

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ**Рустамова Малика Баходировна**

*Старший преподаватель кафедры «Телекоммуникационного инжиниринга»
Каршинского филиала Ташкентского университета информационных технологий
имени Мухаммад Ал-Хорезми*

В настоящее время исследование сложных дискретных систем, отражающих функционирование различных объектов, таких как автоматизированные системы управления технологическими процессами, информационно-вычислительные системы, сетевые комплексы и другие, является актуальной задачей научного сообщества.

Учитывая приоритетность и уровень развития сферы информационно-коммуникационных технологий, в частности защиты критических информационных инфраструктур и систем автоматического управления, большое внимание в последнее время уделяется исследованию устойчивости дискретных систем автоматического управления. Во всем мире, в странах СНГ и в Узбекистане это направление также считается не до конца изученным.

Исследования по обеспечению устойчивости сложных дискретных, многодискретных систем в нормальных условиях эксплуатации (где в дальнейшем рассматриваются параметры многоскоростной, многомерной системы, динамический график, импульсный элемент с предложением алгоритма определения устойчивости) [1], оптимизация качества систем управления (где рассматриваются вопросы оптимизации систем в различных отраслях промышленности) [2], разработка конструкций с широтно-импульсной модуляцией преобразователей мощности (методы модуляции, преобразователи мощности в электроснабжении) [3], устойчивость и управление сложными системами со стохастическим переключением и т.д. проводились мировыми учёными, и сегодня продолжают изыскательские работы по разработке автоматизированных систем управления с использованием различных инструментов, моделей разного уровня автоматизации.

Известно, что автоматизация управления в целом предусматривает повышение эффективности использования потенциальных возможностей объекта управления. Для достижения этой цели необходимо реализовать ряд следующих подцелей, таких как предоставление соответствующих данных лицу, принимающему решение, ускорение процесса выполнения отдельных операций по сбору и обработке данных, сокращение количества решений, принимаемых лицом, принимающим решение, повышение уровня контроля и исполнительской дисциплины, повышение эффективности управления, снижение затрат лиц, принимающих решение, на выполнение вспомогательных процессов и повышение степени обоснованности решений [4].

Как известно, сложная система [5-7] - это система, которую можно разделить на подсистемы, исследование каждой из которых в отдельности, с учетом влияния других подсистем в рамках поставленной задачи, носит содержательный характер; функционирующая в условиях значительной неопределенности и воздействия на нее внешней среды, обуславливающей случайный характер изменения ее параметров или структуры; осуществляющая целенаправленный выбор своего поведения.

Сложные системы, в которых изменение состояния объекта происходит мгновенно во времени, называются сложной дискретной системой [5-7]. Известно, что системы, в которых имеется хотя бы один импульсный элемент (ИЭ), преобразующий непрерывный сигнал в последовательность модулированных импульсов, называются импульсными системами (ИС), в которых информация кодируется: A - высота, или амплитуда импульсов; γT - ширина, или длительность, импульсов; T - расстояние между импульсами, или период повторения; $S(t)$ - форма импульса (рис. 1) [8]. Здесь следует сказать об импульсных случайных процессах, т.е. таких, в которых отражается четкая последовательность одиночных импульсов, параметры которых случайным образом меняются от импульса от импульса к импульсу.

При определении параметров реальных импульсов обычно нет возможности однозначно разделить импульс на характерные участки, поэтому в таких случаях параметры импульсов определяются на основе определенных соглашений.

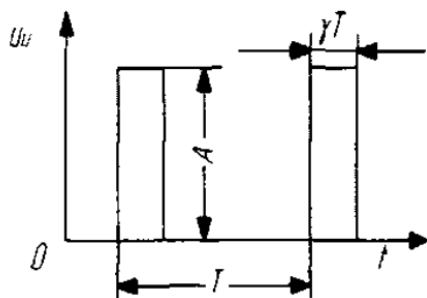


Рис. 1. Основные параметры импульсов

Выходное значение импульсного элемента, функцией формы которого является единичная δ -функция, представляет собой последовательность δ -функций, модулированных по "площади", и не имеет реального физического смысла, являясь математической абстракцией. Также, в зависимости от типа и вида импульсной модуляции, элементы импульса делятся на амплитудные, широтные и временные. Зависимость значения модулируемого параметра выходной последовательности от соответствующих дискретных значений входной величины называется характеристикой импульсного элемента.

Говоря о процессах, происходящих в ИС, можно сказать, что они возникают вследствие изменения либо внутренних координат, либо внешних воздействий, при расчете которых требуется решить разностное уравнение, описывающее динамику этих систем, общее решение для которого описывается в виде

$$y(k) = y_c(k) + y_g(k) \quad (1)$$

где $y_c(k)$ - свободная составляющая, обусловленная ненулевыми начальными условиями, и $y_g(k)$ - вынужденная составляющая, обусловленная внешними воздействиями.

При решении этой задачи в данной работе использовались методы системного анализа и проектирования алгоритмов - метод пошагового уточнения (улучшения). Сначала проблема была рассмотрена в целом, касательно импульсных систем в общем виде. Далее выделена отдельная задача - задача формирования процессов переключения для конкретной системы, с учетом одномерности или многомерности. В структурированном виде для общего процесса описана блок-схема, указывающая порядок выполнения этих частей. Затем от общей структуры перешли к описанию отдельных частей, то есть с учетом шага расчета, количества мер и типов матриц. Таким образом, разработка алгоритма в данной работе состоит из последовательности шагов по доработке алгоритма.

При исследовании одномерных систем обычно учитывается поведение образующих звеньев, относящихся к непрерывной части дискретной системы, состоящей из одного или нескольких ИО и непрерывной части, исследование этой проблемы в данной статье не рассматривается. В случае рассмотрения системы, когда она разбита на N подсистем, и когда каждая из них имеет интегральный выходной сигнал y_n и интегрированный входной сигнал x_n , связь между ними представляется в виде следующей функциональной зависимости [1]:

$$F_n : X_n \rightarrow Y_n, n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

а отношение i -го элемента системы имеет вид:

$$y_i(t) = F_i[x_n(t)], i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

Обычно процессы вычисления переходных функций в различных дискретных системах осуществляются либо аналитически (путем разложения изображения $Y(z)$ на элементарные члены и использования таблиц соответствия z -изображений и оригиналов, а также разложения $Y(z)$ в ряд Лорана), либо путем компьютерного моделирования, (например, в Matlab).

При рассмотрении импульсных систем важна их точность и коррекция, и в этих случаях, как для импульсных, так и для непрерывных систем, вводятся определения статической ошибки, астатизма, коэффициентов ошибок, ошибок при гармоническом воздействии, а также среднеквадратичной ошибки [2].

Если точность импульсных систем определяется такими факторами, как стационарные погрешности, коэффициенты ошибок, погрешности импульсных систем при гармоническом воздействии, статистическая точность, то коррекция определяется факторами непрерывной коррекции и импульсной коррекции с использованием цифровых корректирующих фильтров.

Цифровые корректирующие фильтры реализуются с помощью цифровой вычислительной машины [3, 4]. В этом случае входной сигнал фильтра x преобразуется в аналого-цифровом преобразователе, а затем решение разностного

уравнения на цифровой ЭВМ и выводится на непрерывную часть импульсной системы через цифро-аналоговый преобразователь. В настоящее время большой популярностью пользуются и получают все большее распространение цифровые системы, в которых микропроцессоры и компьютеры выступают в качестве исполнителя функций вычислительного устройства. В результате необходимости выбора цифрового уравнивающего фильтра, возникла необходимость провести синтез цифровых систем. При последовательном включении фильтра с непрерывной частью системы, которая в достаточно распространенных ситуациях включает в себя объект управления, регулятор, исполнительный механизм, усилитель мощности и датчик, способствует получению системы с требуемыми характеристиками. Под желаемыми характеристиками обычно понимаются аналоговые эквиваленты [5]: импульсные функции, переходные функции и частотные характеристики. Эти характеристики, при достаточно высокой тактовой частоте цифрового вычислителя и большой разрядности преобразователей, являются более оправданными.

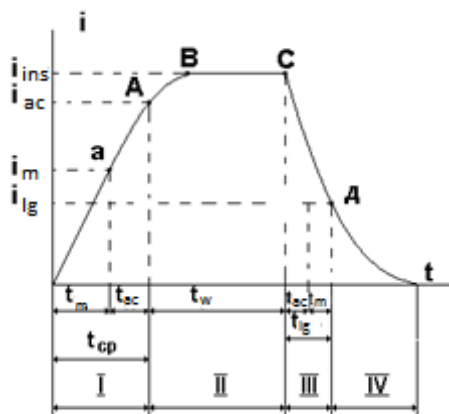


Рис. 2. Визуальная демонстрация временной диаграммы работы элементов реле.

Общая картина состоит из четырех зон, где первая зона изображает этап срабатывания, который является результатом сложения двух временных интервалов и определяется как

$$t_{ac} = t_r + i_m.$$

Вторая зона отражает этап работы реле и происходит от точки А к точке В, где после срабатывания ток продолжает увеличиваться до достижения установившегося значения, чтобы обеспечить надежное притяжение якоря к сердечнику, исключая вибрацию якоря, а на участке

В-С значение тока остается неизменным.

Третья зона изображает этап возврата, который также включает два участка: участок отпуская С-D (t_{lg}), участок возврата в исходное состояние (t_{ret}) [7].

При проведении расчета вручную можно построить временной график работы каждого импульсного элемента, причем для каждого отдельного ИЭ следующий фрагмент графика может быть построен только после проведения расчета в предыдущем цикле.

Такая проблема, хотя и редко, но встречается и на практике, где сразу можно выделить тот или иной тип связей, называемых перекрестными, для устранения

которых необходимо переставлять и переносить сумматоры и узлы [8], например, требуется перенести узел через связь в направлении распространения сигнала (рис. 3).

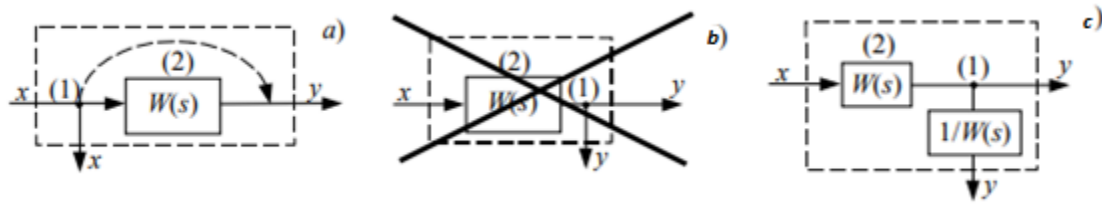


Рис. 3. Схема передачи узла по ссылке: а - до преобразования; б - неправильное преобразование; в - после преобразования.

Из рисунка видно, что простой перенос приводит к схеме (рис. 3.б), которая не соответствует исходной из-за отсутствия выходного сигнала $x(t)$, но наличие двух сигналов $y(t)$, и $y(s) = x(s) \cdot W(s)$, Из чего следует, что для приведения схемы к исходной необходимо сделать боковое ответвление на выходе $y(t)$, включите связь с передаточной функцией $\frac{1}{W(s)}$. После выполнения вышеописанных действий в результате можно будет получить схему, соответствующую оригиналу (рис. 3.с). Для формализации процесса переключения ИЭ в сложных дискретных системах целесообразно рассмотреть общий случай модуляции, для которого временной график работы всех ИЭ идеализирован.

Пусть в общем случае ИЭ характеризуется следующим набором параметров последовательности импульсов, выдаваемых им в каждом i - третий цикл:

T – период повторения

n – количество импульсов

$A(j); j = \overline{1, n}$ - амплитуды импульсов;

$D(j) = \{D(1), D(2), \dots, D(n)\}$ – набор длительностей импульсов;

$R = \{R(1), R(2), \dots, R(n+1)\}$ – совокупность интервалов между импульсами.

Таким образом, рассматривается наиболее общий случай модуляции первого рода, и без потери общности этот подход может быть распространен на модуляции других видов [9].

При таком рассмотрении импульсного элемента временной график его работы выглядит как последовательность импульсов различной длительности и амплитуды. В каждый момент времени, кратный периоду срабатывания импульсного элемента, становятся известны все параметры, характеризующие последовательность импульсов в n -м цикле.

Известно, что в многоканальных системах типовые объекты в виде апериодических звеньев с задержкой измерений эквивалентных возмущений в каналах управления могут осуществляться путем разделения во времени процессов управления по измерению реакции объекта на возмущение, необходимым условием которого является условие окончания процессов управления за конечное время. К таким многомерным системам регулирования и управления относятся

многоимпульсные системы с асинхронными и внефазными периодами коммутации [2].

После того как все строки матрицы коммутации и матрицы амплитуд сформированы, можно выбрать значение для следующего шага вычислений и непосредственно вычислений. Этот процесс осуществляется следующим образом:

1. Из всех элементов матрицы коммутации выбирается наименьший положительный элемент. Это будет следующий шаг вычислений.

2. Из всех элементов матрицы коммутации вычитается тот, который был определен на предыдущем шаге.

3. Определяются индексы наименьших неотрицательных элементов каждой строки K .

4. По матрице амплитуд, в соответствии с найденными в п. 3 индексами, определяются значения выходных воздействий импульсных элементов за интервал времени, принимаемые за значения входных воздействий, действующих на непрерывную часть системы.

ЛИТЕРАТУРЕ:

[1] Kadyrova, D. Kadirova. Investigation of the ability of multivariate and multi-discrete control systems. *Journal of Modern Technologies and Engineering*, Vol.4, No. 2, 2019. pp- 2277-2284.

[2] Sultan, Khalaf S., Rahim, M. A. *Optimization in Quality Control*. Springer US, 1997. -387 p.

[3] Simone Baldi, Antonis Papachristodoulou, Elias B. Kosmatopoulos. Adaptive pulse width modulation design for power converters based on affine switched systems. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, Volume 30, November 2018, Pages 306-322

[4] Берг А. И., Китов А. И., Ляпунов А. А. О возможностях автоматизации управления народным хозяйством // *Проблемы кибернетики*. Выпуск 6. М.: Физматгиз, 1961. С. 83-100. на русском языке

[5] В.А.Бесекерский, Е.П.Попов. *Теория автоматического управления*, Санкт-Петербург, Профессия, 2003. на русском языке.

[6] Советов Б.Ю.А., Яковлев С.А. *Моделирование систем: Учеб. для вузов* - М.: Высш. шк., 2001. на русском языке.

[7] Павловский Ю.У.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И. *Имитационное моделирование*.

- М.: ИТС "Академия", 2008. на русском языке.

[8] В.А. Стенин. *Теоретические основы систем автоматики СЭУ*. Северодвинск 2011. -158 с. на русском языке

[9] Сиддиков И.К.Х., Марахимов А.Р. Прогнозирование поведения многомерного объекта при реализации цифрового алгоритма управления // *Известия ВУЗов. Серия технических наук*. 2002. №1. с. 18-21. на русском языке [22] Benjamin

C. Kuo, Farid Golnaraghi. Automatic Control Systems. New York, John Wiley; 8 edition. 2002. - 624 p.

[10] Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya / Pod red. K.A.Pupkova. Tom 1-4. - M.: MGTU im. Baumana, 2004. in russian