

УДК 621.317

**В. М. Кичак, д. т. н., проф.; Е. А. Семенова, к. т. н.; О. А. Войцеховская;
В. И. Макогон**

ФАЗО-ИМПУЛЬСНОЕ КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

Разработан улучшенный метод фазо-импульсного кодирования информации в нейронных сетях. Проведена оценка погрешностей при выполнении операции синапсного умножения. Предложена электрическая схема мультипликатора входных сигналов нейронов и весов синапсов. Выполнено моделирование и исследование схемы мультипликатора входных сигналов и весов синапсов на полевых транзисторах в программе MicroCap V.

Ключевые слова: фазо-импульсный, нейронные сети, кодирование, синапс, погрешность.

Введение

В последние годы интенсивно изучается возможность применения аппарата искусственных нейронных сетей в задачах управления техническими объектами и технологическими процессами. По сравнению с адаптивными системами управления уровень неопределенности при использовании нейронных сетей может быть значительно выше, а главное, использование нейронных сетей не нуждается в аналитическом описании объекта управления.

Также нейронные сети широко используются для решения ряда задач в современных телекоммуникационных сетях и системах, в частности:

- для идентификации спутниковых каналов [1].
- при разработке приемников для CDMA – сигналов [2].
- для моделирования нелинейных СВЧ усилителей без памяти [3].

Постановка задачи

Поскольку в биологических нейронах сигналы являются последовательностями импульсов, в искусственных нейронах также используются импульсно-модулированные сигналы [4]. В нейронных сетях применяются четыре вида кодирования – амплитудно-импульсное, частотно-импульсное, широтно-импульсное и фазо-импульсное [5].

Согласно [6] именно фазо-импульсные элементы отличаются от импульсно-потенциальных и частотно-импульсных простотой обеспечения многофункциональности при минимальной схемотехнической избыточности. Также основным преимуществом фазо-импульсных элементов перед импульсно-потенциальными и частотно-импульсными является независимость количества их компонентов от основы исчисления [6].

Именно поэтому цель данной работы состоит в исследовании возможности и целесообразности использования фазо-импульсного кодирования информации в нейронных сетях.

Для этого поставлены такие задачи:

- разработка метода фазо-импульсного кодирования информации в нейронных сетях;
- оценка погрешностей сигналов синапсов с фазо-импульсным кодированием;
- разработка, моделирование и исследование схемы мультипликатора входных сигналов и весов синапсов на полевых транзисторах.

Определение метода фазо-импульсного кодирования

Согласно одному из способов осуществления синапсного умножения, любой из параметров импульса – амплитуда, частота, продолжительность, сдвиг во времени – отвечает значениям входной информации, а другой – весу синапса, два последние параметра являются константами [4]. Анализ существующих методов кодирования сигналов нейронных сетей выполнен в [7].

Недостатком существующего метода фазо-импульсного кодирования является то, что нулевому значению входного сигнала нейрону соответствует нулевой сдвиг фазы импульсной последовательности. Для устранения этого недостатка предлагаем собственный метод фазо-импульсного кодирования информации в нейронных сетях.

Учитывая все вышеизложенное, выполняем улучшение существующего метода фазо-импульсного кодирования информации в нейронных сетях:

1. Принимаем, что импульсы имеют постоянный период T и постоянную продолжительность τ_0 (рис. 1).

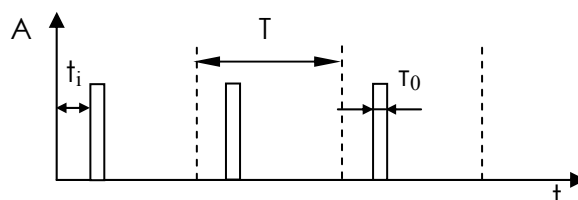


Рис. 1. Фазо-импульсная последовательность

2. Пусть значение входного сигнала x_i будет пропорциональным сдвигу импульсов во времени t_i , т. е.

$$t_i = t_\alpha \cdot x_i + t_\beta,$$

где t_α, t_β – первичные сдвиги импульсов во времени.

3. Пусть значение веса синапса x_w будет пропорциональным амплитуде импульсов A_s , т. е.

$$A_w = A_\alpha \cdot x_w + A_\beta,$$

где A_α, A_β – первичные значения амплитуды импульсов.

4. Тогда, после выполнения операции умножения, амплитуда импульсов A_s сигнала синапса и их сдвиг во времени определяется таким образом:

$$A_s = A_i + A_\gamma$$

$$t_s = t_i.$$

6. Входной сигнал нейрона определяем так:

$$A_n = \sum A_s$$

$$t_n = \sum t_s.$$

7. Исходный сигнал нейрона определяем так:

$$A = f(A_n)$$

$$t = f(t_n).$$

Таким образом, согласно предложенному методу кодирования значение входной информации нейрона задается сдвигом импульсов во времени – фазой импульсной последовательности, а вес синапса задается амплитудой постоянного напряжения и определяет амплитуду тока исходной импульсной последовательности, фаза которой совпадает с фазой входной импульсной последовательности, причем нулевому значению входного сигнала нейрона соответствует первичный сдвиг фазы, которая и отличает данный метод от существующих и позволяет устранить возможность ошибки через прыжок фазы.

Оценка погрешностей сигналов синапсов с фазо-импульсным кодированием.

Как известно, помехоустойчивость синапсов зависит от погрешностей, которые возникают при определении значений параметра входного сигнала и веса синапса. Рассчитаем

погрешность, которая возникает при выполнении операции синапсного умножения. Погрешность синапса имеет две составляющие [7]:

$$\delta = \delta_{\text{сиг}} + \delta_A,$$

где $\delta_{\text{сиг}}$ – погрешность определения величины параметра входного сигнала, δ_A – погрешность определения веса синапса.

Погрешность определения веса синапса исчисляется по формуле:

$$\delta_A = \frac{\Delta_A}{A_{\min}},$$

где Δ_A – отклонение определенной амплитуды напряжения веса синапса от действительного значения; A_{\min} – минимальное значение амплитуды напряжения веса синапса.

При применении ФИМ-сигналов отклонение $\Delta t = \frac{1}{2}(T - \tau_0)$, тогда погрешность синапса с ФИМ-сигналами вычисляем по следующему выражению:

$$\delta_{\text{ФИМ}} = \frac{\Delta t}{t_{\min}} = \frac{T - \tau_0}{2t_{\min}}.$$

График зависимости погрешности синапса от периода сигнала для разных значений продолжительности импульса и минимального сдвига во времени приведен на рис. 2.

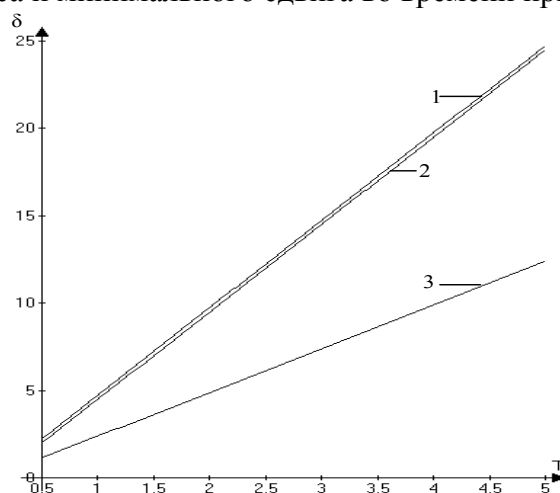


Рис. 2. График зависимости погрешности синапса

В первом случае $t_{\min 1} = 0,1 \text{ мкс}$, $\tau_{01} = 0,05 \text{ мкс}$; во втором случае $t_{\min 2} = 0,1 \text{ мкс}$, $\tau_{02} = 0,1 \text{ мкс}$; в третьем случае $t_{\min 3} = 0,2 \text{ мкс}$, $\tau_{03} = 0,05 \text{ мкс}$.

Таким образом, можно утверждать, что на погрешность мало влияет величина продолжительности импульса. Для уменьшения погрешности необходимо уменьшать период T и увеличивать минимальную продолжительность фазы импульсов t_{\min} .

Фазо-импульсный мультипликатор

В работе [7] представлен мультипликатор для широтно-импульсных сигналов, выполненный на двух МДН-транзисторах, причем исходный сигнал снимается из истока первого транзистора. Для выполнения операции синапсного умножения фазо-импульсных сигналов был разработан мультипликатор на двух полевых транзисторах, причем исходный сигнал снимается из истока второго транзистора.

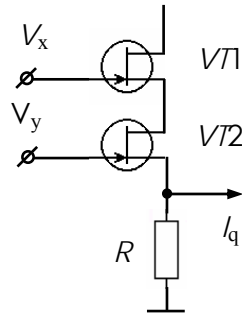
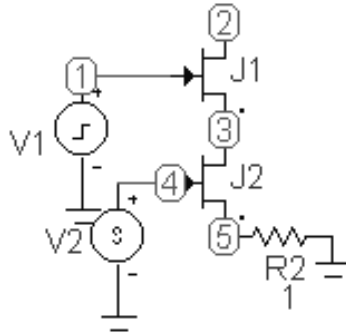


Рис. 3. Схема мультипликатора на ПТ

Разработанная электрическая схема мультипликатора входного сигнала нейрона и веса синапса, выполненного на двух полевых транзисторах, представлена на рис. 3.

На затвор первого транзистора $VT1$ подается последовательность импульсов, фаза которых определяет значение входного действия нейрона. На затвор второго транзистора $VT2$ подается постоянное напряжение, величина которого определяет значение веса синапса. Ток истока второго транзистора представляет собой последовательность импульсов, фаза которых совпадает с фазой входной импульсной последовательности, а амплитуда зависит от веса синапса.



Для проверки трудоспособности мультипликатора промоделируем его работу с помощью программного пакета MicroCap V. Схема будет иметь следующий вид:

Входные импульсы, напряжение синапса и исходные импульсы тока при $t_i = 100нс$ и $V_{син} = 0,1В$ изображены на рис. 4, при $t_i = 300нс$ и $V_{син} = 0,5В$ – на рис. 5.

Зависимость амплитуды тока исходной импульсной последовательности от напряжения синапса приведена в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость амплитуды тока исходной импульсной последовательности от напряжения синапсу

Фаза входного сигнала нейрона	Амплитуда импульса входного сигнала нейрона	Фаза исходного сигнала нейрона	Амплитуда импульса сигнала синапса	Амплитуда импульса исходного сигнала
0,125мкс	1 В	0,125мкс	0,1В	0,151мА
0,25мкс	1 В	0,25мкс	0,5В	0,179мА

Таким образом, фаза импульсов исходной последовательности совпадает с фазой входного сигнала, а амплитуда импульсов исходной последовательности зависит от амплитуды напряжения сигнала веса синапса, т. е. выполняется операция синапсного умножения.

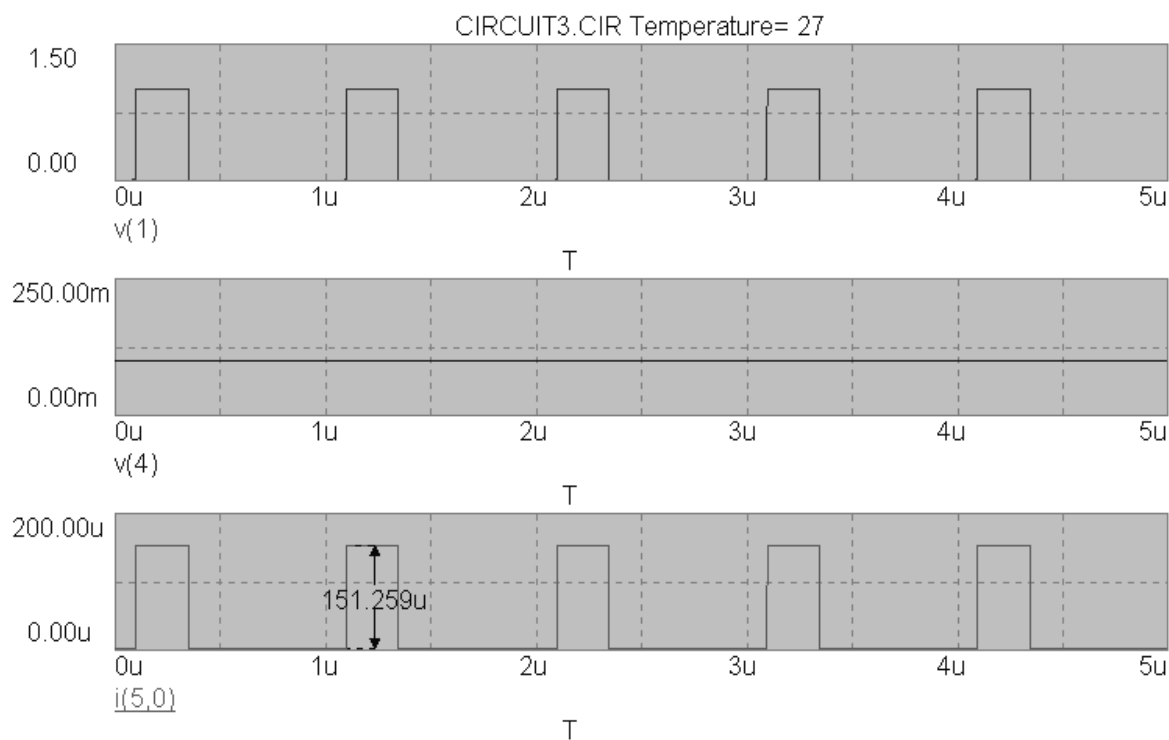


Рис. 4. Амплитудно-временные характеристики мультипликатора

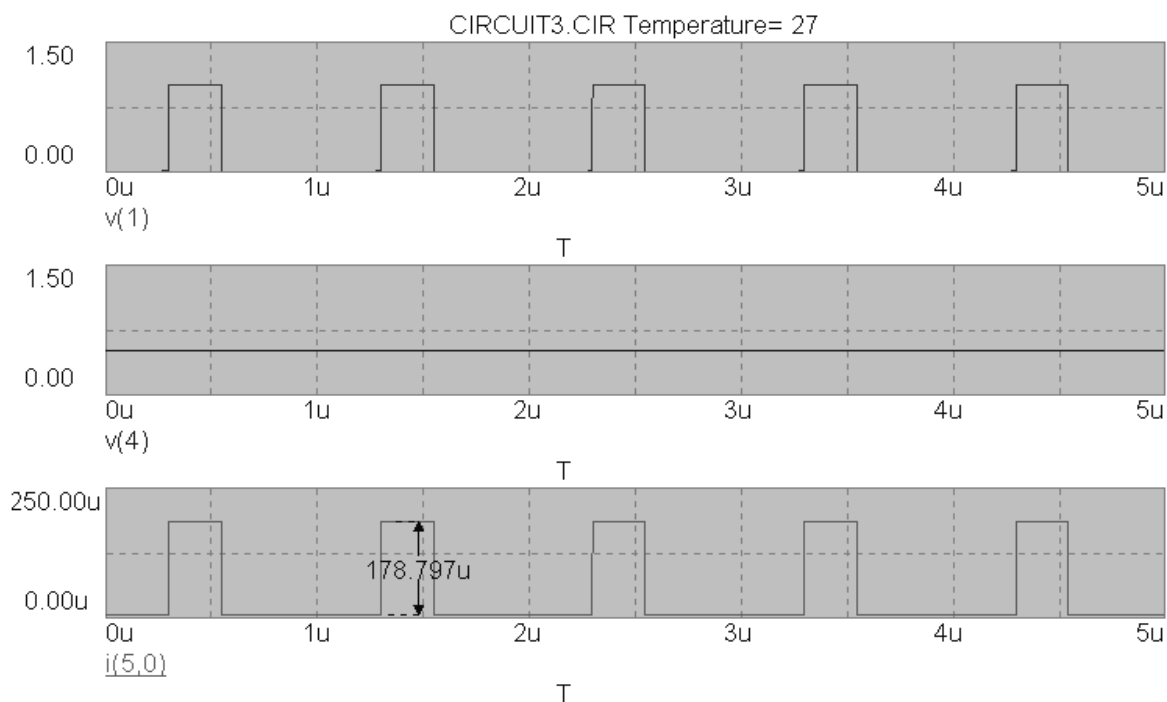


Рис. 5. Амплитудно-временные характеристики мультипликатора

Экспериментальные исследования

Для проведения экспериментальных исследований используем двухзатворный МДН-транзистор – тетрод, который является конструктивным вариантом ПТ. Используем смесительные свойства двухзатворного транзистора в схеме фазо-импульсного мультипликатора. Схема устройства, которое реализует эффект мультипликации входного сигнала и синапса, изображена на рис. 6.

На первый затвор подается напряжение синапса, а на второй затвор – фазо-модулированная последовательность импульсов. Зависимость амплитуды импульсов от напряжения синапса представлена в табл. 2, а осциллограммы входных и исходных сигналов на рис. 7, 8.

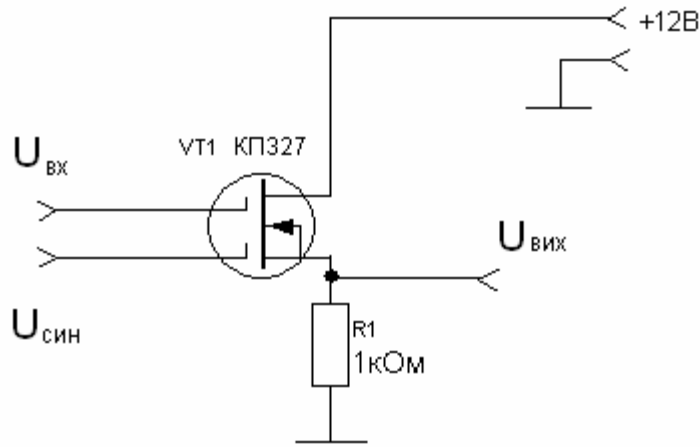


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная фазо-импульсного мультипликатора

Таблица 2

Зависимость амплитуды импульсов от напряжения синапса

№	T, мс	τ , мс	$U_{\text{имп}}$, В	$U_{\text{син}}$, В	$U_{\text{в}}$, В
1	400	200	1	1,5	0,8
1	400	200	1	0,25	0,3

Из данных табл. 2 и осциллограмм, изображенных на рис. 7 - 9, можно сделать вывод, что при подаче на входы устройства, схема которого изображена на рис. 6, соответствующих сигналов, он выполняет функции фазо-импульсного мультипликатора – умножения входного сигнала нейрона и веса синапса, что подтверждает правильность расчетов и моделирования.

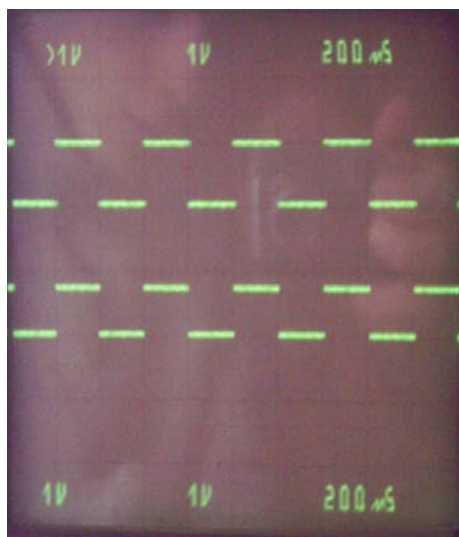


Рис. 7. Осциллограмма входных и исходных сигналов при $U_{\text{имп}}=1$ В, $U_{\text{син}}=1,5$ В

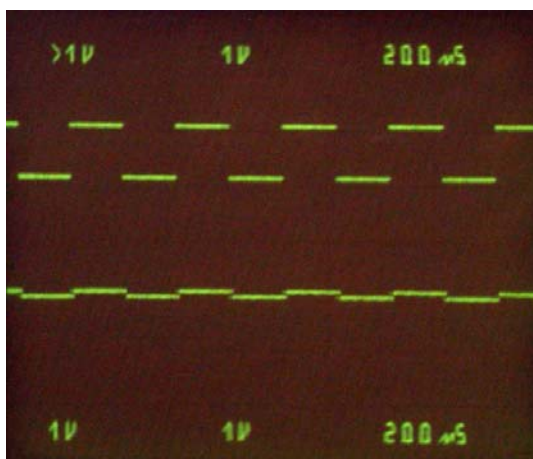


Рис. 8. Осциллограмма входных и исходных сигналов при $U_{\text{имп}}=1$ В, $U_{\text{син}}=0,25$ В

Выводы

Предложен новый метод фазо-импульсного кодирования информации в нейронных сетях. Его суть заключается в следующем: значение входной информации нейрона задается сдвигом импульсов во времени – фазой импульсной последовательности, а вес синапса задается амплитудой постоянного напряжения и определяет амплитуду тока исходной импульсной последовательности, фаза которой совпадает с фазой входной импульсной последовательности, причем нулевому значению входного сигнала нейрона соответствует первичный сдвиг фазы, которая и отличает данный метод от существующих и позволяет устранить возможность ошибки через прыжок фазы и упростить схемы нейронов.

Проведена оценка погрешностей при выполнении операции синапсного умножения. Показано, что величина погрешности при синапсном умножении ФИМ-сигналов прямо пропорциональна периоду и продолжительности входного сигнала и обратно пропорциональна минимальному сдвигу частоты.

Предложена электрическая схема мультипликатора входных сигналов нейронов и весов синапсов, которая отличается от известной тем, что может быть выполнена на одном транзисторе. Выполнено моделирование работы мультипликатора в программе MicroCap V. Значение входного действия задается последовательностями импульсов с разными сдвигами частот. Вес синапса определяется величиной напряжения. На выходе получаем последовательность импульсов тока, временной сдвиг которых совпадает со временным сдвигом входного сигнала, а амплитуда тока зависит от значения веса синапса.

Проведенные экспериментальные исследования разработанного мультипликатора доказывают верность расчетов и трудоспособность схемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Ibnkahla, N. J. Bershad, J. Sombrin, F. H. Castanie. „Neural Network Modeling and Identification of Non-linear Channels with Memory: Algorithms, Applications and Analytic models” IEEE Trans. Signal Process, May 1998, P. 1208 – 1220.
2. M. Ibnkahla. "Applications of Neural Networks to Digital Communication a Survey" IEEE Signal Processing Magazine, November, 1997, P. 1186 – 1215.
3. M. Ibnkahla, J. Sombrin, F. H. Castanie, N. J. Bershad. "Neural Networks for Modeling Non-linear Memoryless Communication Channels", IEEE Trans. Commun.7, July, 1997, P. 768 – 771.
4. L. M. Reyneri, H.C. Withagen, J. A. Hegt, M. A Chiaberge. Comparison between Analog and Pulse Stream VLSI Hardware for Neural Networks and Fuzzy Systems // Proc. of MICRONEURO 94, Int'l Conf. on Microelectronics for Neural Networks and Fuzzy Systems, Torino (I), September 1994, IEEE Computer Society Press, P. 77 – 86.
5. L. M Reyneri. Neuro-Fuzzy Hardware: Design, Development and Performance // Proc. of FEPCONN III, Skukuza (South Africa), 12 – 15 July, 1998, P. 78-102.
6. А. А. Молчанов, В. П. Волкогон, Ю. Х. Лоза, Г. И Яловега. Проектирование многофункциональных интегральных схем. – К.: Техніка, 1984. – 143 с.
7. L. M. Reyneri. A Performace Analysis of Pulse Stream Neural and Fuzzy Computing Systems // IEEE Trans. on Circuits and Systems - II, Vol. 42, no. 10, October 1995, P. 642 – 660.

Кичак Василий Мартынович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой телекоммуникационных систем и телевидения, тел. 598-219, e-mail: v.kychak@mail.ru.

Семенова Елена Александровна – к. т. н., старший преподаватель кафедры телекоммуникационных систем и телевидения, e-mail: Helene_S@ukr.net.

Войцеховская Ольга Александровна – соискатель, инженер кафедры телекоммуникационных систем и телевидения, тел. 598-064, e-mail: rigel@svitonline.com, +380961625376.

Макогон Виталий Иванович – ассистент кафедры телекоммуникационных систем и телевидения. Винницкий национальный технический университет.