

УДК 681.5

Учет многотактности при частотном анализе импульсных систем стабилизации

Двойников С.М.

Аннотация

Предлагается приближенный метод эквивалентного преобразования математической модели многотактной системы стабилизации к эквивалентному однитактному виду с произвольным, в том числе и с наименьшим периодом квантования. Предложенный метод может использоваться при решении задач анализа и синтеза алгоритмов стабилизации на основе частотных методов с использованием критерия Найквиста при расчете частотных характеристик с размыканием в исследуемом контуре.

Ключевые слова: система стабилизации; многотактность; частотный анализ; устойчивость

Неотъемлемой частью системы стабилизации современной ракеты-носителя (РН) является бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ). Включение БЦВМ в контуры стабилизации приводит к ряду особенностей, усложняющих процедуру анализа и синтеза таких контуров.

В процессе анализа и синтеза системы стабилизации наиболее информативным является частотный анализ с размыканием в интересующей точке математической модели системы стабилизации. В соответствии с современной теорией регулирования частотный анализ достаточно полно разработан для импульсной системы стабилизации с одним общим периодом квантования. При этом частотный анализ системы регулирования допустим при размыкании в точках квантования или экстраполятора.

Цифровая часть системы стабилизации современных РН имеет сложную многоконтурную структуру. В БЦВМ реализуются алгоритмы боковой, угловой стабилизации, минимизации углов атаки, цифровой фильтрации. Для оптимизации вычислений в БЦВМ снятие информации с датчиков и выдача управляющих сигналов

происходит через различные интервалы времени – такты квантования T_i . Кроме того, в каждом контуре стабилизации имеется свое запаздывание τ_i .

Структурная схема современной системы стабилизации РН упрощенно, но с сохранением характерных особенностей, приведена на рис. 1.

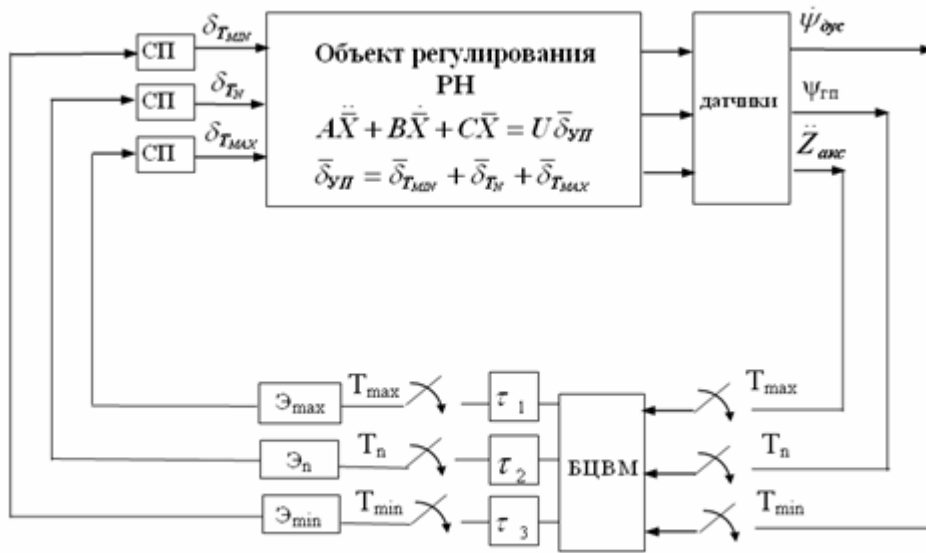


Рис. 1. Блок-схема многотактной системы стабилизации РН

Таким образом, современные системы стабилизации движения РН представляют собой сложные многоконтурные системы с различными периодами квантования сигналов в контурах стабилизации. При этом математическая модель непрерывной части РН описывается системой дифференциальных уравнений высокого порядка, включая уравнения «упругих» и «жидких» осцилляторов.

Частотный анализ многотактной системы стабилизации может проводиться путем расчета амплитудно-фазовых характеристик (АФЧХ) с размыканием в цепи наибольшего такта квантования T_{\max} при эквивалентной замене импульсных элементов с меньшими

кратными периодами квантования $T_{M_i} = \frac{T_{\max}}{k_i}$ на k_i асинхронных импульсных элементов с периодом квантования T_{\max} [1].

Такой подход является математически точным, однако не удобен при синтезе алгоритмов стабилизации и фильтрации в высокочастотных каналах угловой стабилизации.

При решении задач анализа и синтеза алгоритмов стабилизации и фильтрации в контурах угловых координат, имеющих наименьший период квантования, требуется расчет АФЧХ с размыканием в этих контурах. Таким образом, возникает задача эквивалентного приведения математической модели системы стабилизации к общему наименьшему такту квантования.

Учитывая, что рассматриваемый объект (РН) является инерционным звеном, фильтрующим высокочастотные движения, временные процессы в системе стабилизации имеют характер, близкий к синусоидальному, особенно в случае нахождения системы вблизи границы устойчивости.

Указанная особенность позволяет произвести эквивалентную замену в математической модели низкочастотных импульсных элементов на высокочастотные импульсные элементы с введением поправочных коэффициентов. Метод является точным при нахождении системы стабилизации вблизи границы асимптотической устойчивости и дает однозначный ответ об устойчивости или неустойчивости системы. При этом запасы устойчивости определяются с некоторой погрешностью и при необходимости могут быть уточнены другими методами, например расчетом областей устойчивости.

Систему стабилизации рассматриваем на границе асимптотической устойчивости. При этом в системе циркулирует сигнал

$$u(t) = e^{\alpha t} \cdot \cos \omega_0 t, \text{ где } \alpha \rightarrow 0, \omega_0 - \text{ частота колебаний вблизи границы устойчивости.}$$

Для определенности принимаем $T_{\max} = nT_{\min}$.

На рисунке (2) показано прохождение сигнала $U(t)$ через импульсный элемент с периодом квантования nT и экстраполятор нулевого порядка с передаточной функцией (1)

$$W_3 = \frac{1 - e^{-nTp}}{p}. \quad (1)$$

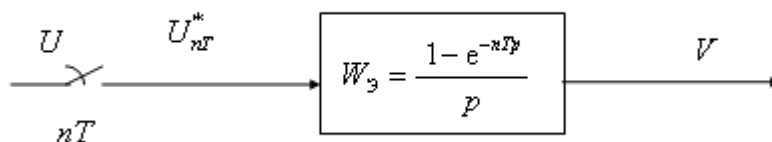


Рис. 2

Вид сигналов приведен на рисунке 3.

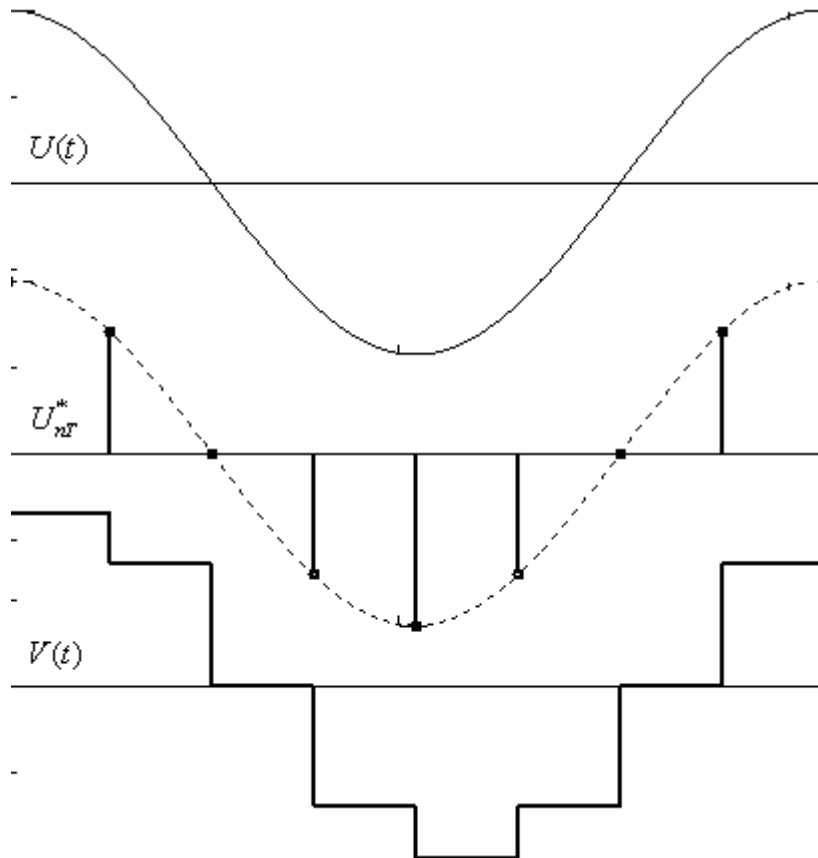


Рис. 3.

Рисунок 4 иллюстрирует эквивалентную замену импульсного элемента с периодом квантования nT на импульсный элемент с периодом квантования T с последующей интерполяцией с малым тактом T . При этом на выходе эквивалентного звена сигнал \tilde{V} совпадет с сигналом V .

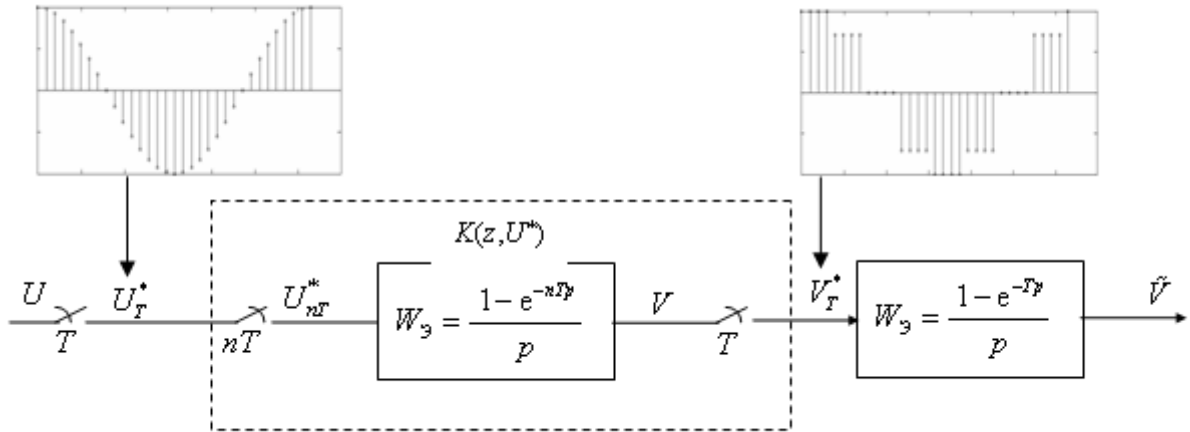


Рис. 4.

Таким образом, задача эквивалентного преобразования импульсного элемента с периодом квантования nT на импульсный элемент с периодом квантования T сводится к нахождению поправочного корректирующего коэффициента (2)

$$K(z, U_T^*) = \lim_{\alpha \rightarrow 0, \omega \rightarrow \omega_0} \frac{V_T^*(z)}{U_T^*(z)}, \quad (2)$$

зависящего от вида входного воздействия и его частоты.

z – преобразование сигнала $U_T^*(j\omega T_{\min})$ имеет вид (3):

$$U_T^*(z) = \frac{z^2 - z \cdot \cos(\omega_0 T) \cdot e^{\alpha T}}{z^2 - 2 \cdot z \cdot \cos(\omega_0 T) \cdot e^{\alpha T} + e^{2\alpha T}}, \quad (3)$$

z – преобразование вторично проквантованного сигнала $V_T^*(j\omega T_{\min})$ имеет вид (4):

$$V_T^*(z) = \frac{1 - z^{-n}}{1 - z^{-1}} \cdot \frac{z^{2n} - z^n \cdot \cos(\omega_0 nT) \cdot e^{\alpha nT}}{z^{2n} - 2 \cdot z^n \cdot \cos(\omega_0 nT) \cdot e^{\alpha nT} + e^{2\alpha nT}}, \quad (4)$$

где $z = e^{j\omega T}$.

Корректирующий коэффициент $K(z, U_T^*)$ при $\omega = \omega_0$ и $\alpha \rightarrow 0$ имеет вид: (5)

$$K(z, U_T^*) = \lim_{\alpha \rightarrow 0, \omega \rightarrow \omega_0} \frac{V_T^*(z)}{U_T^*(z)} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1 - z^{-n}}{1 - z^{-1}}, \quad (5)$$

При построении частотных характеристик в каждый контур цифрового автомата стабилизации вводится свой поправочный коэффициент, позволяющий преобразовать систему к эквивалентному однотактному виду.

Предложенный метод позволяет осуществлять эквивалентное преобразование не только к наименьшему, но и любому такту квантования, что позволяет проводить

исследования и синтез любых контуров стабилизации. Следует заметить, что при эквивалентной замене импульсного элемента с меньшим периодом квантования T_m на элемент с большим периодом T_o во избежание дополнительных (искусственно привнесенных) транспонирований в системе необходимо выполнение требования

$$\frac{\pi}{T_o} \geq \omega_{\max}, \text{ где } \omega_{\max} - \text{наибольшая частота, присутствующая в системе.}$$

Способ позволяет проводить синтез и анализ системы на начальном этапе проектирования системы стабилизации и исследовать наиболее важные для анализа устойчивости быстродействующие контуры в системе стабилизации.

Библиографический список.

1. Джури Э. Импульсные системы автоматического регулирования, М.: государственное издательство физико-математической литературы, 1963.

Сведения об авторе

Двойников Сергей Михайлович, инженер Центрального научно-исследовательского института машиностроения(ЦНИИМАШ). e-mail: 108dvsr@rambler.ru , тел.: 513-55-86.