

МОДЕЛИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ШИМ- СИГНАЛОВ

М.Б.Рустамова

**Каршинский государственный технический университет,
доктор технических наук, доцент, PhD.
(кафедра «Оптические системы связи и сети»).**

***Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы разработки математических моделей и алгоритмов исследования динамических характеристик многомерных дискретных систем управления с широтно-импульсной модуляцией. Произведен анализ существующих методов решения поставленной задачи, в результате которой в работе предложен рассмотрению динамики дискретной системы в классе системы с динамической структурой, что позволяет разбить динамику системы на линейные участки исходя из физической особенности режимов работы модуляторов с нелинейными модуляционными характеристиками.*

Выделение множества структурных состояний в соответствии с моментами замыкания каналов передач позволяет представить исходную N -мерную нелинейную Широтно-импульсной системы (ШИС) в виде совокупности взаимодействующих друг с другом линейных подсистем. При этом нелинейность исходной системы проявляется через определенное по нелинейному закону время фиксации импульсов в пределах каждого из структурных состояний.

Нелинейность характеристики широтно-импульсного модуляторы учитывается в момент замыкания импульсного элемента в соответствии с нелинейной модуляционной характеристикой. Элементы нестационарность проявляется через переменную длительность импульса.

Предложен эффективную вычисления реакции системы основывающий на суммирование реакций отдельных структурных состояний в соответствии со структурной системы и режимами работы модуляторов.

Предложенная методика отличается простотой реализации в задачах управления технологическими процессами с помощью микроконтроллеров

выявить и учитывать особенности процесса управления в реальных объектах.

Системы с широтно-импульсной модуляцией относятся к существенно нелинейным системам. Известные методы анализа динамики данного класса систем можно классифицировать как методы, использующие различные рекуррентные процедуры [4,5], методы, основанные на понятии фазовой плоскости [2] и суммарных уравнений [3].

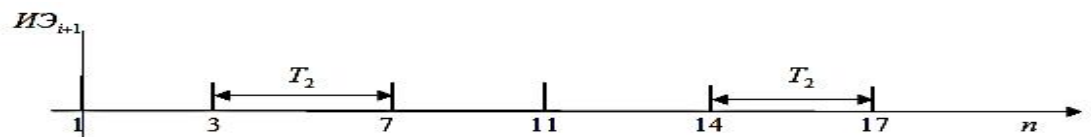
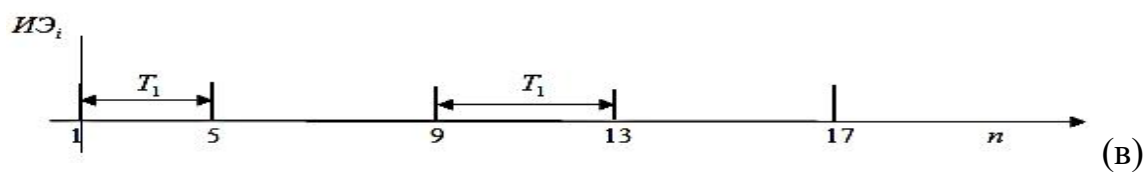
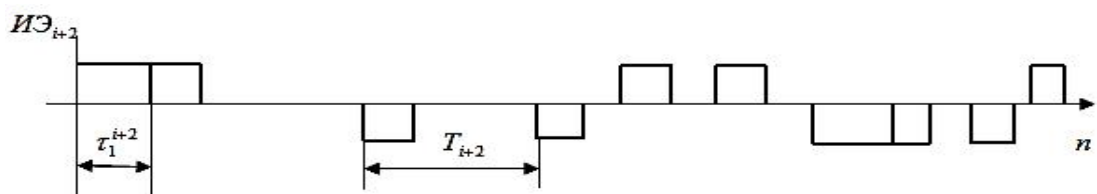
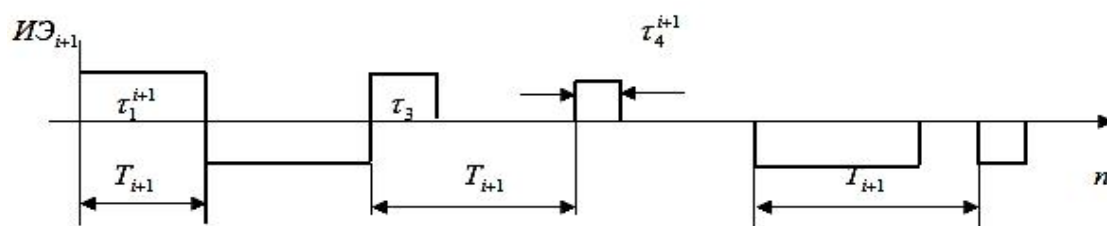
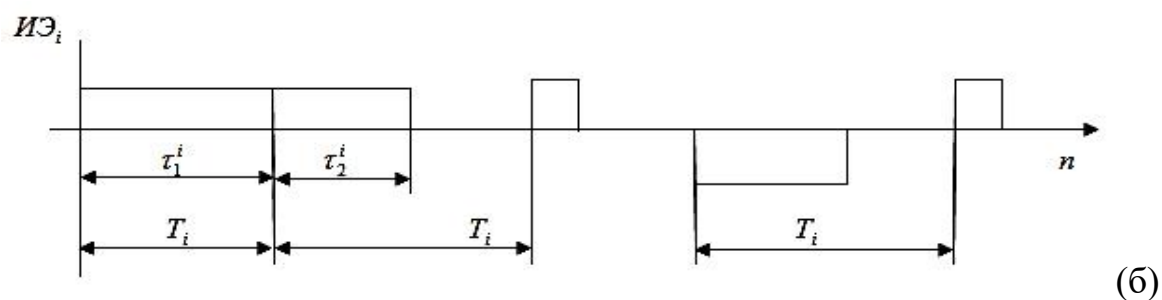
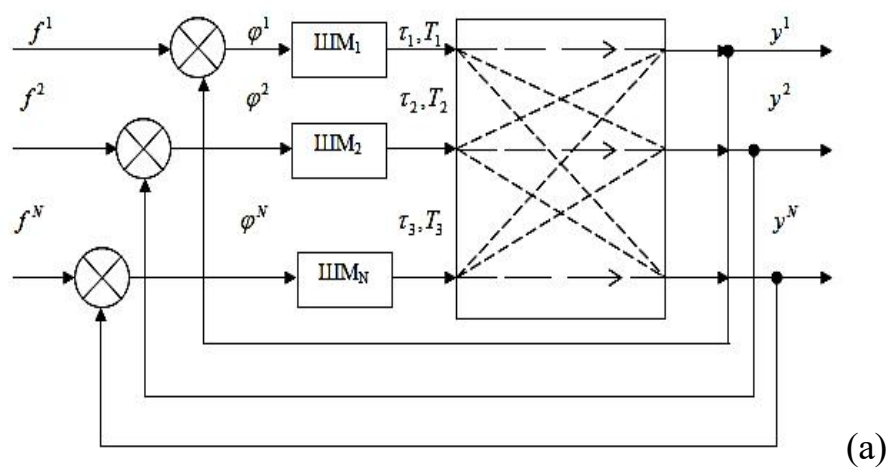
Несмотря на богатую и давнюю историю вопроса, на сегодняшний день имеются обширные подмножества систем, которые либо не охватываются известными подходами, либо встречаются принципиальные трудности при попытках их исследования. Прежде всего, следует отметить такие сложные подклассы систем как системы с нестандартными режимами работы широтных модуляторов. В многомерных системах с автономными модуляторами периоды повторения импульсных элементов могут быть самыми различными. Если учесть, что при этом длительности импульсов на каждом из переменных интервалов по каждому каналу определяются в зависимости от различных нелинейных модуляционных характеристик, то становятся ясными источники трудностей моделирования таких режимов функционирования импульсных частей.

Рассматриваемая схема с Широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) (рис.1а) состоит из широтно-импульсных модуляторов (ШМ) и непрерывной линейной части (НЛЧ). Длительность n -го импульса на выходе каждого из модуляторов $ШМ_i$, $i = 1, 2, \dots, N$ определяется значением сигнала ошибки $e(nT_i)$, вычисляемым в дискретные моменты времени, т. е.

$$\tau_n^i = \begin{cases} \varphi^i[e(nT_i)] & \text{при } \varphi^i[e(nT_i)] \leq T_i, \\ T & \text{при } \varphi^i[e(nT_i)] > T_i, \end{cases} \quad (1)$$

где T_i - период повторения импульсов на выходе $ШМ_i$;

φ_i - модуляционная характеристика широтного-модулятора.



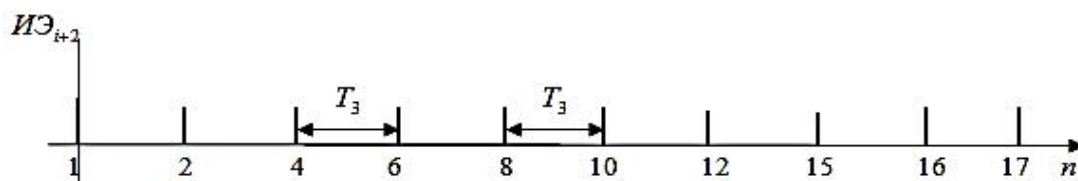


Рис.1 Структурная схема и временные диаграммы модуляторов ШИС

Физика работы системы показывает, что она является замкнутой лишь моменты времени $n1, n=1,2,3,\dots$. В остальное время схема разомкнута, и процесс на ее выходе может быть определен как сумма реакций, вызванных прямоугольными импульсами разной длительности и знака при воздействии их на линейную непрерывную часть. Нелинейность системы проявляется в том, что в начале каждого интервала длительностью T_i определяются ширина импульсов и их знак в соответствии с модуляционной характеристикой $\varphi^i, i=1,2,\dots,N$ (рис. 1б,в).

Нелинейность и нестационарность при такой схеме представления ШИС обусловлены тем, что формирующие звенья описываются нестационарными нелинейными передаточными функциями вида

$$\tilde{W}_i(p) = \frac{1 - e^{-p \frac{\tau_n^i}{n}}}{p}, \quad (2)$$

где τ_n^i - определяется в соответствии с нелинейной модуляционной характеристикой φ^i , нестационарность $W_i(p)$ вызвана переменностью длительности импульсов, что в свою очередь приводит к переменности параметров приведенной непрерывной части системы в целом (рис.2). Отметим, что, несмотря на нелинейность и нестационарность ПНЧ, в рамках выделенных структурных состояний она является линейной и стационарной [1]. Выделение множества структурных состояний в соответствии с моментами замыкания каналов передач позволяет представить исходную N -мерную нелинейную ШИС в виде совокупности взаимодействующих друг с другом линейных подсистем. При этом нелинейность исходной системы проявляется через определенное по нелинейному закону время фиксации импульсов в пределах каждого из структурных состояний.

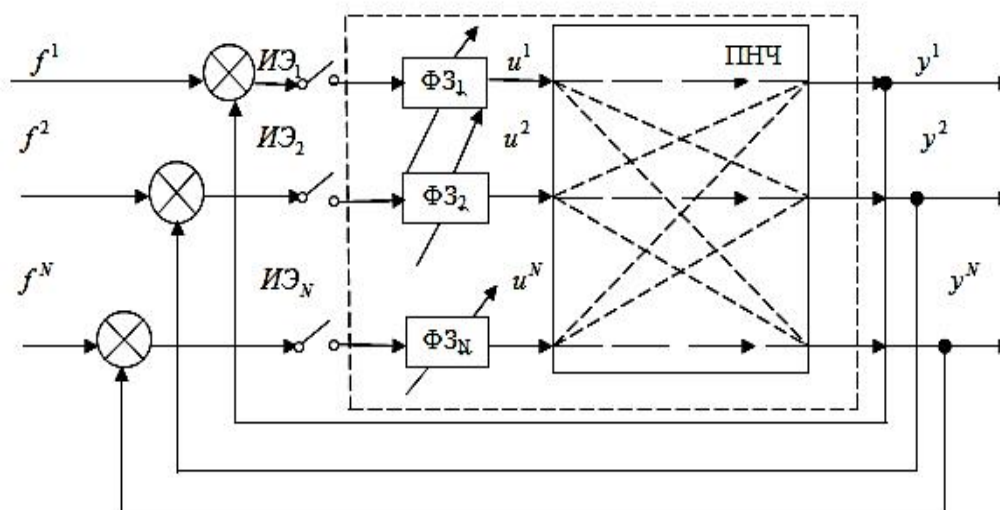


Рис. 2 Эквивалентная схема

Выявление ошибок $e^i(jT^+)$ в многомерной ШИС происходит в результате сравнения сигналов входа и выхода, вычисленных в моменты jT , предшествующие моменту замыкания.

Формирующие звенья, где ШИС в интервале большем периода замыкания $T_i, i = 1, 2, \dots, N$ должны быть отнесены к нелинейным нестационарным звеньям

с передаточными функциями $\tilde{W}_i(p) = \frac{1 - e^{-p \frac{T_i}{n}}}{p}$.

Однако при рассмотрении ШИС как СДС с декомпозицией на отдельные структурные состояния модели формирующих звеньев в пределах $jT < t < (j+1)T$ строятся из простейших моделей с помощью передач $\frac{1}{p}$,

дуг учитываются эффект фиксации и вид амплитудной

характеристики широтно-импульсного элемента. Нелинейность учитывается при определении τ_j^i в момент замыкания jT_i^+ в соответствии с нелинейной модуляционной характеристикой ϕ^i , а нестационарность проявляется через переменную длительность фиксации τ_j^i на каждом интервале замыкания каналов передач системы. На участках отсутствия импульсов модели формирующих звеньев исключаются из рассмотрения. Рассмотрим произвольный сепаратный канал N - мерной системы с ШИМ [6].

Рассмотрим на конкретном примере:

$$A(p) = \frac{1}{p(p+0,5)}, \quad \tau_j^i = \begin{cases} |e(T_r^+)| & \text{для } |e(jT_r^+)| < 1, \\ T & \text{для } |e(jT_r^+)| \geq 1. \end{cases}$$

$$f(t) = 1(t),$$

τ_j^r - длительность действия импульса r -го канала в j -м периоде прерывания.

В интервале $jT_r < i \leq jT_r + \tau_j^r$ высота импульса равна

$$e = \begin{cases} +B^r & \text{для } e(jT_r^+) > 0, \\ -B^r & \text{для } e(jT_r^+) < 0, \end{cases}$$

Сма состоит из двух частей, первый соответствует наличию импульса, второй - отражает процессы в канале передаче во время паузы.

Отсюда можно определить

$$\frac{B^r}{p|e^r(0^+)|} e^r(0^+) = \frac{B^r}{p} \text{sign } e^r(0^r)$$

или в общем случае

$$\frac{B^r}{p|e^r(jT^+)|} e^r(jT^+) = \frac{B^r}{p} \text{sign } e^r(jT^+). \quad (3)$$

Обозначим далее

$$u^r(jT^+) = B^r \text{sign } e^r(jT^+). \quad (4)$$

Определяя передачи между соответствующими переменными, получим расчетную формулы для вычисления реакции [7].

Моделирование широтно-импульсных модуляторов, по существу, совмещено с моделированием формирующих звеньев эквивалентной системы. Дополнительно к этому достаточно для каждого канала на каждом интервале прерывания рассчитывать по модуляционной характеристике ширину импульсов.

Учитывая изложенное и основываясь на общности определенных этапов формирования моделей многомерных АИС и ШИС, можно сформулировать алгоритм построения динамической графовой модели ШИС.

Алгоритм 1

1. Принимается единая шкала отсчета времени для периодов повторения $T_1, T_2, \dots, T_N$ широтно-импульсных модуляторов

$ШМ_1, ШМ_2, \dots, ШМ_N$ $\tilde{\tau}_* = t^1 \cup t^2 \cup \dots \cup t^N$, где $t^i, i = 1, 2, \dots, N$ - множество моментов замыкания ШИС по i -му сепаратному каналу передачи.

2. Расчет процессов многомерной ШИС осуществляется путем расчета процессов в отдельных элементах с последующим их суммированием в соответствии со структурой системы и режимом функционирования широтно-импульсных модуляторов $ШМ_1, ШМ_2, \dots, ШМ_N$ на основе следующего алгоритма [7].

Алгоритм 2

1. На каждом шаге расчетов, начиная с первого, определяются ошибки e^r , длительности импульсов τ^r и входные сигналы u^r для всех $r, k = \{1, 2, \dots, N\}$.

2. Моменты времени, соответствующие началу или окончанию импульсов, отмечаются на единой шкале отсчета времени.

3. Векторы состояний сепаратных и перекрестных каналов определяются по соотношениям

$$\vec{X}^r(t_k) = \vec{A}_u^r(t_k^r - t_{k-1}^\alpha) \vec{A}_n^r(t_k^r - t_{k-1}^\alpha) \vec{X}^r(t_{k-1}^\alpha); \quad (5)$$

$$\vec{X}^{rk}(t_k) = \vec{C}_u^{rk}(t_k^r - t_{k-1}^\alpha) \vec{C}_n^{rk}(t_k^r - t_{k-1}^\alpha) \vec{X}^{rk}(t_{k-1}^\alpha); \quad (6)$$

В (5), (6) матрицы $\vec{A}_u^r, \vec{C}_u^{rk}$ используются, если в момент времени t_{k-1} были импульсы на входах r -го и k -го сепаратных каналов. В противном случае расчет векторов состояний осуществляется на основе матриц $\vec{A}_n^r, \vec{C}_n^{rk}$.

4. Определяются выходные координаты системы

$$y^r(t_k) = x_1^r(t_k) + \sum_{j=1}^N x_1^{rj}(t_k), \quad (7)$$

где $x_1^r(t_k), \vec{X}^r(t_k), x_1^{rj}(t_k), \vec{X}^{rj}(t_k)$.

5. Осуществляется переход к пункту 1 алгоритма для момента времени t_{k+1} .

Результаты расчетов удобно представлять в табличной форме, где отмечаются время наступления событий, структурные состояния и значения переменных, характеризующих динамику промежуточных, входных и выходных координат системы.

Заключение.

1. Разработаны вычислительные модели расчета переходных процессов непрерывно-дискретных систем с ШИМ, отличающие

простотой реализации в вычислительных машинах и учитывающие режимы работы модуляторов.

2. Предложен способ формализации дискретной системы в классе системы с динамической структурой, позволяющий описать динамики системы линейной передаточной функций.
3. Разработан алгоритм вычисления реакция дискретной системы.
4. В соответствии со структурных состояние системы и режимами работы модуляторов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- [1] Norman S. Nise. Control Systems Engineering. New York, John Wiley, 7 edition, 2015. – 944 p.
- [2] Yusupbekov N.R., Muxamedov B.E., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni boshqarish tizimlari. – Toshkent: «O'qituvchi», 1997. -704 b.
- [3] Сиддиков И.Х., Шербобоева Г.Б., Рустамова М.Б. (2020) Синтез терминальной системы управления дискретными нелинейными объектами с ШИМ-модуляцией// Физико-технический журнал. Том. 5. Вып. 1. Январь, С. 5089-5093.