

Е. А. Семёнова, к. т. н., ст. преподаватель; О. А. Войцеховская

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ФАЗЗИ-ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕДСТАВЛЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ

В данной статье предложен метод структурного синтеза фаззи-логических элементов. Элементы состоят из базовых схем, которые выполняют операции сложения, вычитания, разветвления и деления на два. Синтезированы структурные схемы элементов, которые осуществляют операции: импликация, противоречие и эквивалентность. Информация в разработанных элементах представляется частотно-импульсными сигналами.

Ключевые слова: фаззи-логический, синтез, элемент.

Применение в телекоммуникационных системах устройств, функционирующих на основе фаззи-логики, дает возможность при невысоких экономических затратах осуществлять точное управление в изменяющихся условиях. Составной частью таких устройств являются элементы, которые реализуют функции фаззи-логики.

В том случае, когда информационными сигналами системы являются частотно-импульсные сигналы, использование специализированных преобразователей приводит к усложнению схем, увеличению габаритов и уменьшению точности. Поэтому в подобных случаях для реализации операций фаззи-логики необходимо применять элементы с частотно-импульсным представлением информации.

Целью данной работы является повышение эффективности проектирования элементов фаззи-логики.

Для повышения эффективности проектирования импульсных элементов, реализующих операции фаззи-логики, необходимо разработать метод структурного синтеза элементов фаззи-логики, который позволит разрабатывать элементы, выполняющие базовые функции фаззи-логики: дополнение, максимум, минимум, и дополнительные функции фаззи-логики: противоречие, тавтология, запрет, импликация, стрелка Пирса, штрих Шеффера, исключающее ИЛИ и эквивалентность.

Таким образом, для достижения цели необходимо решить такие **задачи**:

- определить обобщенную структурную схему фаззи-логических элементов;
- разработать алгоритм метода синтеза фаззи-логического элемента.

Обоснование вида базовых физических схем. В работе [1] предложен метод синтеза частотно-импульсных логических элементов, согласно которому каждому элементу приводится в соответствие совокупность базовых физических схем и связей между ними. На основе логических функций составляется операторное описание, по которому строятся структурные схемы элементов.

В данном случае предлагается метод структурного синтеза элементов фаззи-логики, при котором в качестве базовых используются физические схемы, осуществляющие операции сложения (А-элемент), вычитания (S-элемент), разветвления (Р-элемент) и деления частоты сигналов на два (D-элемент).

Соединяя последовательно и параллельно один с другим разные базовые физические элементы, получим схемы, реализующие функции фаззи-логики. Такие функции будем описывать последовательностью соответствующих операторов. Для этого используем такую структуру описания:

$$\underbrace{z \overset{1}{\uparrow} x_1 \overset{2}{\uparrow} x_2 \overset{3}{\uparrow} \dots x_m \overset{m+1}{\uparrow}}_{\text{поле входных сигналов}} : \underbrace{\hspace{2cm}}_{\text{поле операторов}} : \underbrace{\overset{n}{\downarrow} y}_{\text{поле выходного сигнала}}$$

Таким образом, поскольку в операторном описании отмечаются все сигналы и базовые физические элементы, а также последовательность соединения этих элементов, на основе

такого описания строится структурная схема элемента.

Алгоритм метода структурного синтеза элементов фаззи-логики. На основе разработанных структурных схем элементов дополнения, минимума, максимума составляем обобщенную структурную схему элемента фаззи-логики (рис. 1). Эта схема содержит две операции дополнения, две операции минимума и одну операцию максимума.

Обобщенное операторное описание обобщенной структурной схемы элемента фаззи-логики имеет такой вид:

$$z \overset{1}{\uparrow} x_1 \overset{2}{\uparrow} x_2 \overset{3}{\uparrow} : \left(\overset{1}{\downarrow} P \overset{4}{\uparrow} \overset{5}{\downarrow} \overset{2}{\downarrow} P \overset{6}{\uparrow} \overset{7}{\uparrow} \overset{8}{\downarrow} \overset{3}{\downarrow} P \overset{9}{\uparrow} \overset{10}{\uparrow} \overset{11}{\uparrow} \right) \left(\overset{4}{\downarrow} \overset{6}{\downarrow} S P \overset{12}{\uparrow} \overset{13}{\uparrow} \overset{5}{\downarrow} \overset{9}{\downarrow} S P \overset{14}{\uparrow} \overset{15}{\uparrow} \right) \\ \left(\overset{10}{\downarrow} \overset{12}{\downarrow} A \overset{16}{\uparrow} \overset{11}{\downarrow} \overset{13}{\downarrow} S \overset{17}{\uparrow} \overset{7}{\downarrow} \overset{14}{\downarrow} A \overset{18}{\uparrow} \overset{8}{\downarrow} \overset{15}{\downarrow} S \overset{19}{\uparrow} \right) \left(\overset{16}{\downarrow} \overset{17}{\downarrow} S D P \overset{20}{\uparrow} \overset{21}{\uparrow} \overset{18}{\downarrow} \overset{19}{\downarrow} S D P \overset{22}{\uparrow} \overset{23}{\uparrow} \right) \\ \left(\overset{20}{\downarrow} \overset{21}{\downarrow} A \overset{24}{\uparrow} \overset{21}{\downarrow} \overset{23}{\downarrow} S \overset{25}{\uparrow} \right) \left(\overset{24}{\downarrow} \overset{25}{\downarrow} A D \overset{26}{\uparrow} \right) : y \overset{26}{\downarrow}$$

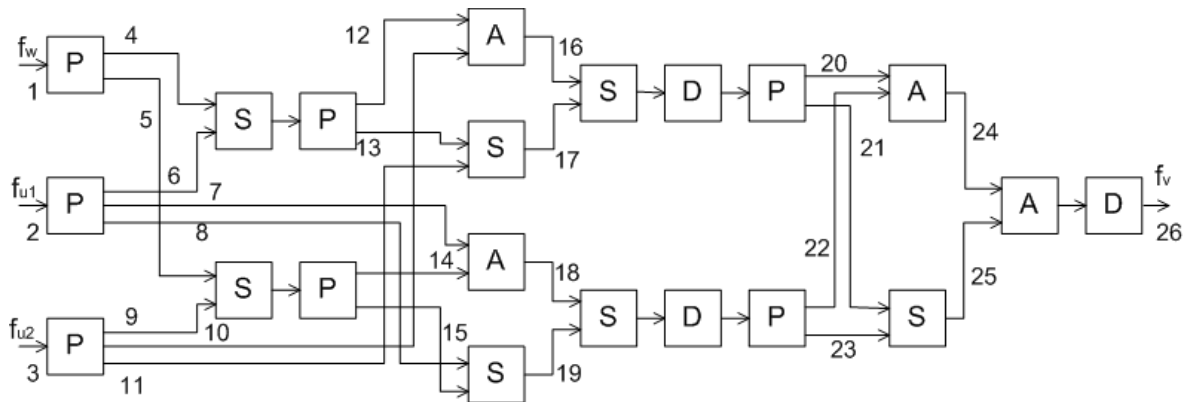


Рис. 1. Обобщённая структурная схема элемента фаззи-логики

Чтобы перейти от формулы конкретного элемента к его операторному описанию необходимо заполнить операторную таблицу 1.

Таблица 1

Операторная таблица

	1. Отсутствует	2. Первый	3. Второй
1. Входной сигнал			
2. Дополнение			
3. Минимум			
4. Максимум			

Операторная таблица анализируется по следующим данным:

Если клеточка 1.3. (первая строка, третий столбик) будет пустой, то в первых скобках операторного описания элемента третий оператор P будет отсутствовать.

Если клеточка 2.2. будет пустой, то в первых скобках первый оператор P будет отсутствовать, а во вторых скобках первые операторы S и P будут отсутствовать.

Если клеточка 2.3. будет пустой, то в первых скобках первый оператор P будет отсутствовать, а во вторых скобках вторые операторы S и P будут отсутствовать.

Если клеточка 3.1. или 4.1. будет заполнена, а клеточка 2.2. будет пустой, то в первых скобках после второго оператора P будут две стрелки.

Если клеточка 3.1. или 4.1. будет заполнена и клеточка 2.2. будет заполнена, то в первых скобках второй оператор P будет отсутствовать.

Если клеточка 3.1. или 4.1. будет заполнена, а клеточка 2.3. будет пустой, то в первых скобках после третьего оператора P будут две стрелки.

Если клеточка 3.1. или 4.1. будет заполнена и клеточка 2.3. будет заполнена, то в первых скобках третий оператор P будет отсутствовать.

Если клеточки 3.2. и 4.1. будут заполнены, то в третьих скобках вторые операторы A и S будут отсутствовать; в четвертых скобках вторые операторы S , D , P будут отсутствовать; также будут отсутствовать все операторы из пятых и шестых скобок.

Если клеточки 4.2. и 3.1. будут заполнены, то в третьих скобках вторые операторы A и S будут отсутствовать; в четвертых скобках первый оператор S заменяется оператором A , вторые операторы S , D , P будут отсутствовать; также будут отсутствовать все операторы из пятых и шестых скобок.

Если клеточки 4.2., 4.3. и 2.2. будут заполнены, то в четвертых скобках операторы S заменяются операторами A ; в шестых скобках оператор A заменяется оператором S .

Если клеточки 3.2., 3.3. и 4.2. будут заполнены, то операторное описание не изменяется.

Алгоритм метода структурного синтеза такой:

1. Заполняется операторная таблица.
2. Анализируется операторная таблица.
3. На основе обобщенного операторного описания и в соответствии с проведенным анализом операторной таблицы составляется операторное описание.
4. На основе операторного описания строится структурная схема элемента.

Синтез структурной схемы элемента противоречие. Фаззи-логическая операция противоречие выполняется по формуле [2, 3]:

$$\min(x, 1 - x).$$

1. Заполняем операторную таблицу:

	1. Отсутствует	2. Первый	3. Второй
1. Входной сигнал		+	
2. Дополнение		+	
3. Минимум		+	
4. Максимум	+		

2. Проводим анализ операторной таблицы:

Клеточка 1.3. пустая, значит, в первых скобках операторного описания элемента противоречия третий оператор P отсутствует.

Клеточка 2.3. пустая, значит, в первых скобках первый оператор P отсутствует, а во вторых скобках вторые операторы S и P отсутствуют.

Клеточки 3.2. и 4.1. заполненные, значит, в третьих скобках вторые операторы A и S отсутствуют; в четвертых скобках вторые операторы S , D , P отсутствуют; также отсутствуют все операторы из пятых и шестых скобок.

3. На основе проведенного анализа составляем операторное описание элемента противоречие:

$$z \uparrow x \uparrow \left(\downarrow P \uparrow \uparrow \uparrow \right) \downarrow \downarrow A P \uparrow \uparrow \left(\downarrow \downarrow A \uparrow \downarrow \downarrow S \uparrow \right) \downarrow \downarrow S D \uparrow : y \downarrow.$$

4. На основе операторного описания строим структурную схему элемента противоречие, изображенную на рис. 2.

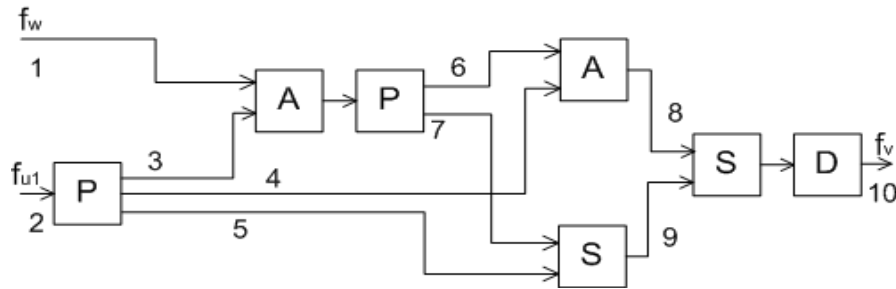


Рис. 2. Структурная схема элемента противоречия

Синтез структурной схемы элемента импликация. Фаззи-логическая операция импликация выполняется по формуле [2, 3]:

$$\max(1 - x_1, x_2).$$

1. Заполняем операторную таблицу:

	1. Отсутствует	2. Первый	3. Второй
1. Входной сигнал		+	
2. Дополнения		+	
3. Минимум	+		
4. Максимум		+	

2. Проводим анализ операторной таблицы:

Клеточка 2.3. пустая, значит, в первых скобках первый оператор P отсутствует, а во вторых скобках вторые операторы S и P отсутствуют.

Клеточка 3.1. заполнена и клеточка 2.2. заполнена, значит, в первых скобках второй оператор P отсутствует.

Клеточка 3.1. заполнена, а клеточка 2.3. пустая, значит, в первых скобках после третьего оператора P две стрелки.

Клеточки 4.2. и 3.1. заполнены, значит, в третьих скобках вторые операторы A и S отсутствуют; в четвертых скобках первый оператор S заменяется оператором A , вторые операторы S , D , P отсутствуют; также отсутствуют все операторы из пятых и шестых скобок.

3. На основе проведенного анализа составляем операторное описание элемента импликация:

$$z \uparrow x_1 \uparrow x_2 \uparrow : \downarrow P \uparrow \uparrow \downarrow \downarrow S P \uparrow \uparrow \left(\downarrow \downarrow A \uparrow \downarrow \downarrow S \uparrow \right) \downarrow \downarrow A D \uparrow : y \downarrow.$$

4. На основе операторного описания строим структурную схему элемента импликация, изображенную на рис. 3.

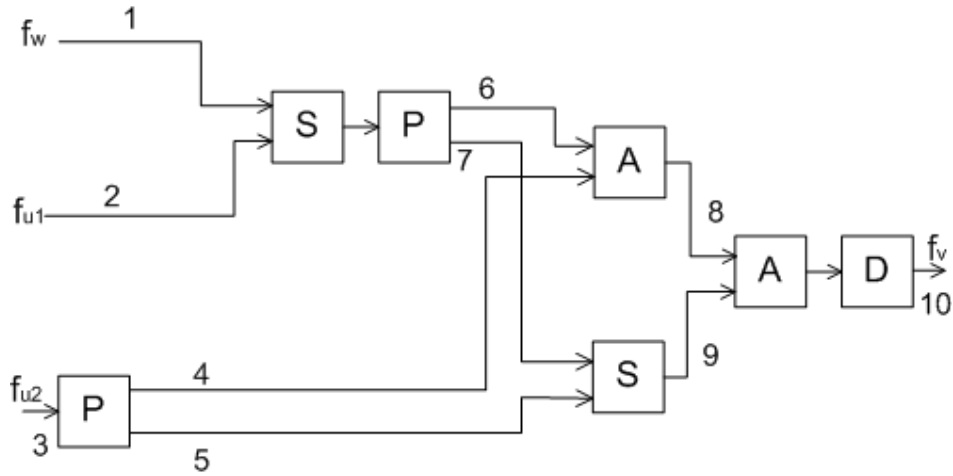


Рис. 3. Структурная схема элемента импликация

Синтез структурной схемы элемента эквивалентность. Фаззи-логическая операция эквивалентность выполняется по формуле [2, 3]:

$$\min[\max(1 - x_1, x_2), \max(x_1, 1 - x_2)].$$

1. Заполняем операторную таблицу.

	1. Отсутствует	2. Первый	3. Второй
1. Входной сигнал		+	+
2. Дополнение		+	+
3. Минимум		+	+
4. Максимум		+	+

2. Проводим анализ операторной таблицы:

Клеточки 4.2., 4.3. и 2.2. заполнены, значит, в четвертых скобках операторы S заменяются операторами A ; в шестых скобках оператор A заменяется оператором S .

3. На основе проведенного анализа составляем операторное описание элемента эквивалентность:

$$z \uparrow x_1 \uparrow x_2 \uparrow : \left(\downarrow P \uparrow \uparrow \downarrow P \uparrow \uparrow \downarrow P \uparrow \uparrow \uparrow \right) \left(\downarrow \downarrow SP \uparrow \uparrow \downarrow \downarrow SP \uparrow \uparrow \right) \\ \left(\downarrow \downarrow A \uparrow \downarrow \downarrow S \uparrow \downarrow \downarrow A \uparrow \downarrow \downarrow S \uparrow \right) \left(\downarrow \downarrow ADP \uparrow \uparrow \downarrow \downarrow ADP \uparrow \uparrow \right) \\ \left(\downarrow \downarrow A \uparrow \downarrow \downarrow S \uparrow \right) \left(\downarrow \downarrow SD \uparrow \right) : y \downarrow.$$

4. На основе операторного описания строим структурную схему элемента эквивалентность, изображенную на рис. 4.

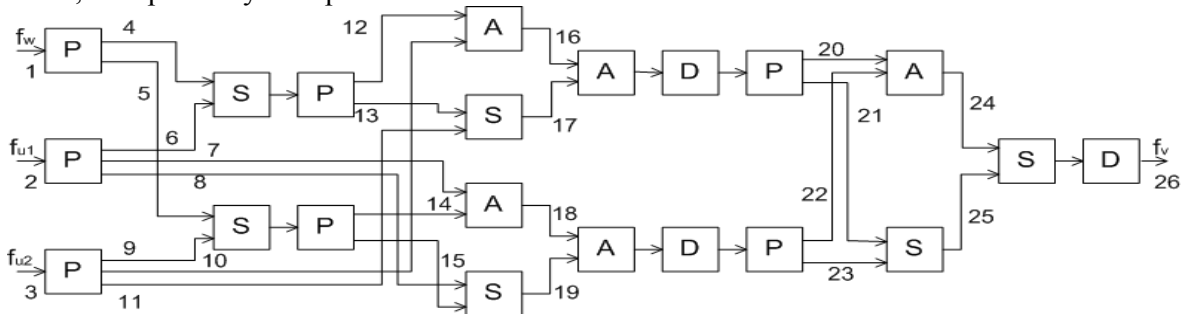


Рис. 4. Структурная схема элемента эквивалентность

Оценка эффективности метода структурного синтеза. В табл. 2 перечислены все операции фаззи-логики, часть из которых осуществляется в блоке инференции фаззи-контролеров. Отметим те операции, которые реализуются элементами с определенным видом представления информации.

Таблица 2

Операции фаззи-логики

Операция	Амплитудное представление информации	Частотно-импульсное представление информации
Дополнение	+	+
Минимум	+	+
Максимум	+	+
Противоречие	+	+
Тавтология	+	+
Запрет	+	+
Импликация	+	+
Стрелка Пирса	+	+
Штрих Шеффера	+	+
Исключающее ИЛИ	+	+
Эквивалентность	+	+
И		+
ИЛИ		+
СУММА		+
Общее количество операций, которые осуществляют элементы	11	14

Как видно из табл. 2, фаззи-логические элементы с частотно-импульсным представлением информации могут реализовать 14 функций из 14 возможных. Фаззи-логические элементы с амплитудным представлением информации могут реализовать лишь 11 функций.

Таким образом, элементы и устройства фаззи-логики с частотно-импульсным представлением информации способны реализовывать больше функций фаззи-логики, чем элементы и устройства фаззи-логики с амплитудным представлением информации.

Предложенный метод структурного синтеза фаззи-логических элементов с частотно-импульсным представлением информации позволяет синтезировать 11 элементов фаззи-логики из 14 возможных.

В табл. 3 перечислим все операции фаззи-логики и двоичной логики, которые могут реализовать элементы, разработанные с помощью метода структурного синтеза.

Таблица 3

Синтезированные элементы и операции, которые они реализуют

Логический элемент	Фаззи-логика	Двоичная логика
Дополнение (инверсия)	$1 - \mu$	$\bar{x}$
Минимум (конъюнкция)	$\min[\mu_1, \mu_2]$	$x_1 \cdot x_2$
Максимум (дизъюнкция)	$\max[\mu_1, \mu_2]$	$x_1 + x_2$
Противоречие	$\min(x, 1 - x)$	$\bar{x}$
Тавтология	$\max(x, 1 - x)$	x
Запрет	$\min(x_1, 1 - x_2)$	$x_1 \cdot \bar{x}_2$
Импликация	$\max(1 - x_1, x_2)$	$\bar{x}_1 + x_2$
Стрелка Пирса	$\min(1 - x_1, 1 - x_2)$	$\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$
Штрих Шеффера	$\max(1 - x_1, 1 - x_2)$	$\bar{x}_1 + \bar{x}_2$

Продолжение табл. 3

Исключающее АБО	$\max[\min(1 - x_1, x_2), \min(x_1, 1 - x_2)]$	$\bar{x}_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \bar{x}_2$
Эквивалентность	$\min[\max(1 - x_1, x_2), \max(x_1, 1 - x_2)]$	$(\bar{x}_1 + x_2) \cdot (x_1 + \bar{x}_2)$

Таким образом, основным преимуществом предложенного метода структурного синтеза является то, что разработанные с его помощью элементы могут реализовывать не только функции фаззи-логики, но и соответствующие функции двоичной логики.

Выводы

1. Разработан метод структурного синтеза элементов фаззи-логики. Его суть состоит в том, что для каждой функции фаззи-логики заполняется операторная таблица, потом она анализируется, и на основе этого анализа и обобщенного операторного описания составляется операторное описание для каждого элемента; по операторному описанию синтезируется структурная схема.

2. Синтезированы структурные схемы частотно-импульсных элементов. Представленные элементы осуществляют операции противоречие, импликация и эквивалентность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кичак В.М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – 266 с.
2. Бардаченко В.Ф., Кичак В.М. Основи теорії таймерних обчислювально-вимірювальних пристроїв. – Вінниця: ВДТУ. – 2003. – 106 с.
3. Бардаченко В.Ф., Колесницький О.К., Василецький С.А. Таймерні нейронні елементи та структури. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 126 с.

Семёнова Елена Александровна – старший преподаватель кафедры телекоммуникационных систем и телевидения;

Войцеховская Ольга Александровна – инженер кафедры телекоммуникационных систем и телевидения.

Винницкий национальный технический университет.