

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].

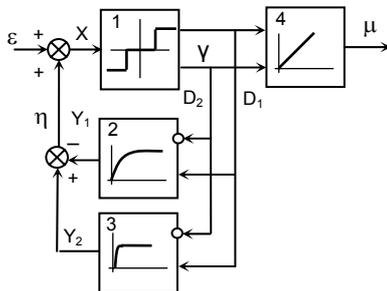


Рис. 1. Импульсный ПИ-регулятор с исполнительным механизмом постоянной скорости: 1 – трехпозиционный регулятор; 2 – отрицательная обратная связь; 3 – положительная обратная связь; 4 – исполнительный механизм

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_1, D_2 – дискретные

сигналы; $\Delta_{нч}$ – зона нечувствительности трехпозиционного регулятора; $\Delta_B = K_{ПОС}$ – зона возврата; $K_{ООС}$ – коэффициент пропорциональности отрицательной обратной связи; $T_{ООС}$ – постоянная времени отрицательной обратной связи; $K_{ПОС}$ – коэффициент пропорциональности положительной обратной связи; $T_{ИМ}$ – время полного (100 %) хода исполнительного механизма.

Положим $T_{ИЗ} = T_{ООС}$ и $\alpha_{П} = T_{ООС}/K_{ООС}$, тогда

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

где $100 \cdot \alpha_{П}/T_{ИМ}$ – коэффициент пропорциональности регулятора; $T_{ИЗ}$ – время изодрома.

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

Микропроцессорный импульсный ПИД-регулятор реализуется аналоговым ПДД²-регулятором совместно с широтно-импульсным модулятором (ШИМ) и исполнительным механизмом постоянной скорости (рис. 2).

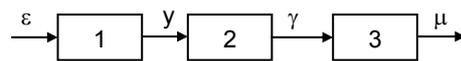


Рис. 2. Импульсный ПИД-регулятор: 1 – ПДД² регулятор; 2 – ШИМ; 3 – исполнительный механизм

Функция преобразования для ПДД²-регулятора – $\frac{y(p)}{\varepsilon(p)} = K_{П} T_{ИМ} \left(\frac{1}{T_{ИЗ}} + p + p \frac{K_{Д} T_{ПВР}}{1 + T_{ПВР}p} \right)$, 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 ПДД²-регулятора; γ – скважность импульсов ШИМ; μ – управляющее воздействие; $K_{П}$ – коэффициент пропорциональности; $T_{ИМ}$ – время полного (100%) хода исполнительного механизма; $T_{ИЗ}$ – время изодрома; $K_{Д}$ – коэффициент дифференцирования; $T_{ПВ}$ – время предварения.

Тогда

$$\frac{\mu(p)}{\varepsilon(p)} = K_{П} \left(1 + \frac{1}{T_{ИЗ}p} + \frac{K_{Д} T_{ПВР}}{1 + T_{ПВР}p} \right).$$

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 γ – 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 $t_{\text{и}} / T_{\text{ц}} - t_{\text{и}} (1/\gamma - 1) / T_{\text{и}} = 0$, $T_{\text{и}} = T_{\text{ц}} (1/\gamma - 1)$.

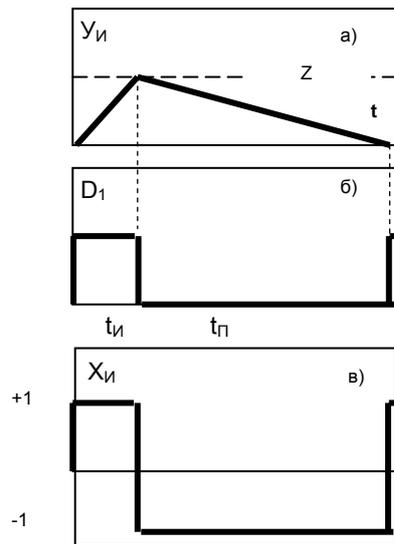


Рис. 3. Графики входных и выходных сигналов: а – выходной сигнал интегратора; б – выходной сигнал двухпозиционного релейного элемента; в – входной сигнал интегратора

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 $Inorm > Inorm \cdot Tcycle$, то $Limit = \text{True}$, иначе $Limit = \text{False}$.

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

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

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

ИНТ: Если $Timp < Tcycle$, то $Timp = Tcycle$. Если $Timp = 0$, то $Intout(n) = 0$, иначе $Intout(n) = Intst + Intin \cdot Tcycle / Tint$.

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 $Timp < Tcycle$, то $Timp = Tcycle$. Если $Rcond(n) = \text{True}$, то $Rzone(n) = Inorm \cdot Tcycle$, иначе $Rzone(n) = Timp - Inorm \cdot Tcycle$.

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

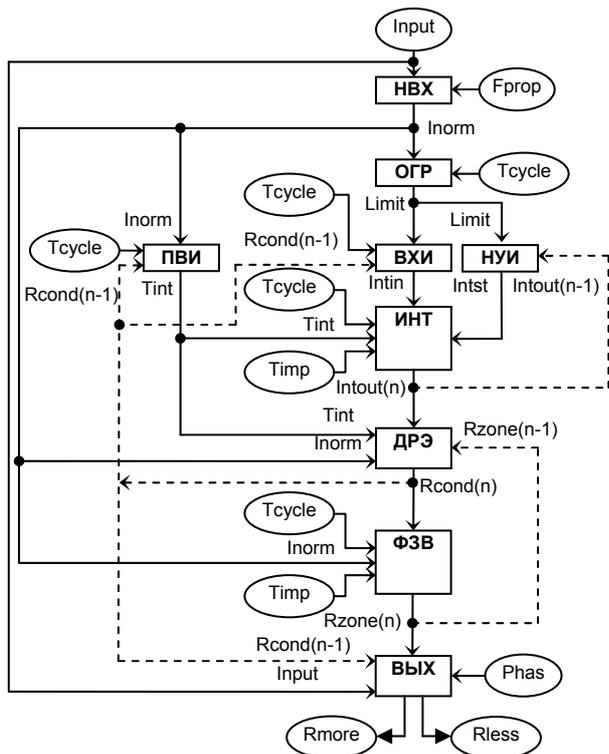


Рис. 4. Алгоритм ШИМ: НВХ – нормирование входного сигнала; ОГР – ограничитель; ПВИ – вычисление постоянной времени интегратора; ВХИ – формирование входного сигнала интегратора; НУИ – на-

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