УДК 62-503.56

СИНТЕЗ АЛГОРИТМА ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Крупская М. А. , Стасевич Н. А.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,

Введение. В технических приложениях имеется важный класс задач, в которых требуется перевести управляемый объект в назначенное состояние за конечный интервал времени. При этом критерием или показателем качества управления служит точность приведения объекта в конечный момент времени. Такие задачи называются терминальными. Алгоритмы управления, обеспечивающие решение терминальных задач, называют алгоритмами терминального управления [1].

Целью данной работы является синтез регулятора для системы позиционирования, осуществляющего без перерегулирования точную отработку за заданное время различных по величине входных ступенчатых воздействий. При синтезе регулятора будет использоваться идея настройки объекта управления в резонанс на управляющее воздействие.

1. Теоретические аспекты

Решим задачу синтеза регулятора, осуществляющего точную отработку различных по величине скачкообразных задающих воздействий $g(t) = g_0 \cdot 1(t)$ с заданным временем отработки. При синтезе регулятора будет использоваться идея настройки объекта управления в резонанс на управляющее воздействие. Такой подход позволяет формировать вынужденные движения системы в генераторном режиме работы с максимальным использованием энергии свободных процессов ОУ. Рассмотрим системы с треугольным профилем скорости.

На рисунке 1 представлены требуемые графики изменения перемещения $y(t)$, скорости $\dot{y}(t)$ и ускорения $\ddot{y}(t)$ выходной координаты.

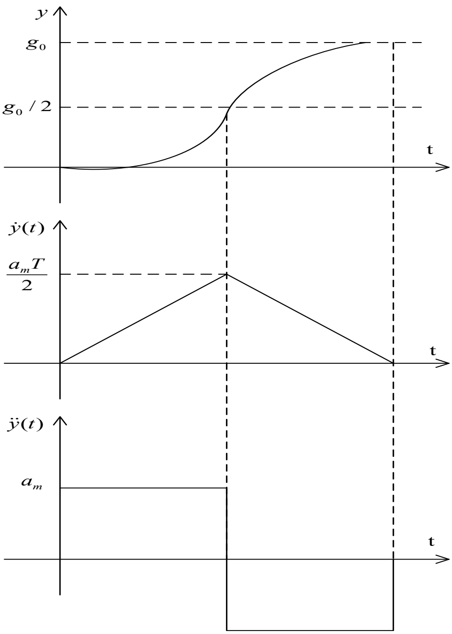

Рисунок 1 – Эпюры изменения сигналов

Желаемая зависимость ускорения от времени $\ddot{y}(t)$ состоит из участка разгона $(0 < t \le t_1)$ и участка торможения $(t_2 < t \le T)$, $t_1 = t_2 = 0,5T$ и может быть представлена в виде соединения трех ступенчатых функций

$$\ddot{y}(t) = a_m (1(t) - 2 \cdot 1(t - 0,5T) + 1(t - T)), \qquad (1)$$

где $1(t)$ – единичная ступенька Хевисайда.

Путем последовательного интегрирования уравнения (1) можно получить выражение для сигнала перемещения

$$y(t) = 0,5a_m (t^2 \cdot 1(t) - 2(t - 0.5T)^2 \cdot 1(t - 0.5T) + (t - T)^2 \cdot 1(t - T)).$$

Найдем изображение по Лапласу для выходного сигнала

$$Y(s) = a_m \frac{1 - 2e^{-0.5Ts} + e^{-Ts}}{s^3}.$$

Для входного сигнала $g(t) = g_0 \cdot 1(t)$ изображение по Лапласу имеет вид $G(s) = g_0 / s$. Разделив выражение $Y(s)$ на изображение $G(s)$,получим передаточную функцию замкнутой скорректированной системы

$$\Phi(s) = \frac{a_m}{g_0} \frac{1 - 2e^{-0,5Ts} + e^{-Ts}}{s^2} \tag{2}$$

которую с учетом

$$T = 2V_m / a_m = 2\sqrt{g_0 / a_m} \tag{3}$$

можно переписать в виде

$$\Phi(s) = \frac{4}{T^2} \frac{1 - 2e^{-0,5Ts} + e^{-Ts}}{s^2}. \tag{4}$$

Знаменатель передаточные функции (4) содержит только четную степень переменной s и отвечает условию оптимальности. Наличие в оптимальных замкнутых системах двух нулевых полюсов свидетельствует о том, что они работают как генераторы, реакция которых на ступенчатый входной сигнал является периодическим процессом, состоящим из отрезков парабол [2].

В случае движения с постоянным ускорением a_m время переходного процесса T для треугольного профиля скорости согласно выражению (3) определяется уравнением $T = 2\sqrt{g_0 / a_m}$. Зависимость времени T от величины ступеньки g_0 не позволяет осуществить терминальное управление. Задача терминального управления легко решается, если обеспечить прямо пропорциональную зависимость между ускорением, развиваемым исполнительным двигателем с нагрузкой, и величиной входного ступенчатого воздействия. Для этого заменим в уравнении (3) ускорение a_m на величину $\ddot{y} = k \cdot g_0$ тогда

$$T = 2\sqrt{\frac{g_0}{\ddot{y}}} = 2\sqrt{\frac{1}{k}}$$

где k – коэффициент пропорциональности. Величина T является величиной постоянной и не зависит от входного ступенчатого воздействия, что и обеспечивает режим терминального управления. Данное выражение позволяет по заданному времени позиционирования T определить коэффициент пропорциональности k в виде $k = 4 / T^2$.

Для системы позиционирования должен быть организован не чисто генераторный (периодический) алгоритм работы, а алгоритм генерации сигналов с фиксацией в требуемом положении. После отработки каждого очередного скачка задающего воздействия g_0 необходимо перейти в установившийся режим позиционирования (фиксации), для которого характерно полное гашение накопленной энергии движения и остановка исполнительного двигателя с нагрузкой в заданной точке позиционирования.

Таким образом, система позиционирования должна иметь разрывные законы управления, позволяющие в генераторном режиме осуществлять разгон и торможение, а затем производить фиксацию ОУ после отработки требуемых ступенчатых перемещений. Желаемые разрывные управления проще всего организовать в виде кусочно-постоянных (ступенчатых) сигналов. Под действием таких управлений изменяется скачкообразно только высшая производная регулируемой координаты, а производные более низких порядков уже не могут претерпеть таких изменений и будут являться кусочно-гладкими функциями времени.

2. Реализация системы

Рассмотрим пример синтеза регулятора для управления горизонтальным перемещением транспортного робота. Объект управления включает в себя асинхронный двухфазный двигатель, редуктор, силовой преобразователь между источником питания и двигателем. Передаточная функция объекта управления запишем в виде

$$W(s) = \frac{K}{s(T_i\, s + 1)}, \tag{5}$$

где K – общий коэффициент передачи;

T_i – электромеханическая постоянная времени.

Для объекта управления с передаточной функцией (5) требуемое желаемое управляющее воздействие будет иметь вид:

$$u(t) = \frac{T_{\grave{\imath}}}{K}\ddot{y}(t) + \frac{1}{K}\dot{y}(t) = u_1(t) + u_2(t) \quad , \tag{6}$$

где составляющая

$$u_1(t) = \frac{T_{\grave{\imath}}}{K}\ddot{y}(t)$$

содержит высшую производную $\ddot{y}(t)$ и будет иметь кусочно-постоянную форму, а

$$u_2(t) = \frac{1}{K}\dot{y}(t)$$

является кусочно-гладкой функцией времени.

Необходимо отметить, что при проектировании системы используется настройка объекта управления в резонанс на скачкообразные сигналы управления, изменяющийся по формуле (1). Запишем передаточную функцию ОУ с учетов положительной обратной связи по скорости:

$$W_{\text{ç}}(s) = \frac{W(s)}{1 - W(s)\cdot\frac{s}{K}} = \frac{K}{T_{\grave{\imath}}\, s^2}. \tag{7}$$

Можно заметить, что знаменатель передаточной функции содержит четную степень переменной s и отвечает условию оптимальности. Изображение по Лапласу входного сигнала $u_1(t)$ содержит оператор s в знаменателе. Поэтому контур оказывается настроенным в резонанс на скачкообразное управляющее воздействие $u_1(t)$ и активно реагирует именно на такой кусочно-постоянный вид сигналов.

С учетом условия коэффициента пропорциональности $k = 4/T^2$, входной сигнал должен быть задан в виде

$$u_1(t) = g_0 \frac{4T_{\grave{\imath}}}{T^2 K} \cdot \tag{8}$$

Для рассматриваемой системы характерны следующие режимы работы:

1) разгон с заданным максимальным ускорением a_m до тех пор, пока выполняется условие $|0,5e_m| < |e(t)| \le |e_m|$;

2) режим торможения, с ускорением - a_m на том участке движения, где справедливо неравенство $|\alpha e_m| < |e(t)| \le |0,5e_m|$;

3) заключительный режим позиционирования протекает при выполнении соотношения $0 \le |e(t)| \le |\alpha e_m|$, где $\alpha \ll 1$.. Обычно величина $\alpha \in [0.01, 0.05]$.

Все переключения разрывных управлений производятся в функции от максимального значения сигнала ошибки. Для определения значения максимальной величины сигнала ошибки и хранения ее на определенное время применяется пиковый детектор (ПД).

Для организации режима позиционирования в структуре системы предусмотрен верхний канал, который осуществляет движение фазовой плоскости через начало координат, в соответствии с уравнением $\dot{\varepsilon} = -k\varepsilon$, где $k = -\dot{\varepsilon}/\varepsilon$ – угловой коэффициент наклона прямой.

Моделирование системы проводилось в пакете Matlab Simulink. Схема модели представлена на рисунке 2.

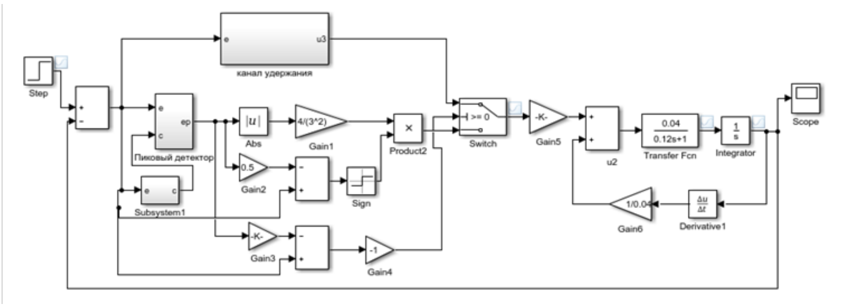

Рисунок 2 – Схема модели

Параметры для моделирования: $K = 0{,}04 B \cdot c / рад$, $T_м = 0{,}12 \cdot c$, $a_m = 0.5$ рад/с^2

Длительность переходного процесса T = 3 с. Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

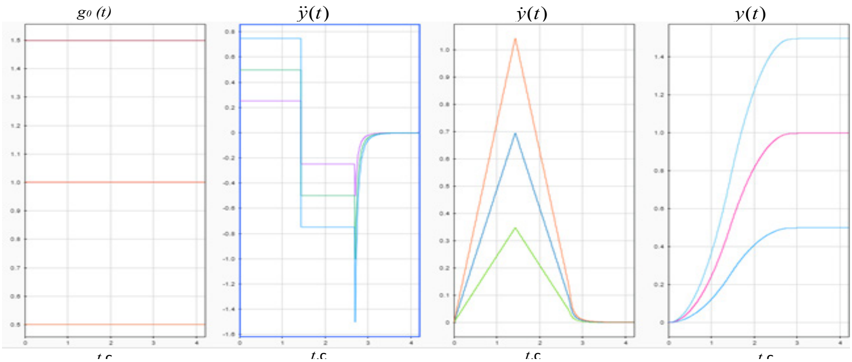

Рисунок 3 – Результаты моделирования

По результатам моделирования можно заметить, что заданное время переходного процесса остается неизменным для различных по величине входных ступенчатых воздействий. Что говорит о том, что система является инвариантна к входному сигналу. Использование канала удержания обеспечивает точное позиционирование в желаемой точке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батенко А. П. Системы терминального управления. – М: Радио и связь, 1984.

2. Горбачев А. Д. Тексты лекций по курсу «Современные методы синтеза систем управления» для студентов специальности «Автоматика и управление в технических системах». – Мн.: БГУИР, 1994. – 180 с.