

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЯТОРА В СРЕДЕ LABVIEW

ТАЛАНОВ В.Д., канд. техн. наук, ТАЛАНОВ С.В., студ.

Для реализации модели импульсного регулятора в среде LabVIEW предложен алгоритм широтно-импульсного модулятора.

Ключевые слова: импульсный регулятор, широтно-импульсный модулятор, выходной сигнал.

### IMPULSE REGULATOR DESIGNING IN LABVIEW SPHERE

V.D. TALANOV, Candidate of Engineering, S.V. TALANOV, Student

The authors suggest the algorithm of pulse-width modulation to implement the impulse regulator models in LabVIEW sphere.

Key words: impulse regulator, pulse-width modulation, signal output.

На кафедре «Автоматизация технологических процессов» разрабатывается комплекс тренажеров по наладке регуляторов теплоэнергетического оборудования для теоретической подготовки, тренажа и проверки знаний студентов и инженерно-технического персонала ТЭС и АЭС [1].

Реализация систем регулирования выполняется в среде графического программирования LabVIEW 5.0 фирмы National Instruments на базе аппаратных регуляторов (комплексы АКЭСР-2 и КАСКАД-2) и микропроцессорных регуляторов (ПРОТАР, ремиконты Р-130 и КР-300).

Модель аппаратного регулятора реализуется импульсным ПД-регулятором совместно с исполнительным механизмом постоянной скорости (рис. 1) [2].

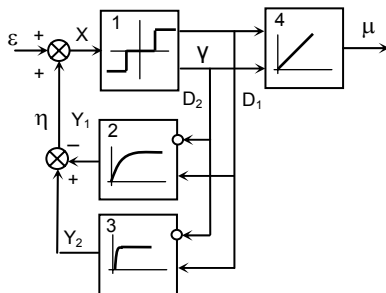


Рис. 1. Импульсный ПИ-регулятор с исполнительным механизмом постоянной скорости: 1 – трехпозиционный регулятор; 2 – отрицательная обратная связь; 3 – положительная обратная связь; 4 – исполнительный механизм

Функция преобразования для трехпозиционного регулятора [2] имеет вид

$$D_1 - D_2 = \begin{cases} +1, & \text{если } X \geq +\Delta_{нч}/2, \\ 0, & \text{если } X \leq [(\Delta_{нч}/2 - \Delta_B)], \\ -1, & \text{если } X \leq -\Delta_{нч}/2, \end{cases}$$

в остальных случаях сохраняется предыдущее состояние.

Функция преобразования для отрицательной обратной связи –  $\frac{y_1(p)}{(D_1 - D_2)(p)} = \frac{K_{ООС}}{1 + T_{ООС}p}$ , для положительной обратной связи –  $y_2 = K_{ПОС}(D_1 - D_2)$ ,

для исполнительного механизма –  $\frac{\mu(p)}{\gamma(p)} = \frac{100}{T_{ИМ}p}$ ,

где ε – рассогласование; γ – скважность импульсов; μ – управляющее воздействие; D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> – дискретные

сигналы; Δ<sub>нч</sub> – зона нечувствительности трехпозиционного регулятора; Δ<sub>В</sub> = K<sub>ПОС</sub> – зона возврата; K<sub>ООС</sub> – коэффициент пропорциональности отрицательной обратной связи; T<sub>ООС</sub> – постоянная времени отрицательной обратной связи; K<sub>ПОС</sub> – коэффициент пропорциональности положительной обратной связи; T<sub>ИМ</sub> – время полного (100 %) хода исполнительного механизма.

Положим T<sub>ИЗ</sub> = T<sub>ООС</sub> и α<sub>П</sub> = T<sub>ООС</sub>/K<sub>ООС</sub>, тогда

$$\frac{\mu(p)}{\varepsilon(p)} = \frac{100}{T_{ИМ}} \alpha_P \left( 1 + \frac{1}{T_{ИЗ}p} \right),$$

где 100·α<sub>П</sub>/T<sub>ИМ</sub> – коэффициент пропорциональности регулятора; T<sub>ИЗ</sub> – время изодрома.

Реализация модели аппаратного импульсного ПИ-регулятора в среде LabVIEW не представляет технической трудности.

Микропроцессорный импульсный ПИД-регулятор реализуется аналоговым ПДД<sup>2</sup>-регулятором совместно с широтно-импульсным модулятором (ШИМ) и исполнительным механизмом постоянной скорости (рис. 2).

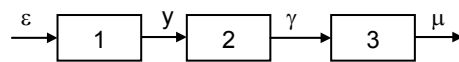


Рис. 2. Импульсный ПИД-регулятор: 1 – ПДД<sup>2</sup> регулятор; 2 – ШИМ; 3 – исполнительный механизм

Функция преобразования для ПДД<sup>2</sup>-регулятора –  $\frac{y(p)}{\varepsilon(p)} = K_P T_{ИМ} \left( \frac{1}{T_{ИЗ}} + p + p \frac{K_D T_{ПВР}}{1 + T_{ПВР}p} \right)$ , для широтно-импульсного модулятора –  $\gamma = \frac{y}{100\%}$ , для исполнительного механизма –  $\frac{\mu(p)}{\gamma(p)} = \frac{100}{T_{ИМ}p}$ , где ε –

рассогласование; y – выход ПДД<sup>2</sup>-регулятора; γ – скважность импульсов ШИМ; μ – управляющее воздействие; K<sub>П</sub> – коэффициент пропорциональности; T<sub>ИМ</sub> – время полного (100%) хода исполнительного механизма; T<sub>ИЗ</sub> – время изодрома; K<sub>Д</sub> – коэффициент дифференцирования; T<sub>ПВ</sub> – время предварения.

Тогда

$$\frac{\mu(p)}{\varepsilon(p)} = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_{ИЗ}p} + \frac{K_D T_{ПВР}}{1 + T_{ПВР}p} \right).$$

Если не стоит вопрос о технической достоверности модели, то возможна замена импульсного

ПИД-регулятора, построенного по схеме рис. 2, аналоговым ПИД-регулятором.

Для реализации в среде LabVIEW технически достоверной модели импульсного ПИД-регулятора необходимо разработать алгоритм широтно-импульсного модулятора.

Широтно-импульсный модулятор предназначен для преобразования входного аналогового сигнала в скважность импульсов, генерируемых на двух дискретных выходах.

Функция преобразования ШИМ имеет вид

$$\gamma = K_{\text{ШИМ}} \cdot |X_{\text{ВХ}}| / 100,$$

где  $\gamma$  – скважность импульсов;  $X_{\text{ВХ}}$  – входной сигнал;  $K_{\text{ШИМ}}$  – коэффициент пропорциональности ШИМ.

Параметры настройки ШИМ:  $t_{\text{и}}$  – время импульса;  $F$  – фазировка выходных сигналов;  $K_{\text{ШИМ}}$  – коэффициент пропорциональности.

При положительном входном сигнале ( $X_{\text{ВХ}} > 0$ ) и фазировке  $F = \text{False}$  («Прямая») импульсы генерируются на дискретном выходе «Больше» –  $D_1$ , а при  $F = \text{True}$  («Обратная») на дискретном выходе «Меньше» –  $D_2$ .

При отрицательном входном сигнале ( $X_{\text{ВХ}} < 0$ ) и фазировке  $F = \text{False}$  («Прямая») импульсы генерируются на дискретном выходе «Меньше» –  $D_2$ , а при  $F = \text{True}$  («Обратная») на дискретном выходе «Больше» –  $D_1$ .

Основой ШИМ является интегратор с дискретным входным сигналом и с различной постоянной времени при формировании импульса и паузы. Выходной сигнал интегратора поступает на вход аналого-релейного преобразователя, который представляет собой двухпозиционный релейный элемент (ДРЭ) с регулируемой зоной возврата. В зависимости от знака входного сигнала ШИМ и фазировки, выход ДРЭ коммутируется на соответствующий дискретный выход ШИМ.

Работу интегратора на одном периоде формирования импульсов иллюстрирует рис. 3.

Выходной сигнал интегратора равен

$$Y(t) = Y(0) + X_{\text{и}} \cdot t / T_{\text{и}},$$

где  $Y(0)$  – начальные условия;  $X_{\text{и}}$  – дискретный входной сигнал интегратора (+1; 0 –1);  $T_{\text{и}}$  – постоянная времени интегратора.

Зона возврата двухпозиционного релейного элемента, в которой происходит изменение выходного сигнала интегратора, определяется как

$$Z = t_{\text{и}} / T_{\text{ц}},$$

где  $t_{\text{и}}$  – время импульса;  $T_{\text{ц}}$  – время цикла.

Во время импульса входной сигнал интегратора равен +1. При начальных условиях  $Y(0) = 0$  за время  $t = t_{\text{и}}$  выходной сигнал интегратора достигнет значения  $Y(t) = Z$ . Тогда  $t_{\text{и}} / T_{\text{ц}} = t_{\text{и}} / T_{\text{и}}$ ,  $T_{\text{и}} = T_{\text{ц}}$ .

Во время паузы входной сигнал интегратора равен –1. При начальных условиях  $Y(0) = Z = t_{\text{и}} / T_{\text{ц}}$  за время  $t = t_{\text{п}}$  выходной сигнал интегратора достигнет значения  $Y(t) = 0$ . Тогда  $t_{\text{и}} / T_{\text{ц}} - t_{\text{п}} / T_{\text{и}} = 0$ .

Скважность импульсов равна  $\gamma = t_{\text{и}} / (t_{\text{и}} + t_{\text{п}})$ . Из этого следует  $t_{\text{п}} = t_{\text{и}} (1/\gamma - 1)$ . Тогда  $t_{\text{и}} / T_{\text{ц}} - t_{\text{и}} (1/\gamma - 1) / T_{\text{и}} = 0$ ,  $T_{\text{и}} = T_{\text{ц}} (1/\gamma - 1)$ .

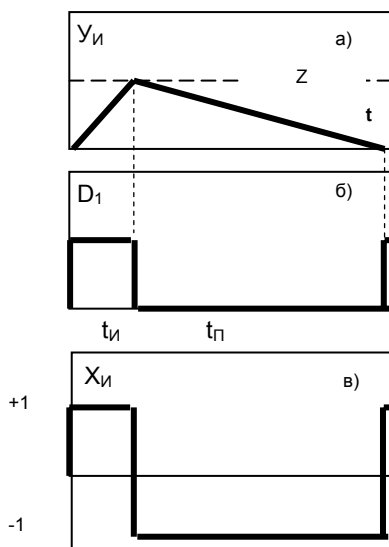


Рис. 3. Графики входных и выходных сигналов: а – выходной сигнал интегратора; б – выходной сигнал двухпозиционного релейного элемента; в – входной сигнал интегратора

Выходной сигнал интегратора на последующем ( $n$ ) шаге равен  $Y(n) = Y(n-1) + X_{\text{и}} \cdot T_{\text{ц}} / T_{\text{и}}$ , где  $Y(n-1)$  – выходной сигнал интегратора на предыдущем ( $n-1$ ) шаге.

Алгоритм ШИМ показан на рис.4.

Описание алгоблоков:

**НВХ:**  $Inorm = Fprop \cdot \text{abs}(\text{Input} / 100)$ .

Если  $Inorm > 1$ , то  $Inorm = 1$ .

**ОГР:** Если  $Inorm > Inorm \cdot T_{\text{cycle}}$ , то  $Limit = \text{True}$ , иначе  $Limit = \text{False}$ .

**ПВИ:** Если  $Inorm = 0$ , то  $Tint = 1000$ , иначе  $Tint = ((1/Inorm) - 1) \cdot T_{\text{cycle}}$ . Если  $Tint < T_{\text{cycle}}$ , то  $Tint = 0$ . Если  $Rcond(n-1) = \text{False}$ , то  $Tint = T_{\text{cycle}}$ , иначе  $Tint = Tint$ .

**ВХИ:** Если  $Limit = \text{False}$ , то  $Intin = 0$ , иначе (если  $Rcond(n-1) = \text{False}$ , то  $Intin = T_{\text{cycle}}$ , иначе  $Intin = -T_{\text{cycle}}$ ).

**НУИ:** Если  $Limit = \text{False}$ , то  $Intst = 0$ , иначе  $Intst = Intout(n-1)$ .

**ИНТ:** Если  $Timp < T_{\text{cycle}}$ , то  $Timp = T_{\text{cycle}}$ . Если  $Timp = 0$ , то  $Intout(n) = 0$ , иначе  $Intout(n) = Intst + Intin \cdot T_{\text{cycle}} / Tint$ .

Если  $Intout(n) \geq Timp$ , то  $Intout(n) = Timp$ .

**ДРЭ:** Если  $Tint = 0$ , то  $Rcond(n) = \text{True}$ , иначе (если  $Intout(n) \geq Rzone(n-1)$ , то  $Rcond(n) = \text{True}$ , иначе  $Rcond(n) = \text{False}$ ). Если  $Inorm = 0$ , то  $Rcond(n) = \text{True}$ , иначе  $Rcond(n) = Rcond(n)$ .

**ФЗВ:** Если  $Timp < T_{\text{cycle}}$ , то  $Timp = T_{\text{cycle}}$ . Если  $Rcond(n) = \text{True}$ , то  $Rzone(n) = Inorm \cdot T_{\text{cycle}}$ , иначе  $Rzone(n) = Timp - Inorm \cdot T_{\text{cycle}}$ .

**ВЫХ:** Если  $Phas = \text{False}$ , то  $Input = \text{Input}$ , иначе  $Input = -\text{Input}$ . Если  $Input > 0$ , то  $Rmore = \text{inv}(Rcond(n-1))$ ,  $Rless = \text{False}$ , иначе  $Rmore = \text{False}$ ,  $Rless = \text{inv}(Rcond(n-1))$ .

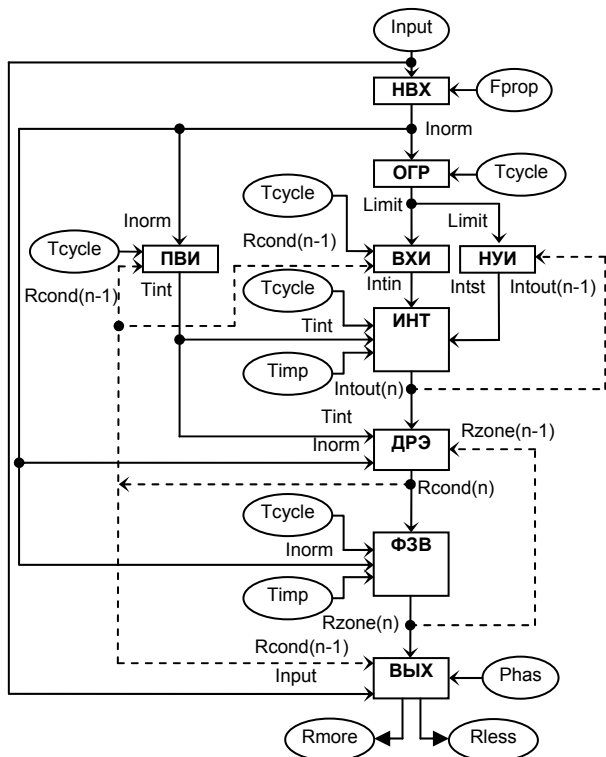


Рис. 4. Алгоритм ШИМ: НВХ – нормирование входного сигнала; ОГР – ограничитель; ПВИ – вычисление постоянной времени интегратора; ВХИ – формирование входного сигнала интегратора; НУИ – на-

чальные условия интегратора; ИИТ – интегратор; ДРЭ – двухпозиционный релейный элемент; ФЗВ – формирование зоны возврата; ВЫХ – формирование выходных сигналов ШИМ; Input (Numeric) – входной сигнал ШИМ; Fprop (Numeric) – коэффициент пропорциональности ШИМ; Inorm (Numeric) – нормированное значение входа ШИМ; Tcycle (Numeric) – время цикла; Limit (Boolean) – ограничение; Rcond(n-1) (Boolean) – состояние двухпозиционного релейного элемента на предыдущем шаге; Rcond(n) (Boolean) – состояние двухпозиционного релейного элемента на текущем шаге; Tint (Numeric) – постоянная времени интегратора; Timp (Numeric) – время импульса; Intst (Numeric) – начальные условия интегратора; Intin (Numeric) – входной сигнал интегратора; Intout(n-1) (Numeric) – выходной сигнал интегратора на предыдущем шаге; Intout(n) (Numeric) – выходной сигнал интегратора на текущем шаге; Rzone(n-1) (Numeric) – зона возврата на предыдущем шаге; Rzone(n) (Numeric) – зона возврата на текущем шаге; Rmore (Boolean) – выход «Больше»; Rless (Boolean) – выход «Меньше»; Phas (Boolean) – фазировка выходных сигналов

В соответствии с представленным алгоритмом в среде LabVIEW был реализован программный модуль ШИМ.

**Список литературы**

1. Плетников С.Б., Таланов В.Д., Демин А.М. Модульное конструирование при разработке комплексов для наладки систем автоматического регулирования // Вестник ИГЭУ. – Вып. 4. – 2007. – С. 72–75.
2. Таланов В.Д. Технические средства автоматизации в теплоэнергетике: Учеб. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2004.

Таланов Вадим Дмитриевич,  
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
 кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой автоматизации технологических процессов,  
 tvd@atp.ispu.ru

Таланов Станислав Вадимович,  
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
 студент кафедры автоматизации технологических процессов,  
 tvd@atp.ispu.ru