий момент, Нм	9,4
Максимальный ток, А	20

Исследования проводятся для четырех различных типов настроек ПИ-регуляторов, значения коэффициентов регуляторов приведены в табл. 2.

Имитационное моделирование проводилось в среде моделирования динамических систем Simulink, входящей в состав системы инженерных и научных вычислений MATLAB. Модель была описана в работе [1].

Таблица 2
Значения коэффициентов регуляторов

Параметры привода	SINAMICS S120			
	Фильтр Баттерворта	Модульный оптимум	ИВМО	Биномиально с разложение
Коэффициент усиления частотного преобразователя (K_n), В	400	400	400	400
Такт SINAMICS Integrated (τ), мкс	125	125	125	125
Коэффициент усиления регулятора положения (K_{pn}), 1/с	382	382	382	382
Коэффициент усиления регулятора скорости (K_{pc}), Нмс/рад	0,125	0,101	0,159	0,08
Постоянная времени регулятора скорости (T_{pc}), мс	1,31	2	1,13	2,5
Коэффициент усиления регулятора тока (K_{pm}), В/А	17,94	17,94	22,9	14,35
Постоянная времени регулятора тока (T_{pm}), мс	13,8	13,8	13,8	13,8

Результаты моделирования и экспериментальные показания приведены на рис. 3. На графиках присутствуют экспериментальные данные, полученные на стенде, описанном выше, и теоретические расчетные данные, полученные в результате моделирования.

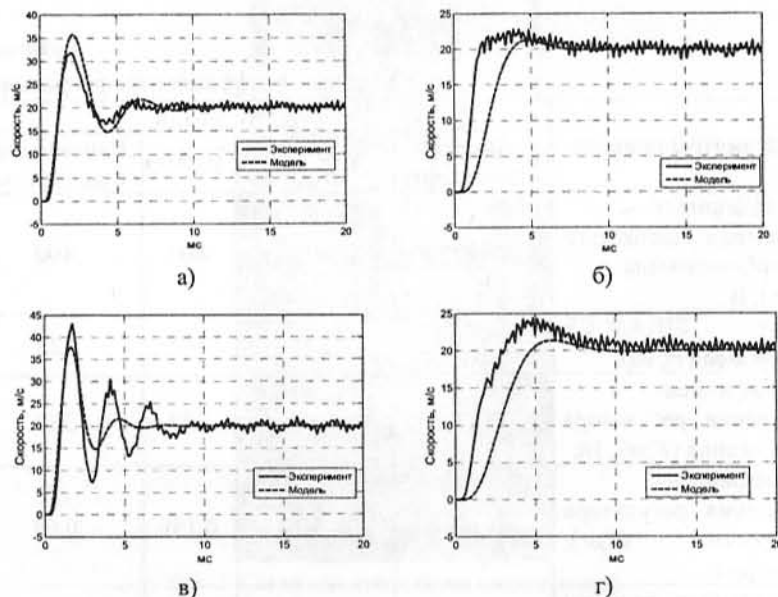


Рис. 3. Реакция контура скорости на ступенчатое воздействие: а - настройка «фильтр Баттерворта»; б - настройка «модульный оптимум»; в - настройка «ИВМО»; г - настройка «Биномиальное разложение»

Результаты моделирования и эксперименты подтверждают теоретические выводы о применимости и качественных характеристиках переходного процесса.

Сравнение экспериментальных результатов и результатов моделирования позволяет сделать вывод, что простая имитационная модель, основанная на использовании двигателя постоянного тока, с удовлетворительной степенью достоверности качественно и количественно воспроизводит процессы в контурах управления современных приводов подачи.

Изучение и использование различных вариантов настроек ПИ-регуляторов контуров тока и скорости и П-регулятора контура положения дает возможность упростить и автоматизировать настройку привода не подбирая значения коэффициентов регуляторов, а рассчитывая их значения исходя из параметров привода.

Реализовав модель, описанную в [1], в виде прикладного программного модуля современной универсальной системы ЧПУ [2], можно существенно

упростить задачу адаптации системы ЧПУ к приводам конкретного станочного оборудования и вводить их в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евстафиева С.В., Молодцов В.В. Моделирование следящего привода подачи современных станков с ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 9. С. 37-44.
2. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л. Принцип построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. №4(12). С. 116-122.