

**КОМП'ЮТЕРНІ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ**

УДК 681.513.6:621.337.1

*Кандидаты тех. наук Б.Т. Сытник,
С. И Яцько,
ассист. В.А. Брыксин,
асп. В.С. Михайленко,
Ю.П. Усков*

**АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ
ВЫСОКОГО ПОРЯДКА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Часть 3. Синтез адаптивного трехпозиционного частотно-импульсного ПИ-регулятора с оптимизацией параметров настройки на основе критерия гарантированной степени устойчивости

Представил д-р техн. наук, профессор Г.И. Загарий

Постановка проблемы. При построении систем управления важным является вопрос выбора критерия оптимальности управления. Анализ методов синтеза систем управления показывает, что выбор критерия оптимальности управления не поддается формализации и остается субъективным в процессе синтеза.

Критерии оптимальности, основанные на показателях качества переходных процессов, например, минимума интеграла квадрата ошибки, требуют адекватной априорной информации, а в условиях неопределенности – определения статистических характеристик сигналов (при необходимых больших затратах времени на их определение), что требует выполнения операции интегрирования сигналов в бесконечных границах (ограничение пределов интегрирования может привести к неоптимальному управлению). Последнего недостатка лишен критерий минимума интеграла суммы квадратов ошибки и ее

производных, взятых с определенными весовыми коэффициентами. Однако теоретическое обоснование для выбора конкретных значений этих весовых коэффициентов отсутствует.

Критерий максимальной степени устойчивости (КМСУ) [16] лишен большинства недостатков, присущих выше перечисленным критериям. Его выполнение однозначно определяет параметры управляющего воздействия. Использование критерия КМСУ приводит, как правило, к близким к апериодическому переходным процессам (для систем до 3 порядка включительно – к наилучшему из апериодических процессов).

При наличии априорной информации о системе (структура, порядок) оптимальные параметры управления могут быть связаны несложными соотношениями с известными характеристиками (постоянные времени, запаздывание, коэффициент передачи). В условиях неопределенности выбор оптимальных параметров управления сводится к задаче

максимизации одной величины – степени устойчивости. Эта задача в [16] решена значительно проще, чем нахождение экстремума сложных функционалов. Однако для систем высокого порядка необходимо нахождение всех корней характеристического квазиполинома (необходимых для использования КМСУ), но аналитические методы их определения отсутствуют.

Существенным недостатком известных [1-4, 20, 21, 22] двух- и трехпозиционных частотно-импульсных ПИ-регуляторов является невозможность коррекции их настроек к изменениям параметров статических и динамических характеристик объектов управления и адаптивных фильтров. Это либо снижает качество процессов управления в системах управления подвижным составом (ПС), характеристики которого изменяются в широких пределах [5-9], либо приводит к хаосу в релейных и широтно-импульсных системах автоматического управления и неустойчивой работе контура управления (переходу на ручное управление). Для систем управления высокого порядка с переменными параметрами и запаздыванием, функционирующих в условиях воздействия на них помех переменной интенсивности, отсутствует возможность коррекции параметров известных [16,17] двух- и трехпозиционных частотно-импульсных ПИ-регуляторов. Это объясняется как отсутствием параметрических входов для ввода сигналов коррекции, так и отсутствием аналитических методов нахождения корней характеристических квазиполиномов высокого порядка, необходимых для вычисления критерия максимальной степени устойчивости [16], а, следовательно, и оптимальных настроек регулятора.

Основной задачей работы является создание адаптивного двух- и трехпозиционного частотно-импульсного ПИ-регулятора, имеющего параметрические входы для ввода сигналов коррекции

(на основе нового критерия оптимизации – гарантированной степени устойчивости [21]). Регулятор должен иметь независимые параметры настройки пропорциональной и интегральной частей регулятора, а требуемый закон управления определяется средней составляющей последовательности формируемых регулятором импульсов, выделяемой интегрирующим исполнительным механизмом постоянной скорости [20] и инерционной непрерывной частью системы.

Анализ литературы. Анализ работ [1-17], проведенных в области автоматизации локомотивных систем на базе микро-ЭВМ, показывает, что значительное снижение эффективности управления ПС вызывается изменением во времени статических и динамических параметров объектов управления, а также помехами от работы полупроводниковых преобразователей, управляемых выпрямителей, преобразователей частоты, датчиков и нагрузки, что вызывает отклонение количественных и качественных показателей работы систем управления от заданных оптимальных значений.

Практика создания эффективных адаптивных дискретных регуляторов для систем управления ПС требует применять робастные [14] или адаптивные фильтры [15-19], отличающиеся высокой эффективностью и простотой технической реализации. Учет ограничений характеристик сигналов и помех, которые имеют место в практических случаях, а также использование микропроцессорной техники позволяют использовать высокоэффективные адаптивные цифровые фильтры [16-19], которые имеют параметрический выход, на котором формируется сигнал о текущих изменениях отношений оценок полезного сигнала к помехам, используемый для адаптации регуляторов.

В [17-19] получены новые цифровые модели адаптивных фильтров, помехозащищенных дифференциаторов с

автоматической быстродействующей идентификацией текущих значений отношений оценок случайных полезных сигналов к помехам, что дает возможность автоматической коррекции текущих параметров настройки регуляторов.

В [20-22] предложена процедура синтеза модели дискретных (релейно-импульсных) регуляторов с заданными динамическими характеристиками. Средняя составляющая выходных импульсов на выходе нелинейного звена с коррекцией параметров нелинейной характеристики, формируемая на выходе такого регулятора и выделяемая инерционной приведенной непрерывной частью, изменяется по закону, определяемому обратной передаточной функцией звена в обратной связи нелинейного элемента. Получены аналитические выражения, связывающие критерий оптимизации и параметры формируемых импульсов с переменными параметрами объекта и адаптивного фильтра. Однако в данном регуляторе отсутствуют параметрические входы для ввода требуемых сигналов коррекции независимых параметров настройки пропорциональной и интегральной частей регулятора

Цель работы. Цель работы состоит в создании эффективной системы управления ПС рельсового транспорта на основе нового критерия оптимизации с применением адаптивных частотно-импульсных ПИ-регуляторов, обладающих повышенной помехозащищенностью, адаптацией и имеющих дополнительные параметрические входы для ввода требуемых сигналов коррекции

независимых параметров настройки пропорциональной и интегральной частей регулятора

Основные результаты. Известно [5-13], что для управления электроприводом локомотива необходимо использовать регуляторы, формирующие импульсный, например, ПИ-закон регулирования.

Использование регуляторов с непрерывным выходным сигналом в такой системе не применимо из-за дискретного характера управления полупроводниковыми преобразователями электропривода.

В [20, 21] получены выражения для искомой передаточной функции $K(z)$ цифрового ПИ-регулятора

$$K(z) = \frac{1}{W_{uэ}(z)W_{ф}(z)W_0(z)} \frac{H_{жс}(z)}{1 - H_{жс}(z)} \frac{\sigma_a}{\sigma_u}, \quad (1)$$

где $H_{жс}(z)$ – желаемая передаточная функция замкнутой системы,

$\sigma_a = 2^{-n_a}, \sigma_u = 2^{-n_u}$ – коэффициенты передачи

линеаризованных АЦП и ЦАП, $W_0(z)$ – дискретная передаточная функция приведенной непрерывной части (ПНЧ) системы,

$W_{ф}(z)$ – дискретная передаточная функция адаптивного фильтра,

$W_{uэ}(z)$ – дискретная передаточная функция исполнительного элемента (ИЭ), n_a разрядность АЦП, n_u разрядность ЦАП.

Рассмотрим замкнутую систему, состоящую из звеньев K_1 и $K_{oc}(p)$, структурная схема которой приведена на рис. 1.

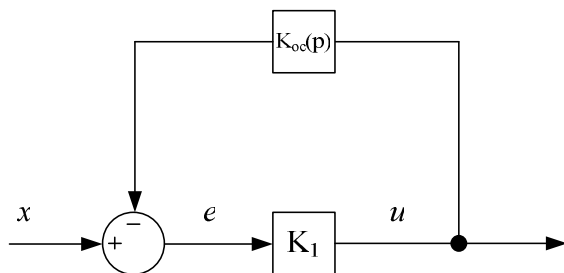


Рис. 1. Структурная схема системы

Передаточная функция этой системы в соответствии с формулой (2) при большом коэффициенте K_I равна обратной передаточной функции звена в цепи обратной связи

$$K(p) = \lim_{K_I \rightarrow \infty} \frac{K_I}{1 + K_I K_{oc}(p)} = \lim_{K_I \rightarrow \infty} \frac{1}{\frac{1}{K_I} + K_{oc}(p)} = \frac{1}{K_{oc}(p)}. \quad (2)$$

Пусть передаточная функция ИЭ описывается интегрирующим звеном с передаточной функцией

$$W_{иэ}(p) = \frac{V_{иэ}}{p},$$

где $V_{иэ}$ – коэффициент передачи ИЭ. Для формирования, например, ПИ-закона регулирования с передаточной функцией

$$W_{пид}(p) = K_{пид} + \frac{K_{и}}{p},$$

с учетом передаточной функции ИЭ $W_{иэ}(p)$ получаем

$$W_{пид}(p) = K_{пид} + \frac{K_{и}}{p} = K_{пид} + \frac{1}{T_{и} p} = (k_2 + \frac{k_3}{p})V_{иэ} = (k_2 p + k_3) \frac{V_{иэ}}{p} = W_{пид}(p)W_{иэ}(p). \quad (3)$$

Из (3) следует, что устройство управления должно формировать пропорционально-дифференциальный закон управления с передаточной функцией

$$W_{пид}(p) = k_2 p + k_3$$

Следовательно, для реализации этого управления в цепь обратной связи системы (рис. 1) необходимо установить звено с передаточной функцией

$$K_{oc}(p) = W_{пид}^{-1}(p) = \frac{1}{k_2 p + k_3}, \quad (4)$$

т.е. апериодическое звено первого порядка.

Для перехода от непрерывных регуляторов к дискретным частотно-импульсным аналогам в [20] использовано свойство формирования закона управления обратной передаточной функцией звена (4), включенного в цепь отрицательной обратной связи нелинейного элемента с двухпозиционной (рис. 2) или трехпозиционной (рис. 3) характеристикой.

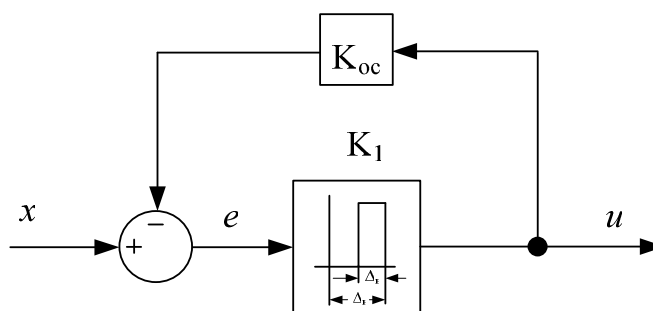


Рис. 2. Структурная схема системы с двухпозиционной характеристикой

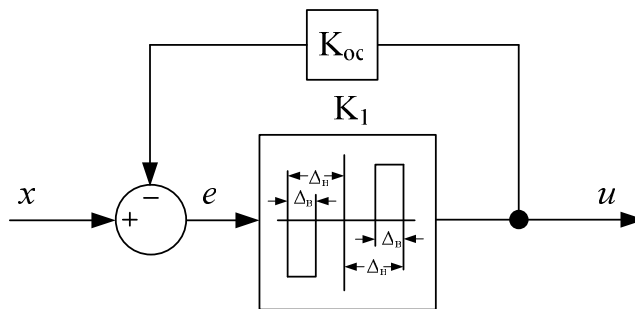


Рис. 3. Структурная схема системы с трехпозиционной характеристикой

Средняя составляющая последовательности импульсов на выходе нелинейного звена, выделяемая интегрирующим звеном (исполнительным механизмом постоянной скорости или экстраполятором первого порядка) и формируемая на выходе такого регулятора, изменяется по закону, определяемому обратной передаточной функцией звена в обратной связи нелинейного элемента (4), следующим образом

$$K_{oc}(z) = \frac{W_{u\bar{e}}(z)W_{\phi}(z)W_o(z)}{1 - H_{ж}(z)} * \frac{H_{ж}(z)\sigma_u}{\sigma_a}$$

Для многих транспортных объектов нежелательным является колебательный переходный процесс [8-13] управляемой переменной $y(t)$, который вызывает частые переключения исполнительных механизмов (исполнительных двигателей, приводов). Поэтому предположим, что в динамическом режиме желаемым является аperiodический переходной процесс, при котором при подаче на уставку регулятора ступенчатого единичного возмущения замкнутый контур управления ведет себя как непрерывная модель первого порядка с запаздыванием с передаточной функцией

$$H_{ж}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{\omega_{ж} e^{-\tau p}}{p + \omega_{ж}}$$

Z-преобразование которой равно

$$H_{ж}(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(1 - e^{-\omega_{ж}\tau})z^{-N-1}}{1 - e^{-\omega_{ж}\tau}z^{-1}}, \quad (5)$$

где $\omega_{ж} = \frac{1}{T_{ж}}$ – начальный параметр

настройки адаптивного фильтра $W_{\phi}(z)$, характеризующий желаемую полосу пропускания $\omega_{ж}$ случайного полезного сигнала при отсутствии помех и равный частоте сопряжения, определяющей требуемую полосу пропускания ЛАЧХ модели, моделирующей динамику замкнутого контура управления, и обратно пропорциональный постоянной времени $T_{ж}$ этой модели.

Оптимальная постоянная времени адаптивного фильтра [17-19] равна

$$T_{opt} = T_{ж} \sqrt{\frac{Q}{R + \Delta}}$$

где Δ – константа, исключаяющая деление на ноль,

R и Q – соответственно, текущие оценки уровней спектральной плотности случайного полезного сигнала и случайной помехи, характеризующие текущие изменения установленной полосы пропускания фильтра.

Подстановка (5) в (1) определит передаточную функцию цифрового регулятора, обеспечивающего переходной процесс в замкнутом контуре управления близкий к желаемому, в следующем виде:

$$K(z) = \frac{1}{W_{um}(z)W_{\phi}(z)W_o(z)} \cdot \frac{(1 - e^{-\omega_{ж}T})z^{-N-1}}{1 - e^{-\omega_{ж}T}z^{-1} - (1 - e^{-\omega_{ж}T})z^{-N-1}} \quad (6)$$

Для систем высокого порядка уравнение объекта с переменными параметрами имеет вид

$$\sum_{i=1}^n a_i(t) y^{(i)}(t) + y(t) = K_0(t)u(t-\tau) + \lambda(t-\tau), \quad (7)$$

где $a_i(t)$, $K_0(t)$ – переменные параметры объекта управления;

$y(t)$ – выходной сигнал объекта;

$u(t)$ – сигнал управления;

$\lambda(t)$ – возмущение по нагрузке;

τ – запаздывание.

Линейный непрерывный закон управления ищется в следующем виде:

$$u(t) = \sum_{i=0}^m b_i e^{i-1}(t), \quad (8)$$

где $e(t) = x_0(t) - y(t)$ – сигнал ошибки.

$$\text{Для } i=0 - b_0 e^{(-1)}(t) = \frac{K_{II}}{T_{II}} \int_0^t e(h) dh,$$

$$\text{для } i=1 - b_1 e^{(0)}(t) = K_{II} e(t);$$

$$\text{для } i=2 - b_2 e^{(1)}(t) = K_{II} T_D de(t) / dt$$

и т.д.

Соответствующий (8) для $m=0,1,2$ цифровой закон управления имеет вид

$$u[nT] = K_{II} e[nT] + \frac{K_{II} T}{T_D} \sum_{i=1}^n e(iT) + \frac{K_{II} T_{II}}{T} [e[nT] - e[(n-1)T]]. \quad (9)$$

Оптимальные коэффициенты настройки $K_{номт}$, $T_{донт}$, $T_{ионт}$ и T определяются согласно [18] из характеристического полинома замкнутой системы

$$D(-I) = e^{\tau p} \left(a^{n+1} (-I)^{n+1} + \sum_{i=1}^n a_i (-I)^i \right) + \sum_{i=1}^m b_i (-I)^i = 0 \quad (10)$$

и системы рекуррентных соотношений из $m+1$ производных (7)

$$D^{(m+1)}(-I) = \frac{d^{(m)} D(-I)}{dI^m} = 0 \quad (11)$$

Используя результаты работы [16], критерий максимальной степени устойчивости определяется из соотношения

$$I_{min} = -\max_{i=1, \infty} \min \operatorname{Re} p_i, \quad (12)$$

где $p_i = -I_i$ – корни характеристического полинома (10). Для характеристических полиномов высокого порядка отсутствуют аналитические методы определения всех p_i , а из них требуемого I_{min}

Гарантированная степень устойчивости

$$I_{жс} = \omega_{жс} = f(a_i, b_i, \tau, T_{онт}) \leq I_{min}$$

определена в [21] по правой, ближайшей к мнимой оси границе корней производной $m+1$ порядка характеристического

полинома замкнутой системы (10). Она будет равна коэффициенту $m+1$ производной (10) при I . **Значение этого коэффициента $I_{жс}$ названо критерием гарантированной степени устойчивости (КГСУ).**

Передаточная функция замкнутой системы управления в этом случае будет определяться выражением [21,22]

$$H_{жс}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{K_{Понм} K_0 p + \frac{K_0}{T_{Понм}}}{(p + I_{жс})^{m+1} (p + I_i)^{n-m+1}},$$

где $I_{жс} \leq I_{min} \leq I_i$.

В качестве примера в [22] определена зависимость величины КГСУ $I_{жс}$ от изменяющихся во времени параметров

объекта управления K_0, τ, T_1 , и адаптивного фильтра T_2 по результатам анализа характеристического уравнения замкнутой системы регулирования 3-го порядка, содержащей ПИ-регулятор, адаптивный фильтр и объект управления.

Структурная схема модели синтезированного в соответствии с рис. 2, 3 адаптивного регулятора с дискретным частотно-импульсным ПИ-законом регулирования, содержащего дополнительные параметрические входы для ввода требуемых сигналов настройки, приведена на рис. 4, а на рис. 5 – структурная схема модели контура управления, содержащего данный регулятор.

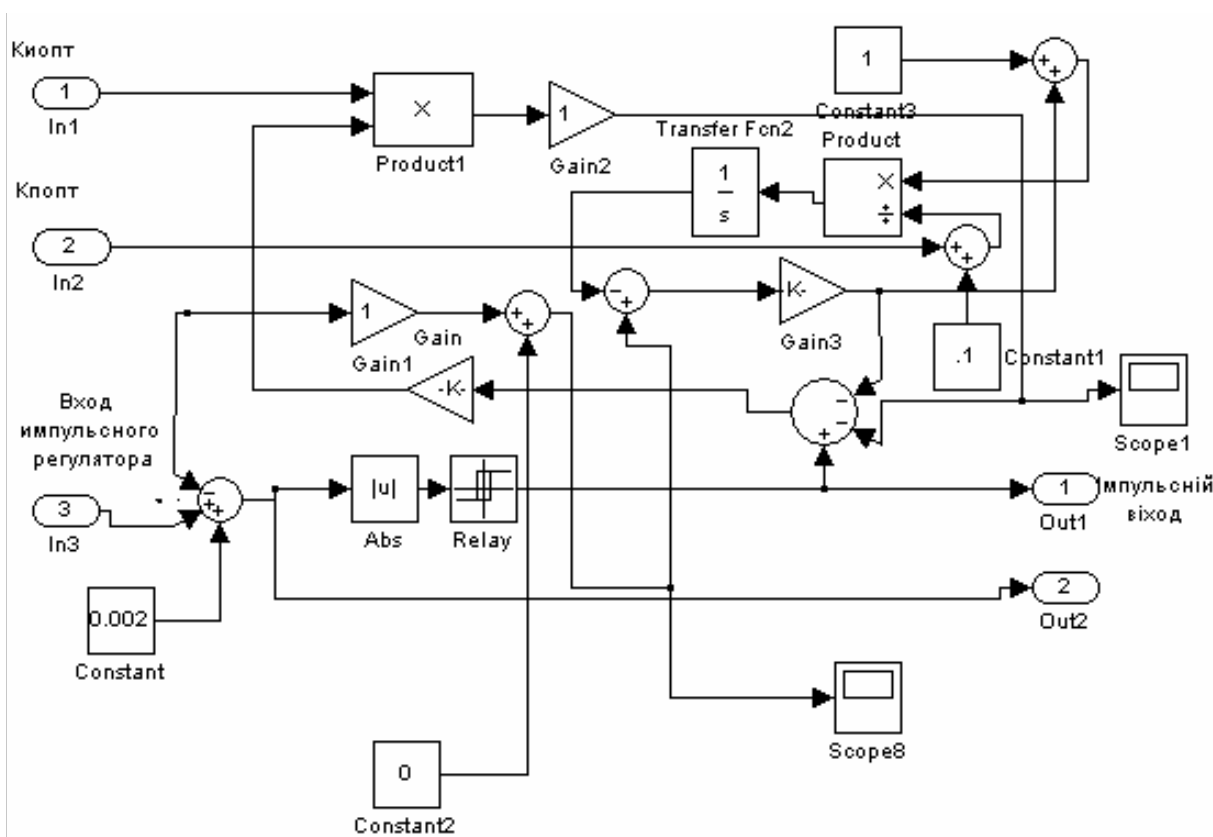


Рис. 4. Структурная схема модели дискретного адаптивного частотно-импульсного ПИ-регулятора

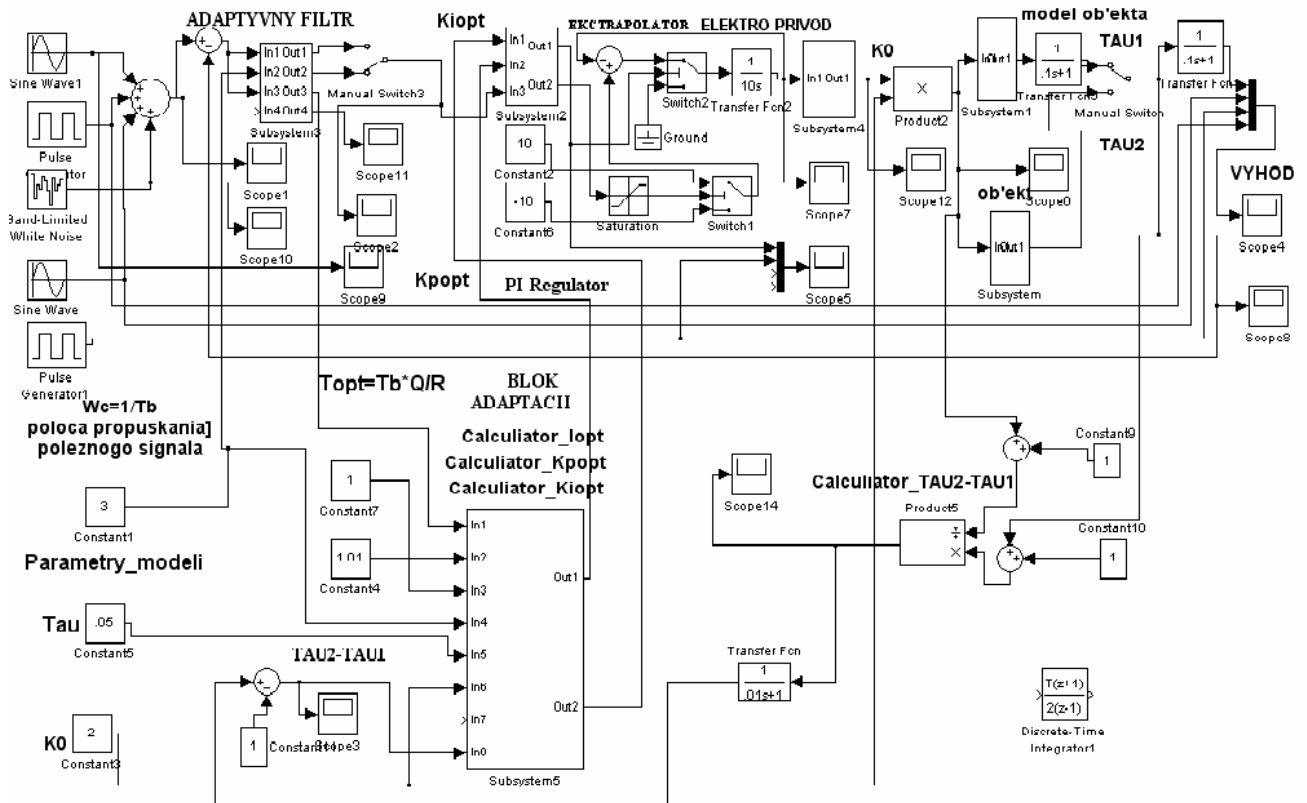


Рис. 5. Структурная схема модели системы с новым адаптивным дискретным частотно-импульсным ПИ-регулятором

Имением коэффициентов k_2 , k_3 (3), (4) осуществляется формирование требуемых параметров настройки пропорциональной и интегральной частей ПИ-регулятора. Дискретные электрические регуляторы являются составной частью систем, широко используемых на транспорте. За счет изменения структуры элемента обратной

связи (рис. 1) в системе легко реализуются требуемые законы регулирования (например, ПИ-, П-, ПИД-, ПД- и др.).

На рис. 6, 7, 8 приведены результаты моделирования цифровой системы третьего порядка с запаздыванием с использованием нового критерия оптимизации КГСУ и адаптивного фильтра.

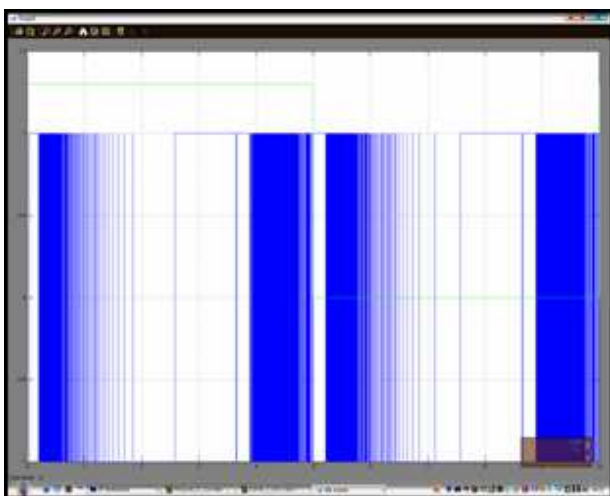


Рис. 6. График переходного процесса $U(i)$

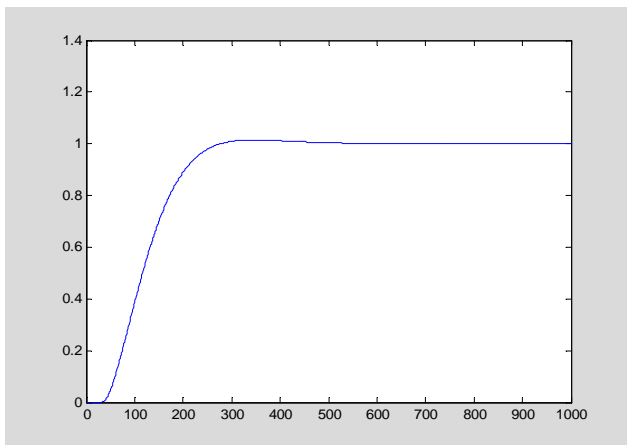


Рис. 7. График кривой переходного процесса $Y(i)$ на выходе объекта

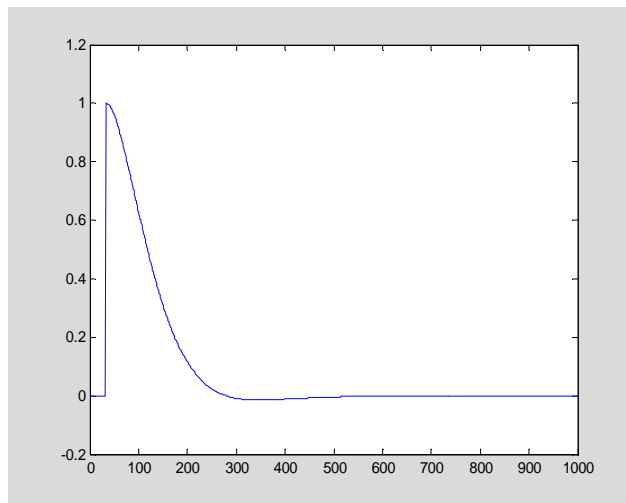


Рис. 8. График кривой переходного процесса $E(i)$ ошибки регулирования

Выводы. 1. Разработана методика синтеза модели дискретных (релейно-импульсных) регуляторов с заданными динамическими характеристиками. Средняя составляющая выходных импульсов на выходе нелинейного звена с нечеткой коррекцией, формируемая на выходе такого регулятора и выделяемая инерционной приведенной непрерывной частью изменяется по закону, определяемому обратной передаточной функцией звена в обратной связи нелинейного элемента.

2. В данном регуляторе имеются параметрические входы для ввода

требуемых сигналов коррекции независимых параметров настройки пропорциональной и интегральной частей регулятора, что позволяет для систем высокого порядка использовать критерий КГСУ, который не требует решения характеристического уравнения [21, 22] третьего (и более высоких порядков), для нахождения всех корней, а из них – минимального (необходимого для КМСУ).

3. Использование КГСУ позволяет оптимизировать продолжительность переходного процесса в замкнутом контуре управления содержащего предложенный адаптивный дискретный регулятор.

Список литературы

1. Фалькович, В.Н. Динамические характеристики регуляторов серии РПИБ [Текст] // Приборы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1969. – С. 4-7.
2. Быстров, А.М. Расчет настройки минимальной зоны нечувствительности регулятора с релейным выходным устройством [Текст] / А.М. Быстров, А.С. Ключев // Приборы и системы управления. – М.: Машиностроение, 1969. – С. 12-14.
3. Сытник, Б.Т. Метод синтеза дискретного ПИ-регулятора [Текст] // Элементы и устройства автоматизированных систем управления / Вестник Харьковского политехнического института. – 1981. – №179. – Вып. 1. – С. 69-73.
4. Загарий, Г.И. Релейно-импульсный ПИ-регулятор с элементом обратной связи переменной структуры [Текст] / Г.И. Загарий, Б.Т. Сытник, Б.С. Левочко // Применение системного анализа в металлургии. – 1982. – С. 124-134.

5. Вилькевич, Б.И. Автоматическое управление электрической передачей тепловоза и электрические схемы тепловозов [Текст] / Б.И. Вилькевич. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
6. Быков, Ю.М. Помехи в системах с вентильными преобразователями [Текст] / Ю.М. Быков, В.С. Василенко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
7. Писарев, А.Л. Управление тиристорными преобразователями [Текст] / А.Л. Писарев, Л.П. Деткин. – М.: Энергия, 1975. – 264 с.
8. Тихменев, В.Н. Подвижной состав электрофицированных железных дорог. Теория работы электрооборудования. Электрические схемы и аппараты [Текст]: учеб. для вузов. ж.-д. трансп./ В.Н. Тихменев, Л.М. Трахман. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 471 с.
9. Жусубалиев, Ж.Т. Бифуркации и хаос в релейных и широтно-импульсных системах автоматического управления [Текст] / Ж.Т. Жусубалиев, Ю.В. Колоколов. – М.: Машиностроение, 2001. – 120 с.
10. Кунцевич, В.М. Импульсные самонастраивающиеся и экстремальные системы автоматического управления [Текст] / В.М. Кунцевич. – К.: Техніка, 1966. – 282 с.
11. Изерман, Р. Цифровые системы управления [Текст] / Р. Изерман. – М.: Мир, 1984.
12. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
13. Луков, Н.М. Автоматизация тепловозов, газотурбовозов и дизель-поездов [Текст] / Н.М. Луков. – М.: Машиностроение, 1988.
14. Небылов, А.В. Гарантирование точности управления [Текст] / А.В. Небылов. – М.: Наука, Физматлит, 1988. – 304 с.
15. Цыпкин, Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах [Текст] / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, Физматлит, 1968. – 400 с.
16. Загарий, Г.И. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости [Текст] / Г.И. Загарий, А.М. Шубладзе. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 104 с.
17. Сытник, Б.Т. Синтез структуры и моделирование адаптивных цифровых фильтров и систем управления с нестационарными характеристиками. Часть 1 [Текст] / Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. – №6. – С. 18-24.
18. Сытник, Б.Т. Синтез структуры и моделирование адаптивных цифровых фильтров и систем управления с нестационарными характеристиками. Часть 2 [Текст] / Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник, С.И. Яцько // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №1. – С. 62-66.
19. Адаптивный фильтр [Текст] : пат. України №11427 / Гусев П.В., Загарий Г.И., Сытник Б.Т. – 25.12.96. – Бюл. №14. – 3 с.
20. Сытник, Б.Т. Синтез адаптивных дискретных регуляторов с заданными динамическими характеристиками [Текст] / Б.Т. Сытник, В.Б. Сытник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – №5. – С. 23-26.
21. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 1. Оптимизация на основе критерия гарантированной степени устойчивости [Текст] / Б.Т. Сытник [и др.] // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №2. – С. 3-8.
22. Сытник Б.Т. Адаптивное управление в дискретных системах высокого порядка с запаздыванием. Часть 2. Моделирование цифровой системы третьего порядка с запаздыванием с использованием критерия гарантированной степени устойчивости [Текст] / Б.Т. Сытник [и др.] // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №3. – С. 14-19.

Ключевые слова: критерий оптимальности, гарантированная степень устойчивости, адаптивный фильтр, адаптивный частотно-импульсный ПИ-регулятор.

Аннотации

Для систем управления высокого порядка с запаздыванием предложен новый адаптивный трехпозиционный частотно-импульсный ПИ-регулятор с оптимизацией параметров настройки на основе нового критерия гарантированной степени устойчивости. Проведено моделирование цифровой системы третьего порядка с запаздыванием.

Для систем керування високого порядку із запізнюванням запропонований новий адаптивний трипозиційний частотно-імпульсний ПІ-регулятор з оптимізацією параметрів настроювання на основі нового критерію гарантованого ступеня стійкості. Проведено моделювання цифрової системи третього порядку з запізнюванням.

For control systems of high order delay a new Adaptive frequency-pulse 3 PI-regulator with optimization settings, on the basis of a new criterion of guaranteed level of sustainability. Modeling digital third order delay system