

РЕГУЛЯТОР ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

И. С. Еремеев, С. П. Караяннис

Киев

В лаборатории автоматизации технологических процессов Научно-исследовательского института городского хозяйства МКХ УССР разработан автоматический регулятор, предназначенный для управления основными процессами обработки воды на городских водопроводах (хлорирование, коагулирование, фторирование, известкование и др.).

Поскольку все эти процессы протекают в условиях значительной инерционности объектов и больших транспортных запаздываний, в основу разработанного регулятора был положен принцип прерывистого регулирования с периодическим замыканием цепи обратной связи по команде от программного устройства.

Передаточная функция системы регулирования, в контуре которой имеется объект с постоянной времени, превышающей на несколько порядков все остальные постоянные времени и запаздывания, присущие измерительным и исполнительным органам и собственно регулятору, может быть аппроксимирована передаточной функцией аperiodического звена первого порядка с запаздыванием. При этом разностное уравнение процесса регулирования для случая, когда $\tau \leq T_a$, что фактически и имеет место на практике, запишется в виде

$$A_0 z_{n+2} + A_1 z_{n+1} + A_2 z_n = 0,$$

где

$$A_0 = 1;$$

$$A_1 = S \left(1 - \frac{D}{L} \right) - (1 + D);$$

$$A_2 = -S \left(D - \frac{D}{L} \right) + D;$$

$$D = e^{-\frac{\tau_y}{T_a}};$$

$$L = e^{-\frac{\tau}{T_a}};$$

z — отклонение регулируемой величины от заданного значения;

n — номер шага регулирования;

T_y — интервал управления;

T_a — постоянная времени объекта регулирования;

τ — запаздывание;

S — удельный шаг регулирования [1].

Условия устойчивости для системы, описываемой подобным уравнением, имеют вид

$$\begin{aligned} A_0 - A_2 &> 0, \\ A_0 - A_1 + A_2 &> 0 [1]. \end{aligned}$$

Условия оптимальной настройки регулятора (по минимуму интеграла отклонения) выполняются, если величина удельного шага регулирования удовлетворяет требованию

$$S = \frac{1-D}{\left(1 + \sqrt{\frac{D}{L}}\right)^2}. \quad (1)$$

С целью повышения качества регулирования в регуляторе предусмотрено введение на вход системы не только сигнала по отклонению, но и сигнала, пропорционального возмущающему воздействию.

В качестве основного узла описываемого регулятора выбран аналого-цифровой компаратор [2], управляемый командным устройством (реле времени).

Компаратор содержит два магнитно-транзисторных широтно-импульсных модулятора ШИМ₁ и ШИМ₂ и блок логических элементов и работает следующим образом (рис. 1).

На входы ШИМ₁ и ШИМ₂ подаются сигналы от соответствующих датчиков расходомеров хлора V_x и воды V_w (в случае регулирования процесса хлорирования воды). Эти сигналы преобразуются в модулированные по ширине импульсы, длительность которых пропорциональна амплитудным значениям V_x и V_w . Модулированные по ширине импульсы через эмиттерные повторители ЭП, служащие для согласования нагрузок, поступают на входы логических элементов «инвертор» НЕ и повторитель П, построенных на базе однополупериодных магнитных усилителей, работающих от источника тактовых импульсов частоты 10 кГц [3].

С выходов логических элементов НЕ и П сигналы поступают на входы элементов ИЛИ—НЕ, которые фактически и реализуют операции сравнения выходных импульсов ШИМ по длительности. На каждый из элементов ИЛИ—НЕ поступают инвертированный сигнал от своего ШИМ и прямой сигнал от другого ШИМ. Если обозначить прямые сигналы соответственно через A_1 и A_2 , а инвертированные — через $\bar{A}_1$ и $\bar{A}_2$ и учесть, что

$$A_1 + \bar{A}_1 \equiv 1 \text{ и } A_2 + \bar{A}_2 \equiv 1,$$

т. е. сумма прямого и инвертированного сигналов в интервале измерения неизменна и равна по длительности самому интервалу измерения, т. е. является единичной константой. В соответствии с этим работу компаратора можно представить следующим образом.

Известно, что сигнал на выходе элемента ИЛИ—НЕ появляется только тогда, когда в течение некоторой части интервала измерения одновременно отсутствуют оба сигнала на его входах, т. е. когда

$$A_1 + \bar{A}_2 < 1 \text{ или } A_2 + \bar{A}_1 < 1.$$

Это возможно, лишь когда сигналы A_1 и A_2 (или A_2 и A_1) не перекрываются во времени, причем если $A_1 = A_2$ и таким образом $A_1 = A_2$, то $A_1 + \bar{A}_2 = A_1 + \bar{A}_1 = 1$ и

$$A_2 = \bar{A}_1 = A_2 + \bar{A}_2 = 1$$

и сигналы B_1 и B_2 на выходах элементов ИЛИ—НЕ отсутствуют, т. е. $B_1 = B_2 = 0$.

Если $A_1 > A_2$, то

$\bar{A}_1 < \bar{A}_2$ и $A_1 + \bar{A}_2 > A_1 + \bar{A}_1$, т. е. $A_1 + \bar{A}_2 > 1$ и, следовательно, $B_2 = 0$, а $A_2 + \bar{A}_1 < A_2 + \bar{A}_2$ т. е. $A_2 + \bar{A}_1 < 1$ и $B_1 = 1$.

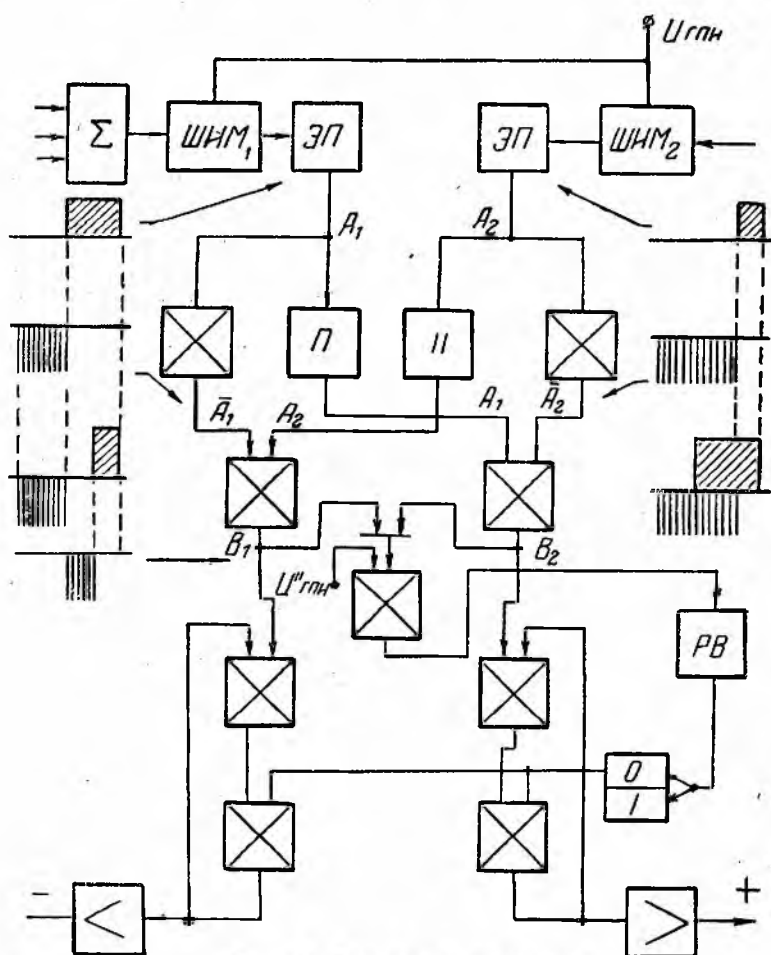


Рис. 1. Блок-схема регулятора.

При $A_1 < A_2$ картина меняется. Теперь $\bar{A}_1 > \bar{A}_2$ и $A_1 + \bar{A}_2 < A_1 + \bar{A}_1$, т. е. $A_1 + \bar{A}_2 < 1$

и

$B_2 = 1$, а $A_2 + \bar{A}_1 > A_2 + \bar{A}_2$, т. е. $A_2 + \bar{A}_1 > 1$

и

$B_1 = 0$.

Физическая сущность процесса сравнения импульсов по длительности наглядно представляется на временных диаграммах рис. 2: сигнал с выхода компаратора (импульсы или пакеты импульсов B_1 или B_2) возбуждает динамические триггеры, питающие в свою очередь через усилители исполнительные механизмы системы регулирования, например, привод клапанов подачи хлора.

Кроме того, сигналы B_1 или B_2 поступают на вход элемента ИЛИ—НЕ, питающего корректирующий вход реле времени РВ. Второй вход этого элемента питается от того же источника (генератора) прямоугольных импульсов (ГПИ), что питает обмотки считывания модуляторов ШИМ₁ и ШИМ₂, но в противофазе с сигналом считывания. При этом если $B_1 = B_2 = 0$, то на выходе элемента ИЛИ—НЕ, питающего реле времени РВ, сигнал по длительности равен периоду считывания, что соответствует минимальному времени выдержки РВ.

Когда B_1 или B_2 не равны нулю, длительность сигнала (пакета импульсов частоты 10 кГц) на выходе рассматриваемого элемента ИЛИ—НЕ меньше длительности периода считывания на величину длительности сигнала B_1 или B_2 .

При этом длительность выдержки времени РВ возрастает. Это сделано для введения элемента пропорциональности в регулятор: если нет рассогласования, частота циклов включения регулятора велика, регулятор как бы повышает чувствительность (точнее скорость реакции на появление рассогласования) к сигналам отклонения; если оно появляется, время воздействия на объект увеличивается пропорционально величине отклонения.

Реле времени РВ питает ряд двоичного счетчика, который с частотой сигнала на выходе РВ переходит из одного состояния в другое, периодически выключая триггеры, питающие через усилители привод исполнительных органов регулятора. Этим, собственно, и достигается прерывистость (дискретность) работы регулятора, столь необходимая при управлении инерционными объектами.

Поскольку объекты регулирования могут иметь различные постоянные времени T_a и запаздывания τ , зависящие от ряда факторов, в схеме регулятора предусмотрено изменение настройки на оптимальный удельный шаг регулирования, т. е. заложена возможность регулирования величины интервала управления T_y . Эта настройка может быть реализована с помощью двух регулирующих факторов: частоты посылки команд на регулирование f_p и скважности γ этих команд.

Частоту можно задавать путем изменения выдержки реле времени. Скважность импульсов регулирования (командных импульсов) может изменяться благодаря использованию нескольких триггеров со счетным входом (в схеме показан только один триггер), включенных в общую схему формирователя скважности таким образом, что при соответствующей коммутации выходов и входов этих счетчиков скважность команд-

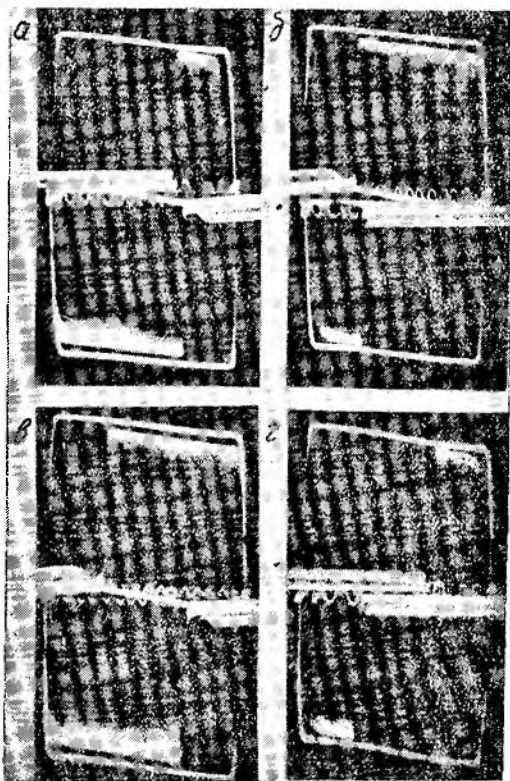


Рис. 2. Осциллограммы сигналов: а и б — на выходе ШИМ (прямые и инвертированные); в и г — на входах элементов ИЛИ—НЕ.

ных сигналов может изменяться от значения $\gamma = 0,5$ до значений $\gamma = 0,25$, $\gamma = 0,125$, $\gamma = 0,0625$.

В схеме регулятора предусмотрено питание одного из ШИМ от сумматора Σ , на вход которого вводятся сигналы, пропорциональные отклонению регулируемой величины, производной от этого отклонения, а также возмущающему воздействию. Сумматор выполнен на одноканальном магнитном усилителе с самонасыщением. Его питание осуществляется от общего с МЛЭ источника э. д. с. частоты 10 кГц.

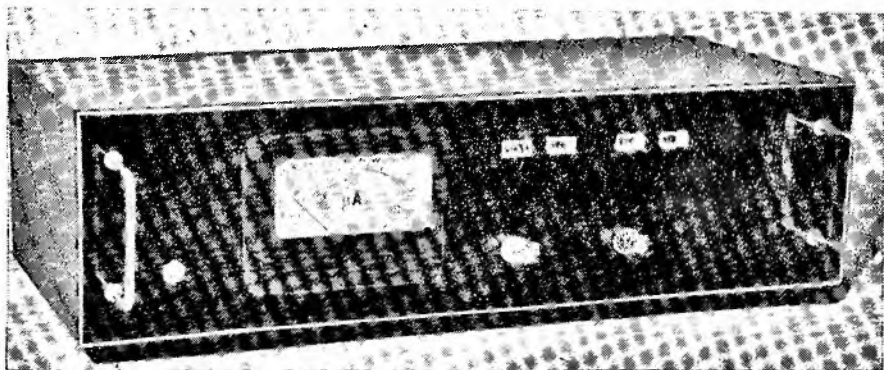


Рис. 3. Общий вид регулятора.

Поскольку объект регулирования отличается большой инерционностью, обычные методы измерения производных не могут быть использованы для выработки сигнала коррекции регулятора. В связи с этим применение производных рационально заменить измерением приращений согласно выражению

$$\frac{dy}{dx} = f(x) \frac{\Delta}{\delta x} \left[1 - \frac{\Delta}{2} + \frac{\Delta^2}{3} - \dots \right],$$

где Δ — относительное приращение (разность) функции $y = f(x)$, соответствующее приращению δx независимой переменной x . Если пренебречь всеми разностями порядка выше первого, что для рассматриваемых объектов дает погрешность в определении производной не более 5%, то дифференцирующее устройство может быть реализовано весьма просто на базе описанного выше компаратора [4].

Описанный регулятор, общий вид которого приведен на рис. 3, прошел длительные лабораторные испытания, а также испытания в производственных условиях и оказался вполне надежным в работе.

Благодаря своей простоте и надежности (все узлы регулятора выполнены на полупроводниковых и магнитных элементах) регулятор может найти широкое применение при автоматизации химико-технологических процессов обработки воды, а также в условиях значительной инерционности и транспортных запаздываний.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. С. Еремеев, С. П. Караяннис. К вопросу выбора типа регулятора для автоматизации процесса дозирования хлора. Сб. «Наука и техника в городском хозяйстве», «Будівельник», К., 1968, вып. X.
2. И. С. Еремеев. Магнитные преобразователи информации. «Энергия», 1967.
3. И. С. Еремеев. Магнитные логические элементы автоматики. «Приборостроение», 1962, № 12.
4. И. С. Еремеев, А. І. Забарний. Широтно-імпульсні магнітні модулятори. «Техніка», К., 1967.