УДК 681.5

## ВЫБОР СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАДАЮЩЕГО СИГНАЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ КВАНТОВАНИЯ ПО ВРЕМЕНИ

### Рудакова Т.А., Лубенцова Е.В.

Невинномысский технологический институт Северо-Кавказского федерального университета, Невинномысск, e-mail: lubenchov@nti.ncstu.ru

Предложено решение задачи выбора скорости изменения задания в контуре регулирования на основе включения в канал задающего воздействия инерционного звена с передаточной функцией первого порядка и выбор значения постоянной времени этого звена. Сформулировано условие выбора значения постоянной времени: скорость изменения задающего сигнала не должна превышать максимальных значений скорости изменения регулируемой переменной. Получено соотношение, позволяющее выбрать величину постоянной времени вводимого звена, при котором гарантируется воспроизведение задающего воздействия при любом интервале квантования сигнала по времени. Представлены зависимости максимальной скорости изменения сигнала задания от постоянной времени звена при различных интервалах квантования по времени. Установлено, что максимальная скорость изменения сигнала задания при малых значениях постоянной времени звена Т существенно уменьшается с увеличением интервала квантования по времени Т. При больших значениях  $T_{i}$  максимальная скорость изменения задания становится малочувствительной к значениям  $T_{i}$ . Но с увеличением Т максимальная скорость изменения регулирующего воздействия в переходном процессе уменьшается, а время расчета увеличивается, что необходимо учитывать при его выборе, поскольку при достаточной скорости исполнительного механизма может происходить снижение быстродействия и уменьшение динамической точности системы регулирования. Предложенное решение позволит наряду с выбором быстродействующего регулятора использовать стандартные исполнительные механизмы постоянной скорости без заметного снижения качества автоматического регулирования.

Ключевые слова: задающий сигнал, контур регулирования, исполнительный механизм

# CHOICE OF RATE OF CHANGE OF A SPECIFYING SIGNAL AT VARIOUS INTERVALS OF QUANTIZATION ON TIME

## Rudakova T.A., Lubentsova E.V.

The Nevinnomyssk institute of technology of the North-Caucasian federal university, Nevinnomyssk, e-mail: lubenchov@nti.ncstu.ru

Solution of choice of the reference change rate in the control loop by including a channel master control inertial link with the transfer function of the first order and the choice of the time constant of this link is proposed. Condition of selecting the time constant is formulated: the rate of change master signal must not exceed the maximum values of the rate of change of the process variable. A relation, allowing to select the value of the time constant of the input level at which the master control guaranteed to play at any interval quantization signal in time, is received. The dependencies of the maximum rate of change of the reference signal on the time constant level at different intervals of time quantization are presented. Found that the maximum rate of change of the reference signal at small time constant T3 level significantly decreased with increasing quantization interval time T. For large values of T3 maximum speed reference change is insensitive to the values of T. But as the maximum rate of change of T regulatory impact in the transition process is reduced and the calculation time increases, which should be considered when it is selected because at sufficient speed of the actuator can be slow performance and a decrease in dynamic precision control system. The proposed solution allows the choice of high-speed controller using standard actuators constant speed without noticeable loss in quality of automatic control.

Keywords: a specifying signal, a contour of regulation, the executive mechanism

Одним из основных требований, предъявляемых к промышленным регуляторам, является точность реализации закона регулирования и воспроизведения заданного значения регулируемой величины. Это особенно важно в тех случаях, когда на вход регулятора подается непрерывно изменяющийся задающий сигнал. Несмотря на широкое использование ПИД-закона регулирования (по различным данным порядка 90–95 % промышленных регуляторов используют ПИД-закон регулирования [1]), использование этого закона для обеспечения повышенных требований к качеству управления в режиме слежения требует более обоснованного выбора скорости изменения задающего воздействия. Для точного воспроизведения задающего сигнала при выбранном ПИД-законе регулирования необходимо, чтобы скорость изменения сигнала рассогласования  $\hat{\epsilon}(t) = g(t) - x(t) (g(t) - t)$ задающий сигнал; x(t) – регулируемый сигнал) в переходном процессе не превышала максимального значения скорости перемещения регулирующего органа (РО) исполнительного механизма (ИМ). Очевидно, что скорость изменения  $\varepsilon(t)$  определяется как скоростью изменения регулируемой переменной x(t), так и скоростью изменения задающего сигнала g(t). Скорость изменения x(t) зависит от инерционности объекта управления, вида, величины и точки приложения возмущения F на объект управления и является независящей от разработчика составляющей сигнала рассогласования. Наименее инерционным и в то же время наиболее тяжелым воздействием, особенно в случае ступенчатого его изменения, является задающее воздействие. Поэтому в реальных автоматических системах регулирования (АСР), скорость изменения задания должна быть ограничена функциональным блоком с временной характеристикой экспоненциальной формы, синхронизируемым с началом воздействия сигнала и со слежением до конечного значения сигнала. Для этого в канал задающего воздействия вводится звено с передаточной функцией

$$W_g(p) = 1/(T_3p + 1),$$

в котором постоянная времени  $T_3$  ограничивает скорость изменения сигнала задания. Кроме этого, непрерывный входной сигнал контура управления может быть заменен ступенчатым с постоянной величиной шага квантования (дискретизации) T, который для более точной аппроксимации непрерывного входного сигнала ступенчатым рекомендуется выбирать минимальным [2, 3].

В статье ставится задача: получить математическое соотношение для определения такой постоянной времени  $T_{\rm 3}$ , при котором гарантируется воспроизведение задающего воздействия при любом интервале квантования сигнала по времени.

При наличии инерционности и запаздывания в объекте управления и при ограниченной скорости ИМ изменение задающего воздействия g(t) в переходном процессе может опережать сигнал x(t), что окажет влияние на точность воспроизведения сигнала g(t). Поскольку достаточная скорость ИМ не всегда может быть обеспечена в силу технических ограничений, то необходимо, чтобы скорость изменения задающего воздействия g(t) не превышала максимальной скорости изменения x(t). Отсюда следует соотношение для оценки постоянной времени демпфирующего звена  $T_3$ , ограничивающего скорость изменения сигнала задания.

Для ограничения скорости изменения сигнала задания достаточно воспользоваться инерционным звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W_g(p) = 1/(T_3p + 1).$$

Тогда изменение сигнала задания на входе регулятора на единичное ступенчатое воздействие  $g(t)=1(t)g_{_0}$  описывается уравнением

$$g(t) = g_0 \left[ 1 - \exp\left(-t / T_3\right) \right].$$
 (1)

В этом случае максимальная скорость изменения сигнала задания g'(t) на интервале времени от 0 до T равна

$$g'(T) = g_0 \frac{1}{T_3} e^{-T/T_3}.$$
 (2)

Переходный процесс на выходе объекта управления с моделью

$$W_{00}(p) = K_{00}/(T_{00}p + 1)$$

при действии возмущения F ступенчатого вида описывается уравнением

$$x(t) = K_{o6} \cdot F \left[ 1 - \exp\left(-t / T_{o6}\right) \right]. \quad (3)$$

При подаче управляющего воздействия максимальной величины  $U_{\rm max} = -F$  переходный процесс на выходе объекта на интервале времени от 0 до T описывается уравнением

$$x(t) = K_{o6} \cdot U_{max} \left[ 1 - \exp\left(-t / T_{o6}\right) \right]. \tag{4}$$

Максимальная скорость изменения сигнала x'(t) в этом случае равна

$$x'(t) = K_{o6} \cdot U_{max} \cdot 1/T_{o6} \cdot \exp(-T/T_{o6}). (5)$$

Из соотношения  $g'(t) \le x'(t)$  находим приемлемые значения постоянной времени  $T_{\mathfrak{g}}$ , при которых скорости изменения g(t) не превышают максимальных значений  $x'_{\max}(t)$ :

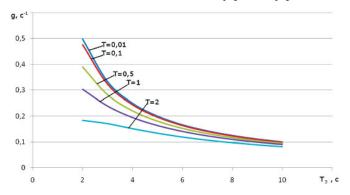
$$T_3 \ge T_{\text{of}} \sqrt{\frac{g_0}{K_{\text{of}} \cdot U_{\text{max}}}}.$$
 (6)

На рисунке представлены зависимости максимальной скорости изменения сигнала задания g'(t) от постоянной времени звена Tпри различных интервалах квантования по времени Т. Зависимости получены по формуле (2) для единичного ступенчатого воздействия  $g_0 = 1(T)$ . Как видно из рисунка, максимальная скорость изменения сигнала g(t) при малых значениях постоянной времени  $T_{\rm c}$  существенно уменьшается с увеличением интервала квантования по времени T. При больших значениях T максимальная скорость g'(t) становится малочувствительной к значениям T. Но с увеличением T максимальная скорость изменения регулирующего воздействия в переходном процессе  $\mu'(t)$  уменьшается, а время расчета  $\mu(t)$ увеличивается, что необходимо учитывать при его выборе, поскольку при достаточной скорости ИМ может происходить снижение быстродействия и уменьшение динамической точности АСР.

При регулировании малоинерционных процессов (например, расхода жидкости, давления, уровня) величина T может составлять десятые доли секунды [4]. Не рекомендуется выбирать большие периоды

квантования для ответственных процессов, так как в этом случае аварийные ситуации будут ликвидироваться слишком медленно. В то же время при слишком малом периоде квантования повышаются требования к быстродействию ЭВМ и увеличивается влияние шумов. Наличие высокочастотных

шумовых составляющих в измерительных сигналах приводит к случайным колебаниям исполнительного механизма системы, что в свою очередь снижает точность регулирования. В некоторых случаях шумовые составляющие могут привести к неустойчивому режиму работы системы.



Графики зависимости максимальной скорости изменения сигнала задания g'(t) от постоянной времени звена при различных интервалах квантования по времени  $T=0.01\dots 2c$ 

Что касается согласования со скоростью изменения ИМ, то следует заметить, что до сих пор самым распространённым способом регулирования производительности объектов, обеспечивающих транспортировку жидкостей, является использование задвижек или регулирующих клапанов. Но сегодня становится доступным и частотное регулирование асинхронного двигателя. Применение регулируемого электропривода насоса или вентилятора позволяет задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снизит потери транспортируемого вещества. Так, использование частотного регулируемого электропривода обеспечивает значительную экономию электроэнергии: от 30 до 60% на водонапорной станции и в компрессорных установках, до 75% в системах вентиляции и кондиционирования [5]. В АСР подобных технологических объектов, например, при регулировании расхода, давления, уровня в системе с частотным электроприводом без транспортного запаздывания, ИМ являются практически безинерционными. При этом устраняются ограничения на необходимую скорость ИМ.

Таким образом, получено соотношение, позволяющее выбрать величину постоянной времени  $T_3$ , при котором гарантируется воспроизведение задающего воздействия при любом интервале квантования сигнала по времени. Это позволит наряду с выбором быстродействующего регулятора использовать стандартные ИМ постоянной скорости без заметного снижения качества автоматического регулирования.

Список литературы

- 1. Nozaka Y. Trend of new control theory application in industrial process control (Asurvey) // Proc. Of 12th IFAC Word Congress, Sydney. 1993. –Vol. VI. P. 51–56.
- 2. Изерман Р. Цифровые системы управления: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 541с.
- 3. Филаретов В.Ф., Юхимец Д.А. Выбор величины шага квантования непрерывного задающего сигнала в самонастраивающейся системе с переменной структурой второго порядка // Сборник трудов ДВО РИА. – 2002. – Вып. 6. – С. 28–44.
- 4. Дудников Е.Г. Автоматическое управление в химической промышленности: учебное пособие для вузов / под ред. Е.Г. Дудникова. М.: Химия, 1987. 368 с.
- 5. Преобразователи частоты для частотно-регулируемого асинхронного электропривода. Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода [Электронный ресурс]: каталог / ООО «СибАрт». www.sibart-sib.ru/catalogue/oborud/pch-02.html.

#### References

- 1. Nozaka Y. Trend of new control theory application in industrial process control (Asurvey) // Proc. Of 12th IFAC Word Congress, Sydney, Vol. VI, 1993. pp. 51–56.
- 2. Izerman R. Cifrovye sistemy upravlenija: Per. s angl. M.: Mir, 1984. 541 p.
- 3. Filaretov V.F., Juhimec D.A. Vybor velichiny shaga kvantovanija nepreryvnogo zadajushhego signala v samonastraivajushhejsja sisteme s peremennoj strukturoj vtorogo porjadka // Cbornik trudov DVO RIA. Vyp.6. 2002. pp. 28–44.
- 4. Dudnikov E.G. Avtomaticheskoe upravlenie v himicheskoj promyshlennosti: uchebnoe posobie dlja VUZov / pod red. E.G. Dudnikova M.: Himija, 1987. 368 p.
- 5. Preobrazovateli chastoty dlja chastotno reguliruemogo asinhronnogo jelektroprivoda. Primenenie chastotno-reguliruemogo asinhronnogo jelektroprivoda [Jelektronnyj resurs]: katalog / OOO «SibArt». www.sibart-sib.ru/catalogue/oborud/pch-02.html.

#### Рецензенты:

Червяков Н.И., д.т.н., профессор кафедры «Высшая алгебра и геометрия», ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь;

Лубенцов В.Ф., д.т.н., профессор кафедры «Информационные системы, электропривод и автоматика», ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Невинномысск.

Работа поступила в редакцию 25.02.2013.