



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY  
A OBJEVY

# POPIS VYNÁLEZU 246566

## K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(61)

(23) Výstavní priorita  
(22) Přihlášeno 03 02 82  
(21) PV 757-82  
(89) 1125603, SU  
(32)(31)(33) 19 02 81 (3240401/18-24), SU

(11) B<sub>1</sub>

(51) Int. Cl.<sup>4</sup>

G 05 B 13/04

(40) Zveřejněno 13 06 85  
(45) Vydáno 20.08.87

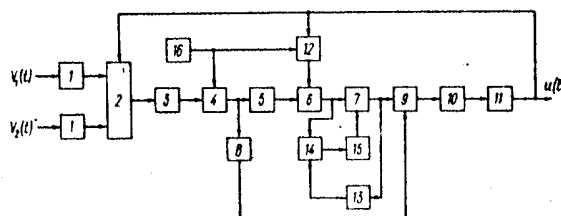
(13)

EMILJANOV STANISLAV VASILJEVIČ, MOSKVA, AVDEJEV VITALIJ PAVLOVIČ, NOVOKUZNEČK,  
Autor vynálezu SULMAN LEONARD ABRAMovič, MOSKVA, SOLODKOV VJAČESLAV IVANovič, ČEREPOVEC,  
BERLIN ALEXANDR ALEXANDROVIČ, NOVOKUZNEČK, KOROVIN SERGEJ KONSTANTINovič, MOSKVA,  
MYŠIJAJEV LEONID PAVLOVIČ, NOVOKUZNEČK, POLJANOVSKIJ ABRAM DAVIDovič, ČEREPOVEC,  
KALINOV JURIJ PETROVIČ, ŠAFIR ALEXANDR MARKovič, MOSKVA (SU)

(54)

Adaptabilní prognózovací regulátor pro kompenzaci  
kontrolovaných poruchových veličin

Adaptivní prognózovací regulátor pro kompenzaci kontrolovaných poruchových veličin patří do oblasti samonastavovacích řídicích systémů. Cílem je zvýšení přesnosti regulátoru, toho se dosahuje tím, že regulátor dodatečně obsahuje přímý model objektu bez spoždění, připojený k prvnímu střadači a k nízkofrekvenčnímu filtru a k integrátoru s vynulováním.



Название изобретения: АДАПТИВНЫЙ ПРОГНОЗИРУЮЩИЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Изобретение относится к области самонастраивающихся систем управления и может быть использовано в системах управления техническими объектами для построения контуров компенсации контролируемых возмущений.

Предполагается, что динамика объекта по каналам регулирования достаточно хорошо аппроксимируется оператором

$$W_{(p)} = k \cdot e^{-p\tau} / (T_p + 1),$$

коэффициент усиления  $k$  и постоянные времени  $T$  и  $\tau$  которого меняются незначительно. Объект подвержен влиянию контролируемых возмущений, статистические характеристики которых нестационарны. Управляющие воздействия наносятся на объект в виде импульсов. При этом контролируемые возмущения поступают на объект как в моменты нанесения импульсов управляющих воздействий, так и на интервалах времени между соседними импульсами управляющих воздействий.

Задача управления заключается в обеспечении инвариантности регулируемой координаты от контролируемых возмущений.

Примером такого рода объекта является современная доменная печь с конвейерной подачей шихтовых материалов на колошник печи, если рассматривать задачу компенсации контролируемых возмущающих воздействий на тепловое состояние доменного процесса, вносимых шихтовыми материалами, изменением расхода кокса. Контролируемыми возмущениями в данном случае являются ошибки дозирования железорудных материалов (агломерата, окатышей, руды) и отклонения параметров качества материалов (содержания железа в железорудных материалах, влажности и зольности кокса, крупности и тому подобное) от заданных уровней. Управлением является изменение расхода кокса. Шихтовые материалы поступают в доменную печь импульсами-порциями, например, порция кокса, порция агломерата и так далее, при этом контролируемые возмущения поступают в печь вместе с каждой порцией материалов, а управляющее воздействие (изменение массы порции кокса) наносится либо через порцию, либо

более сложным образом. Статистические характеристики контролируемых возмущений нестационарны вследствие того, что порядок загрузки различных материалов меняется, меняется их качество и характеристики дозирующих устройств.

Один из подходов в таких ситуациях заключается в следующем: функционирование объекта разбивается на технологические циклы - интервалы времени, для которых соотношение между суммарными (в рамках одного цикла) длительностями поступления на объект контролируемых возмущений и управляющих воздействий сохраняется приблизительно неизменным от цикла к циклу; управляющее воздействие, направленное на компенсацию контролируемых возмущений, рассчитывается на технологический цикл в целом, например, прогнозируется на будущий цикл по результатам прошедших технологических циклов. Затем это суммарное воздействие распределяется на отдельные импульсы, реализуемые в рамках одного технологического цикла.

Известно устройство для многокомпонентного порционного дозирования [1], содержащее порционные тензометрические дозаторы, блоки коррекции производительности, блок коррекции соотношения компонентов, содержащий задатчики порций, блоки сравнения, датчики числа порций в цикле, датчик химического состава рудного компонента, делитель соотношения рудной и топливной частей шихты, суммирующие счетчики накопления ошибок набора порций, делитель соотношения ошибок рудной и топливной частей набора порций, вычитатель и делитель на число порций топливного компонента, узел коррекции по влажности, содержащий датчик многократного измерения влажности, и элемент усреднения с умножением на переводной эмпирический коэффициент.

Устройство осуществляет компенсацию контролируемых возмущений, исходя из поддержания заданного соотношения топливной и рудной частей шихты в рамках технологического цикла.

Недостатком устройства является низкая точность регулирования, которая обусловлена тем, что не учитываются:

- нестационарность статистических свойств контролируемых возмущений;
- ошибки экстраполяции управляющих воздействий и возможность их компенсации.

Наиболее близким по технической сущности является адаптивный прогнозирующий регулятор для компенсации контролируемых возмущений [2], содержащий последовательно соединенные фильтр низкой частоты, обратную модель объекта без запаздывания и первый блок сравнения, последовательно соединенные экстраполятор, блок задержки, второй блок сравнения и блок адаптации, выход которого соединен с первым входом экстраполятора вторым входом подключенного ко второму входу второго блока сравнения, первые масштабирующие блоки, выходы которых связаны с первыми входами первого сумматора, второй масштабирующий блок, исполнительный блок и последовательно соединенные третий масштабирующий блок и второй сумматор.

Регулятор предназначен для компенсации как контролируемых, так и неконтролируемых возмущений.

Недостатком известного регулятора является малая точность регулирования.

С точки зрения подавления контролируемых возмущений этот регулятор имеет невысокую точность регулирования, так как не учитываются:

- импульсный характер нанесения на объект управляющих воздействий;
- нестационарность статистических свойств контролируемых возмущений.

Целью изобретения является повышение точности регулирования, которая достигается тем, что в известный регулятор введены прямая модель объекта без запаздывания, интегратор с обнулением и блок синхронизации, вход прямой модели объекта без запаздывания связан с выходом первого сумматора, а выход - с информационным входом фильтра низкой частоты, выход которого

подключен к входу третьего масштабирующего блока, вход экстраполятора соединен с выходом первого блока сравнения, а выход - со вторым входом второго сумматора, выход которого через второй масштабирующий блок и исполнительный блок связан с информационным входом интегратора с обнулением и вторым входом первого сумматора, второй вход первого блока сравнения подключен к выходу интегратора с обнулением, а выход блока синхронизации соединен с управляющими входами фильтра низкой частоты и интегратора с обнулением.

Логика работы предлагаемого регулятора заключается в следующем.

Функционирование объекта представляется в виде последовательности технологических циклов с известной длительностью. В течение текущего технологического цикла сигналы о контролируемых возмущениях, поступающих на объект, пересчитываются в масштаб управляющих воздействий, затем складываются между собой и с фактически реализованными управлениями поступают на вход прямой модели объекта без запаздывания. Выход этой модели характеризует изменение ошибки компенсации контролируемых возмущений. Далее эта ошибка усредняется в рамках текущего технологического цикла. По завершению цикла с помощью обратной модели объекта без запаздывания рассчитывается суммарная корректировка управляющего воздействия, которая вычитается из суммарного на данном технологическом цикле фактически реализованного управления. В результате с запаздыванием определяется требуемое (идеальное) суммарное управляющее воздействие, своевременная реализация которого скомпенсировала бы в среднем контролируемые возмущения. Найденное идеальное суммарное управляющее воздействие экстраполируется на будущий технологический цикл. Средние на прошедшем технологическом цикле ошибки компенсации контролируемых возмущений подавляются путем прямого пересчета в управляющее воздействие с помощью масштабирующего блока. Обе составляющие управления суммируются, а затем расчленяются на заранее заданное число импульсов управления, реализуемых в пределах будущего технологического цикла.

На чертеже приведена блок-схема предлагаемого регулятора.

Регулятор содержит первые масштабирующие блоки 1, первый сумматор 2; прямую модель 3 объекта без запаздывания, фильтр 4 низкой частоты, обратную модель 5 объекта без запаздывания, первый блок 6 сравнения, экстраполятор 7, третий масштабирующий блок 8, второй сумматор 9, второй масштабирующий блок 10, исполнительный блок 11, интегратор 12 с обнулением, блок 13 задержки, второй блок 14 сравнения, блок 15 адаптации, блок 16 синхронизации.

На чертеже приняты следующие обозначения:

$V_1(t)$  и  $V_2(t)$  - контролируемые возмущения;

$V(t)$  - управляющее воздействие.

Работает регулятор следующим образом.

На входы  $n$  первых масштабирующих блоков 1 (на чертеже для конкретности  $n = 2$ ) поступают сигналы о контролируемых возмущениях  $V_1(t)$  и  $V_2(t)$ , умножаются на заданные коэффициенты и, таким образом, пересчитываются в масштаб управляющего воздействия. В сумматоре 2 сигналы с выходов первых масштабирующих блоков 1 складываются между собой и с фактически реализованным управляющим воздействием, сигнал о котором поступает на второй вход сумматора 2 с выхода исполнительного блока 11. С выхода сумматора 2 на вход прямой модели 3 объекта без запаздывания, в частности, интегратора, охваченного отрицательной обратной связью, поступает сигнал об эквивалентном (в масштабе управляющего воздействия) некомпенсированном контролируемом возмущении. С помощью прямой модели 3 объекта без запаздывания определяются ошибки компенсации эквивалентного возмущения в масштабе выходной переменной объекта,

которые, поступая на информационный вход фильтра 4 низкой частоты, усредняются в этом фильтре 4 в рамках текущего технологического цикла.

В интеграторе 12 с обнулением накапливается суммарное на данном технологическом цикле фактически реализованное управляющее воздействие.

Сигналы о завершении технологических циклов подаются блоком 16 синхронизации. Они поступают на управляющие входы фильтра 4 низкой частоты и интегратора 12 с обнулением. Фильтр 4 низкой частоты завершает по этому сигналу усреднение ошибок компенсации контролируемых возмущений и запускает в работу блоки с 5 по 11 регулятора. Сигнал с выхода фильтра 4 низкой частоты поступает на вход обратной модели 5 объекта без запаздывания, которая представляет собой, например, последовательное срединение блока задержки, масштабирующего блока и блока сравнения, второй вход которого связан с входом блока задержки, и преобразуется с ее помощью в величину суммарной на завершившемся технологическом цикле корректировки управляющего воздействия. Полученная корректировка вычитается в первом блоке 6 сравнения из накопленного в блоке 12 фактически реализованного на данном технологическом цикле управляющего воздействия, в результате получается с запаздыванием суммарное требуемое (идеальное) на прошедшем технологическом цикле управляющее воздействие. Величина этого запаздывания  $\theta$  равна сумме длительности одного технологического цикла и времени запаздывания реализации управляющих команд исполнительным блоком 11. После расчета идеального управления интегратор с обнулением 12 обнуляется.

В экстраполяторе 7 сигнал об идеальном управляющем воздействии экстраполируется на время  $\theta$ . Экстраполятор 7 может представлять, например, последовательно соединенные блок сравнения и дискретный интегратор, выход которого связан через блок задержки с вторым входом блока сравнения. Сигнал средней ошибки компенсации контролируемых возмущений направляется также с выхода фильтра 4 низкой частоты на вход третьего масштабирующего блока 8, где путем умножения на весовой коэффициент определяется составляющая управляющего воздействия, направленная на подавление последствия этой средней ошибки. В сумматоре 9 обе составляющие части суммарного управляющего воздействия на будущем технологическом цикле складываются, а во втором масштабирующем блоке 10 путем умножения на коэффициент расчленяются на число импульсов управления, которые будут реализованы на предстоящем технологическом цикле. Исполнительный блок 11 в моменты реализации импульсов управляющих воздействий получает управляющие сигналы с выхода блока 10.

Для учета и компенсации изменчивости статистических характеристик контролируемых возмущений адаптируются коэффициенты экстраполятора 7.

Сигнал с выхода экстраполятора 7 поступает на вход блока 13 задержки, где он запоминается на время  $\theta$ . Во втором блоке 14 сравнения сигнал с выхода блока 13 задержки вычитается из сигнала, поступающего с выхода первого блока 6 сравнения. В результате получается сигнал ошибки экстраполяции  $\varepsilon[j]$ , который направляется на вход блока 15 адаптации. В блоке 15 адаптации реализуется, например, следующая процедура.

При условии, что оператор экстраполяции представлен в виде экспоненциального фильтра

$$\hat{u}[j + \theta] = \hat{u}[j] + \alpha[j] \cdot \varepsilon[j],$$

где  $\hat{u}[j]$  - результат экстраполяции для завершающегося технологического цикла,

$\alpha[j]$  - текущий коэффициент экстраполятора,

то адаптацию  $\alpha[j]$  можно производить по формуле

$$\alpha[j] = \alpha^b (1 + \gamma S^2[j]),$$

$$S[j] = S[j - 1] + \mu (\text{sign} \varepsilon[j] - S[j - 1]),$$

где  $\alpha^b$ ,  $\gamma$ ,  $\mu$  - постоянные величины.

Использование предлагаемого регулятора позволяет повысить точность регулирования за счет учета импульсного характера нанесения на объект управляющих воздействий и нестационарности статистических характеристик контролируемых возмущений.

Применение этого регулятора для компенсации контролируемых возмущений, вносимых в доменную печь шихтовыми материалами, позволяет повысить производительность доменной печи, снизить удельный расход кокса и повысить качество передельного чугуна.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Адаптивный прогнозирующий регулятор для компенсации контролируемых возмущений, содержащий последовательно соединенные фильтр низкой частоты, обратную модель объекта без запаздывания и первый блок сравнения, последовательно соединенные экстраполятор, блок задержки, второй блок сравнения и блок адаптации, выход которого соединен с первым входом экстраполятора вторым входом, подключенного ко второму входу второго блока сравнения, первые масштабирующие блоки, выходы которых связаны с первыми входами первого сумматора, второй масштабирующий блок, исполнительный блок и последовательно соединенные третий масштабирующий блок и второй сумматор, отличающийся тем, что, с целью повышения точности регулятора, в него введены прямая модель объекта без запаздывания, интегратор с обнулением и блок синхронизации, вход прямой модели объекта без запаздывания связан с выходом первого сумматора, а выход - с информационным входом фильтра низкой частоты, выход которого подключен ко входу третьего масштабирующего блока, вход экстраполятора соединен с выходом первого блока сравнения, а выход - с вторым входом второго сумматора, выход которого через второй масштабирующий блок и исполнительный блок связан с информационным входом интегратора с обнулением и вторым входом первого сумматора, второй вход первого блока сравнения подключен к выходу интегратора с обнулением, а выход блока синхронизации соединен с управляющими входами фильтра низкой частоты и интегратора с обнулением.

А Н Н О Т А Ц И Я

Адаптивный прогнозирующий регулятор для компенсации контролируемых возмущений относится к области самонастраивающихся систем управления.

Цель изобретения - повышение точности регулятора.

Это достигается тем, что регулятор дополнительно содержит прямую модель объекта без запаздывания, подключенную к первому сумматору и к фильтру низкой частоты, и блок синхронизации, подключенный к фильтру низкой частоты и к интегратору с обнулением.

Признано изобретением по результатам экспертизы, осуществленной Государственным Комитетом СССР по делам изобретений и открытий.

2 чертежа

## P Ř E D M Ě T   V Y N Á L E Z U

Adaptivní prognózovací regulátor pro kompenzaci kontrolovaných poruchových veličin, obsahující sériově spojený nízkofrekvenční filtr, zpětný model objektu bez zpoždění a první srovnávací blok, sériově spojený extrapolátor, blok zpoždění, druhý srovnávací blok a adaptivní blok, jehož výstup je spojen s prvním vstupem extrapolátoru druhým vstupem připojeného ke druhému vstupu druhého srovnávacího bloku, první měřítkové bloky, jejichž výstupy jsou spojeny s prvními vstupy prvního střádače, druhý měřítkový blok, výkonný blok a sériově spojený třetí měřítkový blok a druhý střádač, vyznačující se tím, že s cílem zvýšení přesnosti regulátoru, do něhož je zaveden přímý model objektu bez zpoždění, integrátor s vynulováním a blok synchronizace, vstup přímého modelu objektu bez zpoždění je spojen s výstupem prvního střádače, a výstup s informačním vstupem nízkofrekvenčního filtru, jehož výstup je připojen na vstup třetího měřítkového bloku, vstup extrapolátoru je spojen s výstupem prvního srovnávacího bloku a výstup s druhým vstupem druhého střádače, jehož výstup přes druhý měřítkový blok a výkonný blok je spojen s informačním vstupem integrátoru s vynulováním a druhým vstupem prvního střádače, druhý vstup prvního srovnávacího bloku je připojen na výstup integrátoru s vynulováním a výstup synchronizačního bloku je spojen s řídicími vstupy nízkofrekvenčního filtru a integrátoru s vynulováním.

246566

