

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Ярмухамедова З.М.¹, Пальшин В.П.² Email: Yarmukhamedo1796@scientifictext.ru

¹Ярмухамедова Зауреш Мукашевна - кандидат технических наук, ассоциированный профессор,
кафедра автоматизации и управления,

Казахский национальный исследовательский технический университет;

²Пальшин Василий Павлович – кандидат технических наук, доцент,
факультет инженерных и экономических наук,

Казахстанско–Немецкий университет,
г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: в данной статье рассмотрена замкнутая импульсная система управления с широтно-импульсным законом модуляции, имеющим ряд преимуществ по сравнению с другими видами модуляции, например, влияние помех менее существенно. Кроме того, можно улучшить результаты этого типа управления с помощью изменения формы импульса. Устойчивость системы с широтно-импульсной модуляцией и с непрерывной частью второго порядка была исследована методом конечно-разностных уравнений, получены достаточные условия асимптотической устойчивости. Проведено компьютерное моделирование, позволившее проверить полученные условия асимптотической устойчивости и исследовать переходной процесс такой системы.

Ключевые слова: устойчивость, система, нелинейная, импульсная, модулятор, разностные, уравнения.

TO THE QUESTION OF RESEARCH OF THE STABILITY OF A NONLINEAR PULSED CONTROL SYSTEM

Yarmukhamedova Z.M.¹, Palshin V.P.²

¹Yarmukhamedova Zauresh Mukashevna - candidate of technical sciences, associate professor,
DEPARTMENT OF AUTOMATION AND MANAGEMENT,

KAZAKH NATIONAL RESEARCH TECHNICAL UNIVERSITY;

²Palshin Vasily Pavlovich - candidate of technical sciences, associate professor,
FACULTY OF ENGINEERING AND ECONOMIC SCIENCES,

KAZAKH-GERMAN UNIVERSITY,
ALMATY, REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Abstract: in this paper, we consider a closed impulse control system with a pulse-width modulation law. This law has several advantages over other types of modulation, for example, the effect of interference is less significant. In addition, it is possible to improve the results of this type of control by changing the shape of the pulse. The stability of the system with pulse-width modulation and with a continuous second-order part was investigated by the method of finite-difference equations. Sufficient conditions for asymptotic stability are obtained. Computer simulations have been carried out that have made it possible to confirm the obtained conditions for asymptotic stability and to investigate the transient process of such a system.

Keywords: stability, system, nonlinear, impulse, modulator, incremental, equations.

УДК 62-50

Тенденции развития импульсных систем управления связаны с широким внедрением в производство промышленных компьютеров, программируемых логических контроллеров и т. д. Значение таких систем возрастает, а их теория сводится к анализу, основанному на теории конечных разностей. В последние годы теория нелинейных дискретных систем развивалась достаточно интенсивно. Существенные результаты были получены в решении проблем устойчивости широкого класса таких систем управления как системы управления с частотно–импульсной модуляцией и ряда других. Системы с широтно – импульсной модуляцией имеют ряд преимуществ в сравнении с другими видами модуляции. Например, влияние помех менее существенно, также с помощью изменения формы импульса можно улучшить результаты управления. В работе получены достаточные условия асимптотической устойчивости системы с широтно–импульсной модуляцией, которые не являются необходимыми и достаточными, они только достаточные.

Рассмотрим замкнутую систему управления с ШИМ и с непрерывной линейной частью (НЛЧ) 2-го порядка (рис. 1). Непрерывная часть состоит из объекта управления, представленного апериодическим звеном 1-го порядка, и исполнительного механизма, аппроксимируемого интегрирующим звеном.

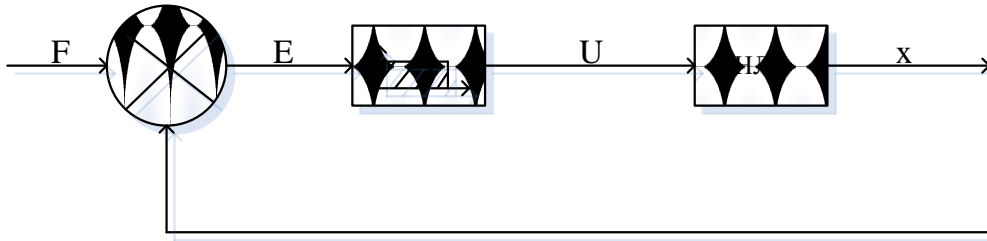


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования.

Для того чтобы получить достаточные условия устойчивости системы с ШИМ, воспользуемся методом конечно-разностных уравнений [1, 2].

Ширина импульса постоянной амплитуды A на n -ом периоде регулирования будет $T_{in} = k_p \cdot E_n /$. Коэффициент k_p является нелинейной функцией ошибки (рис. 2).

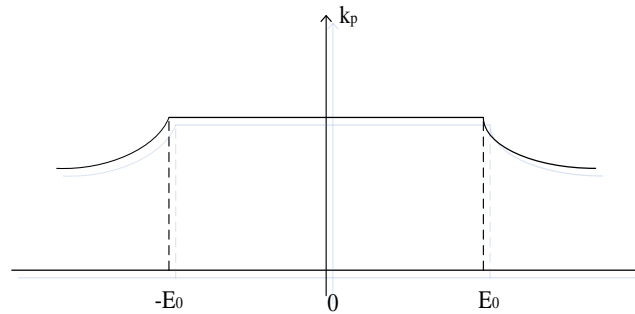


Рис. 2. Изменение коэффициента k_p в зависимости от ошибки

Система с ШИМ будет насыщенной, если $|E| > \frac{\Delta t}{k_p} = E_0$. Если $E_0 - \frac{\Delta t}{k_p} < E < \frac{\Delta t}{k_p}$, то система

не насыщена.

Рассмотрим ненасыщенный модулятор. В момент $n \cdot \Delta t$ начальное значение сигнала на выходе НЛЧ равно x_n . Найдем x_{n+1} в момент времени $(n+1) \cdot \Delta t$.

Процесс в нелинейной импульсной системе можно представить в виде суммы свободного и вынужденного движений [2]

$$x(n \cdot \Delta t) = x_{св.}(n \cdot \Delta t) + x_{вын.}(n \cdot \Delta t) = c_1 \cdot l^{p_1 t} + c_2 \cdot l^{p_2 t} + \dots c_n \cdot l^{p_n t} + x_{вын.}(n \cdot \Delta t).$$

Для данного случая характеристическое уравнение:

$$p(T_1 p + 1) = 0,$$

Тогда

$$p_1 = 0, \quad p_2 = -1/T_1,$$

$$x_{св.}(t) = c_1 + c_2 \cdot l^{-t/T_1}.$$

Подставляя начальные условия $x|_{t=0} = c_1 + c_2 = x_{n-1}$,

$$x'|_{t=0} = -c_2 \cdot \frac{1}{T_1} = \frac{x_n - x_{n-1}}{T_1}, \text{ найдем } c_1 \text{ и } c_2:$$

$$c_2 = -(x_n - x_{n-1}).$$

Пусть $x_{n-1} = 0$, $c_2 = -x_n$,

тогда $c_1 = x_{n-1} + x_n = x_n$.

Переходная функция времени для скачкообразного возмущения с амплитудой A на выходе НЛЧ с передаточной функцией $\frac{k_1}{p(T_1 p + 1)}$ будет равна

$$k_1 \left[t - T_1 (1 - l^{-t/T_1}) \right] \cdot A.$$

Здесь k_1 – коэффициент усиления НЛЧ;

T_1 – постоянная времени.

Тогда разностное уравнение ненасыщенной системы:

$$x_{n+1} = x_n - x_n \cdot l^{-t/T_1} + A \cdot \text{sign}(-x_n) \cdot k_1 \cdot \left[T_{in} - T_1 \cdot (1 - l^{-T_{in}/T_1}) \right] \cdot \left\{ 1 - k_1 \cdot \left[(\Delta t - T_{in}) - T_1 \cdot (1 - l^{-(\Delta t - T_{in})/T_1}) \right] \right\}$$

или

$$x_{n+1} = x_n \cdot (1 - l^{-t/T_1} - \frac{A}{|x_n|} \cdot k_1 \cdot \left[T_{in} - T_1 (1 - l^{-T_{in}/T_1}) \right] \cdot k_1 \cdot \left[T_{in} - T_1 \cdot (1 - l^{-T_{in}/T_1}) \right] \cdot \left\{ 1 - k_1 \cdot \left[(\Delta t - T_{in}) - T_1 \cdot (1 - l^{-(\Delta t - T_{in})/T_1}) \right] \right\})$$

Предположение, что $F=0$, не изменяет условий устойчивости, и разностное уравнение ненасыщенной системы будет:

$$E_{n+1} = E_n \left(-1 + l^{-\Delta t/T_1} - \frac{A}{|E_n|} \cdot k_1 \cdot \left[T_{in} - T_1 \cdot (1 - l^{-T_{in}/T_1}) \right] \cdot \left\{ 1 - k_1 \cdot \left[(\Delta t - T_{in}) - T_1 \cdot (1 - l^{-(\Delta t - T_{in})/T_1}) \right] \right\} \right)$$

Учитывая, что $T_{in} = k_p \cdot |E_n|$

$$E_{n+1} = E_n \cdot \left(-1 + l^{-\Delta t/T_1} - \frac{A}{|E_n|} \cdot k_1 \cdot \left[k_p |E_n| - T_1 \cdot (1 - l^{-k_p |E_n|/T_1}) \right] \cdot \left\{ 1 - k_1 \cdot \left[(\Delta t - k_p \cdot |E_n|) - T_1 \cdot (1 - l^{-(\Delta t - k_p \cdot |E_n|)/T_1}) \right] \right\} \right).$$

Если насыщенный модулятор, т.е. $|E_n| > \frac{\Delta t}{k_1}$,

$T_{in} = k_p \cdot |E_n| = \Delta t$, то

$$E_{n+1} = E_n \cdot \left(-1 + l^{-\Delta t/T_1} - \frac{A}{|E_n|} \cdot k_1 \cdot \left[\Delta t - T_1 \cdot (1 - l^{-\Delta t/T_1}) \right] \right).$$

Тогда условия асимптотической устойчивости для случая ненасыщенного модулятора (используем критерий Венгжина – Видаля) [1]:

$$\left| -1 + l^{-\Delta t/T_1} - \frac{A}{|E_n|} \cdot k_1 \cdot \left[k_p |E_n| - T_1 \cdot (1 - l^{-k_p |E_n|/T_1}) \right] \cdot \left\{ 1 - k_1 \cdot \left[(\Delta t - k_p \cdot |E_n|) - T_1 \cdot (1 - l^{-\Delta t/T_1} \cdot l^{k_p |E_n|/T_1}) \right] \right\} \right| < 1.$$

(*)

Для насыщенного модулятора:

$$\left| -1 + l^{-\Delta t/T_1} - \frac{A}{|E_n|} \cdot k_1 \cdot \left[\Delta t - T_1 \cdot (1 - l^{-\Delta t/T_1}) \right] \right| < 1.$$

Настройными параметрами регулятора с ШИМ являются k_p и Δt . Адаптивные алгоритмы нецелесообразно использовать для оценки параметров регулятора вследствие сложности и громоздкости выражений, получаемых при определении градиента минимизируемого функционала. Оценку оптимальных параметров регулятора с ШИМ можно осуществить одним из методов поиска экстремума показателя качества регулирования относительно настраиваемых параметров из области, определяемой неравенством (*). В настоящей работе при моделировании замкнутой системы с ШИМ поиск оптимальных параметров регулятора осуществлялся методом Розенброка. Результаты моделирования показаны на рис. 3.

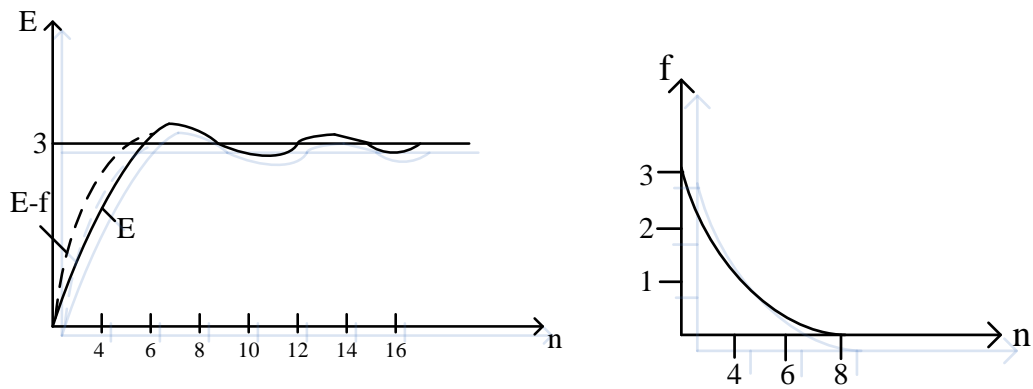


Рис. 3. Результаты моделирования замкнутой системы с ШИМ

Список литературы / References

1. Видаль П. Нелинейные импульсные системы. М.: «Энергия», 1974. 336 с.
2. Кипнис М.М., Нигматулин Р.Ш. Устойчивость разностных уравнений с двумя запаздываниями // Автоматика и телемеханика, 2003. № 5. С. 122–130.