

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ МОДУЛЯТОРОМ

ГОЛУБЕВ А.В., канд. техн. наук

Приводятся результаты исследования системы импульсного регулирования с алгоритмом широтно-импульсной модуляции и исполнительным механизмом постоянной скорости, которые позволяют повысить эффективность работы системы регулирования.

Ключевые слова: системы автоматического регулирования, широтно-импульсные модуляторы, эффективность работы.

INCREASING OPERATING EFFECTIVENESS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS WITH PULSE-LENGTH MODULATOR

A.V. GOLUBEV, Ph.D.

This paper is devoted to the research results of system with length modulation algorithm and constant speed actuating device, which allow increasing control system operating effectiveness.

Key words: automatic control system, pulse-length modulators, operating effectiveness.

Во многих отраслях промышленности и энергетики России получили широкое применение системы автоматического регулирования с широтно-импульсным модулятором (ШИМ), которые воздействуют на позиционный исполнительный механизм (исполнительный механизм постоянной скорости).

При этом современные системы автоматического регулирования строятся на базе микропроцессорных контроллеров, в которых ключевую роль в реализации управляющих функций играет алгоритмическое обеспечение контроллеров. Как правило, программное обеспечение контроллеров состоит из фиксированного набора типовых программных блоков (типовых алгоритмов), выполняющих преобразование сигналов в цифровой форме.

Например, в ПТК «Квинт» системы автоматического регулирования с исполнительными механизмами (ИМ) постоянной скорости реализуются через регулятор импульсный (алгоритм РИМ). Совместно с исполнительным механизмом регулятор реализует ПИД-закон регулирования [1, 2].

Основное динамическое преобразование, выполняемое алгоритмом РИМ с предварительно вычисленным сигналом ошибки регулирования, соответствует передаточной функции звена ПДД²

$$W_{\text{ПДД}^2}(p) = K_{\text{П}} \frac{T_{\text{ИМ}}}{T_{\text{И}}} \left(1 + T_{\text{ИР}} p + \frac{T_{\text{Д}} T_{\text{ИР}} p^2}{[1 + T_{\text{Д}} p / 8]^2} \right),$$

где $T_{\text{ИМ}}$ – время полного хода исполнительного механизма.

Управляющий сигнал с алгоритма РИМ поступает на цифро-импульсный преобразователь, где он преобразуется в последовательность широтно-модулированных импульсов «больше»/«меньше». В целом, с учетом динамики исполнительного механизма постоянной скорости, алгоритм РИМ формирует закон регулирования, описываемый передаточной функцией ПИД-регулятора:

$$W_{\text{ПИД}}(p) = K_{\text{П}} \left(1 + \frac{1}{T_{\text{ИР}} p} + \frac{T_{\text{Д}} p}{[1 + T_{\text{Д}} p / 8]^2} \right),$$

Система автоматического регулирования работает путем выделения сигнала ошибки как разности выходного сигнала системы и сигнала задания, который преобразуется регулятором (в соответствии с заданным законом регулирования) в управляющее воздействие. Управляющее воздействие с помощью широтно-импульсного модулятора (ШИМ) преобразуется в серию импульсов, которые перемещают позиционный исполнительный механизм в соответствующую сторону, тем самым воздействуя на объект регулирования. При этом величина перемещения позиционного исполнительного механизма зависит от сформированной длительности импульса. Кроме этого, в ШИМ устанавливается минимальная длительность импульса $T_{\text{ИМП}}$, которая определяет минимально возможную величину перемещения позиционного исполнительного механизма.

Анализ исследований [3, 4] использования ШИМ-преобразования показывает, что в импульсных системах автоматического регулирования следует различать динамическую точность регулирования, зависящую от инерционности объекта регулирования и времени $T_{\text{ИМ}}$ полного хода исполнительного механизма, и статическую точность регулирования, связанную с точностью позиционирования исполнительного механизма, прямо пропорционально зависящую от минимальной длительности импульса $T_{\text{ИМП}}$ в блоке ШИМ и обратно пропорционально – от времени $T_{\text{ИМ}}$ полного хода ИМ.

В связи с этим стандартная система автоматического регулирования имеет недостатки. Уменьшение величины $T_{\text{ИМП}}$ в ШИМ приводит к повышению точности позиционирования позиционного исполнительного механизма (соответственно и точности регулирования в статике), но одновременно и к увеличению количества включений

электродвигателя позиционного исполнительного механизма, тем самым имеет место повышенный физический износ электродвигателя и исполнительного механизма в целом. Увеличение $T_{имп}$ приводит к уменьшению количества включений электродвигателя позиционного исполнительного механизма, но при этом имеет место ухудшение точности позиционирования исполнительного механизма и, соответственно, снижение качества регулирования в статическом режиме.

Предлагается повысить эффективность работы системы автоматического регулирования с широтно-импульсным модулятором.

Решение данной задачи возможно путем изменения алгоритма формирования импульсов в ШИМ. Наиболее благоприятным для работы системы регулирования является:

- повышенная статическая точность регулирования в области, близкой к заданному значению регулируемой переменной $Y_{зад}$;
- более динамичное регулирование при больших отклонениях регулируемой переменной от задания.

В результате проведенных исследований и анализа факторов, влияющих на динамические свойства управляющих каналов контроллеров в составе ПТК, было определено, что повышение эффективности работы системы регулирования может быть обеспечено путем оптимизации величины минимальной длительности импульса в зависимости от скорости изменения ошибки регулирования в канале регулирования (рис. 1), что позволит уменьшить частоту включения электродвигателя исполнительного механизма, повысить точность позиционирования исполнительного механизма и качество работы системы автоматического регулирования.

В предлагаемом канале автоматического регулирования минимальная длительность импульса $T_{имп}^{мин}$ в широтно-импульсном модуляторе

динамически изменяется и зависит от сигнала скорости изменения ошибки регулирования, взятого по модулю и ограниченного снизу и сверху на минимально и максимально допустимые величины длительности импульса. Сигнал скорости изменения ошибки регулирования может формироваться с помощью блока дифференцирования (ϵ'_1) или с помощью блока регулятора (ϵ'_2), если используется регулятор с пропорционально-дифференцирующим законом регулирования. Далее с помощью блока вычисления модуля вычисляется модуль сигнала скорости изменения ошибки регулирования, выполняется его ограничение снизу и сверху с помощью блока ограничения. Результирующий сигнал определяет величину минимальной длительности импульса в широтно-импульсном модуляторе (рис. 2).

В результате испытаний замкнутой системы регулирования (рис. 3) в системе имитационного моделирования показано, что в предлагаемом канале импульсного регулирования количество включений исполнительного механизма в 2 раза меньше, чем в стандартном канале регулирования с $T_{имп} = 0,1$ с, при сохранении статической и динамической точности регулирования. В стандартном канале регулирования с увеличенным временем импульса $T_{им} = 0,5$ с количество включений меньше, но ухудшается качество переходных процессов.

Настройка предлагаемого канала импульсного регулирования состоит в настройке коэффициента усиления блока дифференцирования, а также максимального и минимального значения $T_{имп}$ в блоке ограничения модуля скорости изменения ошибки регулирования.

Минимальная величина $T_{имп}$ выбирается исходя из необходимой статической точности регулирования.

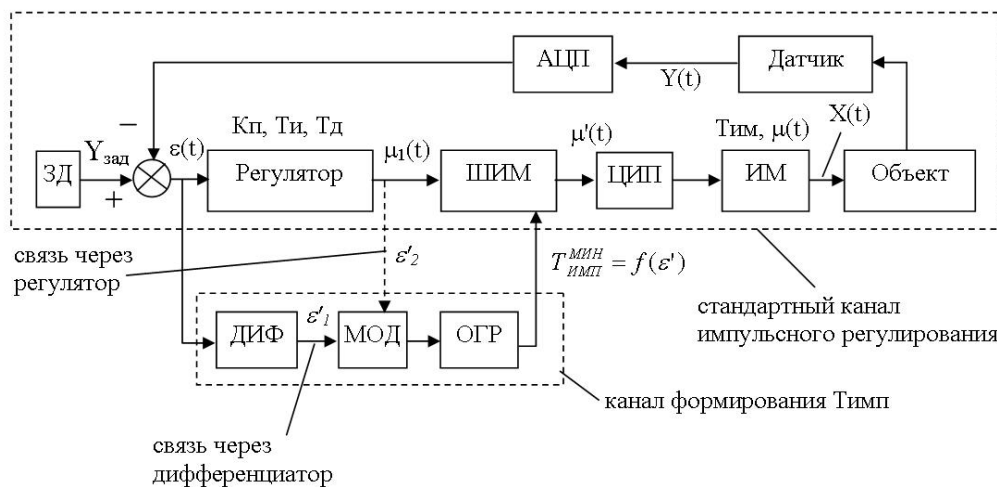


Рис. 1. Предлагаемая система автоматического регулирования: АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; ЗД – блок формирования сигнала задания; ШИМ – блок широтно-импульсного модулирования; ЦИП – цифро-импульсный преобразователь; ИМ – исполнительный механизм постоянной скорости; ДИФ – блок дифференцирования; МОД – блок вычисления модуля; ОГР – блок ограничения

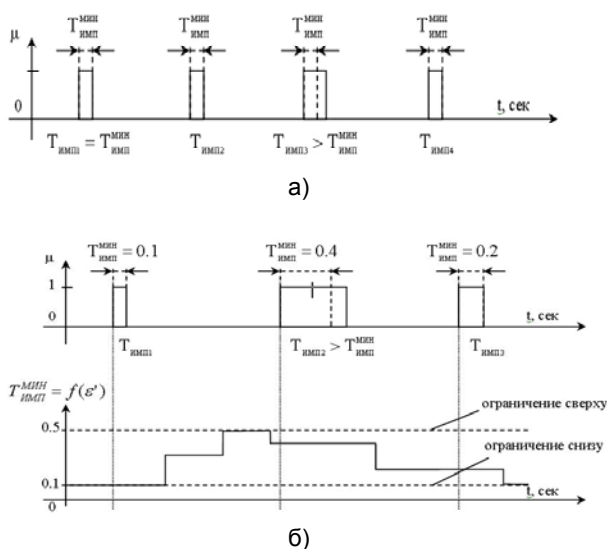


Рис. 2. Вид сигналов в системе регулирования: а – стандартный канал импульсного регулирования (минимальная длительность импульса в ШИМ постоянна – $T_{имп} = 0,1$ с); б – предлагаемый канал регулирования (динамически изменяемая минимальная длительность импульса в ШИМ, ограниченная снизу на величину 0,1 с, ограниченная сверху на величину 0,5 с)

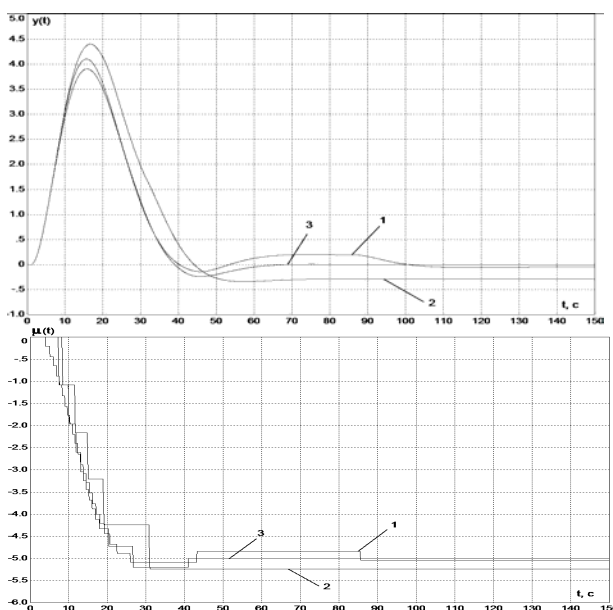


Рис. 3. Результаты испытаний системы автоматического регулирования: 1 – стандартный канал импульсного регулирования с $T_{имп} = 0,1$ с, $N_{вкл} = 25$; 2 – стандартный канал импульсного регулирования с $T_{имп} = 0,5$ с, $N_{вкл} = 5$; 3 – предлагаемый канал импульсного регулирования с $T_{имп} = 0,1-1$ с, $N_{вкл} = 13$

Максимальная величина $T_{имп}^{MAX}$ выбирается исходя из необходимого качества переходных процессов и необходимого количества включений исполнительного механизма. При

Голубев Александр Николаевич,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ электротехники и электротехнологии,
 телефон (4932) 26-99-03,
 e-mail: zav@toe.ispu.ru

этом следует учитывать, что при увеличении $T_{имп}^{MAX}$ ухудшается качество переходных процессов, но уменьшается количество включений исполнительного механизма. Качество переходных процессов в канале регулирования также зависит от времени полного хода ИМ в составе канала регулирования. Использование ИМ с меньшим временем полного хода при сохранении $T_{имп}^{MAX}$ приводит к ухудшению качества переходных процессов. Исходя из этого, величина $T_{имп}^{MAX}$ зависит от времени $T_{им}$ и может определяться в результате экспериментальных исследований АСР.

Коэффициент усиления блока дифференцирования может быть получен в ходе экспериментального исследования работы замкнутой АСР или приближенно, исходя из экспресс аппроксимации канала регулирования аperiодическим звеном первого порядка. Величина коэффициента усиления блока дифференцирования может быть рассчитана по следующей формуле:

$$K_{диф} = \frac{T_{имп}^{MAX} T_{об}}{|K_{об} \Delta x_{возм}|}$$

Величина $\Delta x_{возм}$ при настройке системы регулирования определяется исходя из величины и характера основных действующих на объект возмущений.

Таким образом, предлагаемый способ автоматического регулирования [5] позволяет повысить точность позиционирования исполнительного механизма с сохранением заданной частоты включения электродвигателя механизма без существенной переработки системы регулирования с широтно-импульсным модулятором.

Список литературы

1. Программно-технический комплекс «Квинт» / Н.М. Курносов, В.В. Певзнер, А.Г. ланов, Е.А. Яхин // Теплоэнергетика. – 1993. – № 10. – С. 2–10.
2. Таламанов С.А., Голубев А.В. Алгоритмические схемы решения типовых задач АСУТП средствами ПТК «Квинт»: Учеб. пособие. – Иваново, 2002.
3. Тверской Ю.С., Голубев А.В. Исследование и анализ факторов, влияющих на динамические свойства управляющих каналов контроллеров в составе ПТК // Автоматизация в промышленности. – 2003. – № 5. – С. 5–8.
4. Тверской Ю.С., Таламанов С.А., Голубев А.В. Исследование динамических характеристик управляющих каналов программно-технических комплексов на полигоне АСУТП // Тр. Междунар. науч. конф. «Идентификация систем и задачи управления (SICPRO-2005)». – М.: ИПУ РАН, 2005. – С. 667–682.
5. Способ и устройство автоматического регулирования // Заявка на патент / Ю.С. Тверской, А.В. Голубев // №2007106524/09(007071) от 20.02.2007.