



УКРАЇНА

(19) UA (11) 43371 (13) U  
(51) МПК  
G06G 7/60 (2009.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОНА

1

2

(21) u200903247

(22) 06.04.2009

(24) 10.08.2009

(46) 10.08.2009, Бюл.№ 15, 2009 р.

(72) МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА, КОЛІСНИК ПЕТРО ФЕДОРОВИЧ, ТИМЧЕНКО ЛЕОНІД ІВАНОВИЧ, ОНАЧЕНКО МАРАТ СЕРГІЙОВИЧ

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Пристрій для моделювання нейрона, який містить послідовні ланки у вигляді формувачів вхідних сигналів, перетворювачів частоти в напругу і блоків задання вагових коефіцієнтів, гальмуючі і збуджуючі входи пристрою з'єднані з входами формувачів вхідних сигналів, перший суматор, входи якого підключені до виходів блоків задання вагових коефіцієнтів, другий суматор, входи якого підключені до виходів блоків задання вагових коефіцієнтів, третій суматор, керований формувач спайку, групу нелінійних елементів за кількістю збуджуючих і гальмуючих входів пристрою, які

розділені і через відповідні послідовні ланки з'єднані з входами першого і другого суматорів, виходи яких з'єднані з входами третього суматора, вихід керованого формувача є виходом пристрою, який **відрізняється** тим, що в нього введено адаптивний суматор, перетворювач тривалості в частоту, керуючий блок, перетворювач напруги в тривалість, масштабуючий елемент, виходи першого і другого суматорів з'єднані з відповідними входами адаптивного суматора, вихід якого з'єднаний з входом перетворювача тривалості в частоту і першим входом керуючого блока, вихід третього суматора через масштабуючий елемент і перетворювач напруги в тривалість з'єднаний з другим входом керуючого блока, вихід якого з'єднаний з другим входом керованого формувача спайку, перший вхід якого з'єднаний з виходом перетворювача тривалості в частоту, вхід задання порога адаптивного суматора з'єднаний з відповідним входом пристрою.

Корисна модель відноситься до нейрокібернетики і може бути використана при дослідженні нервової системи методами моделювання, а також у керуючих та інтелектуальних системах.

Відомий пристрій для моделювання нейрона (а.с. СРСР №1387023, кл. G06G7/60, 1988р., Бюл. №13), який містить групи послідовно з'єднаних формувачів вхідних сигналів, входи яких є входами пристрою, блоки завдання вагових коефіцієнтів, виходи яких з'єднані з входами адитивного суматора, вихід якого через функціональний перетворювач підключений до входу перетворювача напруги в частоту, групу елементів затримки, входи яких з'єднані з виходами формувачів вхідних сигналів групи, а виходи - з входами блоків завдання вагових коефіцієнтів групи, формувач спайку, другий суматор і пороговий елемент, вхід формувача спайку з'єднаний з виходом перетворювача напруги в частоту, керуючий вхід формувача спайку з'єднаний з виходом другого суматора, до першого входу якого підключені вихід функціонального перетворювача, а до другого -

вихід адитивного суматора через пороговий елемент, вихід формувача спайку є виходом пристрою.

Недоліком даного пристрою є складність його структури.

Найбільш близьким за технічної суттю є пристрій для моделювання нейрона (а.с. СРСР №1691858, кл. G06G7/60, 1991р., Бюл. №42), який містить послідовні ланки у вигляді формувачів вхідних сигналів, перетворювачів частоти в напругу і блоків завдання вагових коефіцієнтів, гальмуючі і збуджуючі входи пристрою з'єднані з входами формувачів вхідних сигналів, перший суматор, входи якого підключені до виходів блоків завдання вагових коефіцієнтів, функціональний перетворювач, перетворювач напруги у частоту і керований формувач спайку, які з'єднані послідовно, вихід керованого формувача є виходом пристрою, другий суматор і пороговий елемент, вихід якого з'єднаний з першим входом другого суматора, другий вхід якого з'єднаний з виходом функціонального перетворювача, а вихід з'єднаний з другим входом

(13) U

(11) 43371

(19) UA

керований формувача, третій і четвертий суматори, п'ятий суматор з двома входами, групу нелінійних елементів за кількістю збуджуючих і гальмуючих входів пристрою, які розділені і через відповідні послідовні ланки з'єднані з входами першого і другого суматорів, виходи яких з'єднані з входами третього суматора, вихід якого з'єднаний з входами функціонального перетворювача і порогового елемента, збуджуючі входи пристрою через відповідні послідовні ланки з'єднані з входами нелінійних елементів, входи яких з'єднані з входами четвертого суматора, вихід якого з'єднаний з третім входом п'ятого суматора.

Недоліком даного пристрою є складність його структури.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення пристрою для моделювання нейрона, в якому за рахунок введення нових блоків з розширеними функціональними можливостями та нових зв'язків досягається спрощення структури пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій для моделювання нейрона, який містить послідовні ланки у вигляді формувачів вхідних сигналів, перетворювачів частоти в напругу і блоків завдання вагових коефіцієнтів, гальмуючі і збуджуючі входи пристрою з'єднані з входами формувачів вхідних сигналів, перший суматор, входи якого підключені до виходів блоків завдання вагових коефіцієнтів, другий суматор, а входи якого підключені до виходів блоків завдання вагових коефіцієнтів, третій суматор, керований формувач спайку, групу нелінійних елементів за кількістю збуджуючих і гальмуючих входів пристрою, які розділені і через відповідні послідовні ланки з'єднані з входами першого і другого суматорів, а виходи яких з'єднані з входами третього суматора, вихід керованого формувача є виходом пристрою, введено адаптивний суматор, перетворювач тривалості в частоту, керуючий блок, перетворювач напруги в тривалість, масштабуючий елемент, виходи першого і другого суматорів з'єднані з відповідними входами адаптивного суматора, вихід якого з'єднаний з входом перетворювача тривалості в частоту і з першим входом керуючого блока, вихід третього суматора через масштабуючий елемент і перетворювач напруги в тривалість з'єднаний з другим входом керуючого блока, вихід якого з'єднаний з другим входом керованого формувача спайку, перший вхід якого з'єднаний з виходом перетворювача тривалості в частоту, вхід завдання порогу адаптивного суматора з'єднаний з відповідним входом пристрою.

На Фіг.1 показано структурну схему пристрою для моделювання нейрона, на Фіг.2 наведено функціональну схему адаптивного суматора, на Фіг.3 зображено часові діаграми функціонування пристрою.

Пристрій для моделювання нейрона (Фіг.1) містить збуджуючі  $1_1, \dots, 1_n$  і гальмуючі  $2_1, \dots, 2_n$  входи послідовних ланок у вигляді формувача 3 вхідних сигналів, перетворювача 4 частоти в напругу і блока 5 завдання вагових коефіцієнтів, два суматори 6, 7, адаптивний суматор 8, вхід 9 завдання порогу, перетворювач 10 тривалості в частоту,

керований формувач 11 спайку, керуючий блок 12, вихід 13 пристрою, групу 2п нелінійних елементів 14, суматор 15, масштабуючий елемент 16, перетворювач 17 напруги в тривалість.

Збуджуючі входи  $1_1, \dots, 1_n$  і гальмуючі  $2_1, \dots, 2_n$  входи з'єднані з входами відповідних послідовних ланок, які є входами відповідних формувачів 3 вхідних сигналів. У кожній послідовній ланці вихід формувача 3 вхідних сигналів з'єднаний з входом перетворювача 4 частоти в напругу, вихід якого з'єднаний з входом блока 5 завдання вагових коефіцієнтів, вихід якого є виходом відповідної послідовної ланки. Для всіх послідовних ланок, що пов'язані зі збуджуючими входами  $1_1, \dots, 1_n$  вихід блока 5 завдання вагових коефіцієнтів з'єднаний з відповідним входом суматора 6. Для всіх послідовних ланок, що пов'язані з гальмуючими входами  $2_1, \dots, 2_n$  вихід блока 5 завдання вагових коефіцієнтів з'єднаний з відповідним входом суматора 7.

Виходи суматорів 6 і 7 з'єднані з входами 18 і 19 адаптивного суматора 8, вихід 20 якого з'єднаний з входом перетворювача 10 тривалості в частоту і з першим входом керуючого блока 12. Вихід 21 перетворювача 10 тривалості в частоту з'єднаний з першим входом керованого формувача 11 спайку, а входи нелінійних елементів 14 з'єднані з входами суматорів 6 і 7, виходи всіх нелінійних елементів 14 з'єднані з відповідними входами суматора 15, вихід якого підключений до входу масштабуючого елемента 16, вихід якого з'єднаний з виходом перетворювача 17 напруги в тривалість. Вихід перетворювача 17 напруги в тривалість з'єднаний з другим входом керуючого блока 12, вихід якого з'єднаний з другим входом керованого формувача 11, вихід якого є виходом 13 пристрою, а вхід 9 завдання порогу адаптивного суматора 8 з'єднаний з відповідним входом пристрою.

Адаптивний суматор 8 (Фіг.2) містить два перетворювачі 22, 23 напруги в тривалість, два елементи сума за модулем два 24, 25, запам'ятовуючий модуль 26, елементи 27, 28 затримки, елемент 1 29.

Вхід 9 завдання порогу підключений до інформаційного входу запам'ятовуючого модуля 26, інформаційні входи 18 і 19 з'єднані з входами перетворювачів 22 і 23 напруги в тривалість відповідно, виходи яких з'єднані з першим та другим входами елемента сума за модулем два 24 відповідно, вихід якого з'єднаний з входом дозволу зчитування запам'ятовуючого модуля 26 і через елемент 27 затримки з першим входом елемента сума за модулем два 25, другий вхід якого з'єднаний з виходом запам'ятовуючого модуля 26. Вихід елемента сума за модулем два 25 з'єднаний з другим входом елемента 1 29, перший вхід якого з'єднаний з виходом елемента 28 затримки, вихід елемента 1 29 є виходом 20 адаптивного суматора 8.

Пристрій для моделювання нейрона (Фіг.1) працює в такий спосіб.

На збуджуючі  $1_1, \dots, 1_n$ , та гальмуючі  $2_1, \dots, 2_n$  входи відповідних груп формувачів 3 подаються вхідні імпульсні послідовності, які перетворюються у напруги, що пропорційні частотам, перетворювачами 4 частоти в напругу. Потім вони масштабуються в блоках 5 завдання вагових коефіцієнтів за

амплітудою і знаком у відповідності з синаптичними вагами і знаком синапсу (збуджуючий чи гальмуючий). Ці напруги підсумовуються окремо: для збуджуючих у суматорі 6, для гальмуючих - у суматорі 7. В адаптивному суматорі 8 сумарний гальмуючий сигнал віднімається від сумарного збуджуючого сигналу і отримана різниця порівнюється з величиною порогу, який був зафіксований на вході 9 задання порогу адаптивного суматора 8. У випадку, коли сигнал різниці перевищує сигнал порогу на виході 20 адаптивного суматора 8 з'являється сигнал, який перетворюється у частоту імпульсів, що генеруються перетворювачем 10 тривалості в частоту. Ці імпульси з виходу 21 перетворювача 10 тривалості в частоту подаються на керований формувач 11 спайку разом із сигналом з виходу керуючого блока 12. При зростанні різницевого сигналу в адаптивному суматорі 8, тобто при підсиленні стимуляції нейрона, який призводить до зростання частоти розрядів, сигнал на виході 20 адаптивного суматора 8 є також керуючим для формувача 11 спайку і змінює параметри спайків на виході 13 пристрою, що генеруються зі зростанням частоти, а саме зменшує їх амплітуду, збільшує тривалість і зменшує до нуля величину слідової гіперполяції.

Якщо напруга хоча б одного синапса послідовної ланки перевищує поріг нелінійного елемента 14 і потрапляє в лінійну зону його характеристики, на виході суматора 15 з'являється напруга, що надходить через масштабуючий елемент 16 і перетворювач 17 напруги в тривалість на другий вхід керуючого блока 12. Після підсумовування з керуючим сигналом від адаптивного суматора 8 збільшується швидкість зміни вихідних спайків, тобто скорочується час появи песимуму. Масштабуючий елемент 16 використовують для регулювання зміни коефіцієнта підсилення і підлаштування швидкості появи песимуму по конкретному нейрону. Одна і та сама частота розрядів нейрона може бути досягнута при низькочастотній активації більшості збуджуючих входів  $1_1, \dots, 1_n$ , тобто при слабких сигналах з виходів блоків 5 завдання вагових коефіцієнтів або при високочастотній активації одного-двох збуджуючих входів  $1_1, \dots, 1_n$  при сильних сигналах з виходів відповідних їм блоків 5 завдання вагових коефіцієнтів. При цьому параметри вихідних спайків на виході 13 пристрою у цих двох випадках будуть різними.

У першому випадку, оскільки сигнали з виходів блоків 5 не перевищують пороги нелінійних елементів 14, на виході суматора 15, масштабуючого елемента 16 і перетворювача 17 напруги в тривалість сигнал дорівнює нулю і керування формувачем 11 спайку здійснюється з першого входа керуючого блока 12. У другому випадку сигнал з блока 5 завдання вагових коефіцієнтів, який відповідає сильно активованому збуджуючому входу  $1_i$  ( $i=1, \dots, n$ ), перевищує поріг зв'язаного з ним нелінійного елемента 14 і на другому вході керуючого блока 12 з'являється сигнал, що додається до керуючого сигналу, який поступає по першому входу керуючого блока 12. Сумарний сигнал з виходу керуючого блока 12 є сигналом керування для формувача 11 спайку.

Таким чином, запропонований пристрій забезпечує залежність швидкості розвитку песимуму від сили, тобто синаптичного сигналу, подразнення, що реалістичніше відтворює функції живого нейрона. Пристрій неоднозначно реагує параметрами спайків (амплітуда, тривалість, рівень слідової гіперполяції) на зростання частоти вихідної спайкової послідовності. Вирішальне значення має причина підвищення цієї частоти - внаслідок збільшення постсинаптичного потенціалу при слабкій активації більшого числа збуджуючих входів або за рахунок сильної стимуляції окремих синапсів, тобто при зростанні постсинаптичного сигналу.

Адаптивний суматор 8 (Фіг.2) працює наступним чином. Поріг  $\Theta$  у вигляді тривалості через вхід 9 подається на інформаційний вхід запам'ятовуючого модуля 26. Сумарний збуджуючий сигнал через інформаційний вхід 18 адаптивного суматора 8 подається на перетворювач 22 напруги в тривалість, де формується тривалість А, одночасно сумарний гальмуючий сигнал через інформаційний вхід 19 подається на перетворювач 23 напруги в тривалість, де формується тривалість В. В елементі сума за модулем два 24 формується різниця цих тривалостей, тобто

$$D = \text{dif}(A, B) = |A - B|. \quad (1)$$

Отримана різницева тривалість D подається через елемент 27 затримки на перший вхід елемента сума за модулем два 25. Крім того, одиничний сигнал різницевої тривалості D подається на вхід дозволу зчитування запам'ятовуючого модуля 26, причому елемент 27 затримки узгоджений по часу спрацювання запам'ятовуючого модуля 26. Таким чином, із запам'ятовуючого модуля 26 зчитується пороговий сигнал у вигляді тривалості  $\Theta$ , який в елементі сума за модулем два 25 порівнюється із затриманою різницевою тривалістю D вигляду (1) і формується тривалість  $\Delta$  вигляду:

$$\Delta = \text{dif}(D, \Theta) = |D - \Theta|, \quad (2)$$

яка подається на другий вхід елемента I 29. Різницева тривалість D ще раз затримується на елементі 28 затримки на час спрацювання елемента сума за модулем два 25 і подається на перший вхід елемента I 29, на виході якого формується позитивна складова  $\Delta_+$  різниці  $\Delta$ , тобто

$$\Delta_+ = D - \Theta, \quad (3)$$

тільки у випадку, якщо  $D > \Theta$ . Отримана тривалість  $\Delta_+$  знімається з виходу 20 адаптивного суматора 8.

Розглянемо три приклади порогового оброблення в адаптивному суматорі 8. У першому випадку (Фіг.3, а) на входи 18, 19 подаються сумарні сигнали у вигляді напруги зі значенням 5 і 2 відповідно. З виходів перетворювачів 22 і 23 напруги в тривалість на входи елемента сума за модулем два 24 подаються відповідні тривалості в одиничному нормальному кодї:

$$\begin{aligned} \text{величина } A &= 5: 11111000\dots 0, \\ \text{величина } B &= 2: 11000000\dots 0. \end{aligned} \quad (4)$$

На виході елемента сума за модулем два 24 формується величина D вигляду (1):

$$\text{різниця } D = 3: 111000\dots 0, \quad (5)$$

початок якої ініціює процес зчитування із запам'ятовуючого модуля 26 записаної раніше з

входу 9 завдання порогу тривалості порогу  $\Theta$  в одиничному нормальному коді:

порог  $\Theta=6$ : 11111100...0.

На виході елемента сума за модулем два 25 формується величина  $\Delta$  вигляду (2):

різниця  $\Delta=3$ : 1110...0.

Оскільки  $D < \Theta$ , то на виході елемента 129 відсутня позитивна складова різниці  $\Delta_+$  вигляду (3):

величина  $\Delta_+=0$ : 0000000...0,

тобто на виході 20 адаптивного суматора 8 відсутній сигнал певної тривалості.

У другому випадку (Фіг.3, б) на входи 18, 19 подаються сумарні сигнали у вигляді напруги вигляду (4) аналогічно, як у першому випадку.

Отже, на виході елемента сума за модулем два 24 формується величина  $D$  вигляду (5), початок якої ініціює процес зчитування із запам'ятовуючого модуля 26 записаної раніше з входу 9 завдання порогу тривалості порогу 0 в одиничному нормальному коді:

порог  $\Theta=2$ : 11000000...0.

На виході елемента сума за модулем два 25 формується величина  $\Delta$  вигляду (2):

різниця  $\Delta=1$ : 1000...0.

Оскільки  $D > \Theta$ , то на виході елемента 129 присутня позитивна складова різниці  $\Delta_+$  вигляду (3):

величина  $\Delta_+=1$ : 1000...0,

тобто на виході 20 адаптивного суматора 8 присутній сигнал певної тривалості.

У третьому випадку (Фіг.3, в) на входи 18, 19 також подаються сумарні сигнали у вигляді напруги вигляду (4), на виході елемента сума за модулем два 24 формується величина  $D$  вигляду (5), початок якої ініціює процес зчитування із запам'ятовуючого модуля 26 записаної раніше з входу 9 завдання порогу тривалості порогу  $\Theta$  в одиничному нормальному коді:

порог  $\Theta=3$ : 11100000...0.

На виході елемента сума за модулем два 25 формується величина  $\Delta$  вигляду (2):

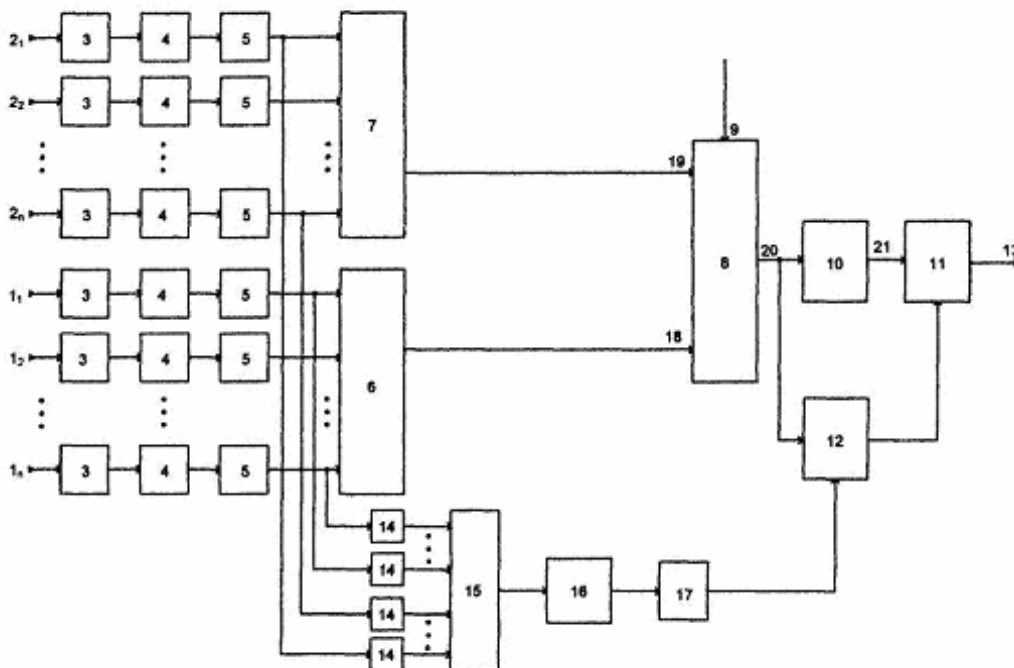
різниця  $\Delta=0$ : 0000...0.

Оскільки  $D = \Theta$ , то на виході елемента 129 відсутня позитивна складова різниці  $\Delta_+$  вигляду (3):

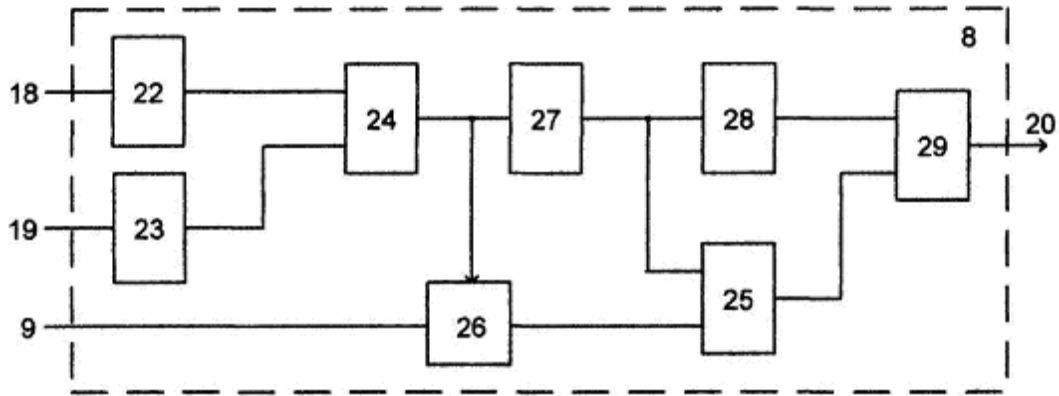
величина  $\Delta_+=0$ : 0000000...0,

тобто на виході 20 адаптивного суматора 8 відсутній сигнал певної тривалості.

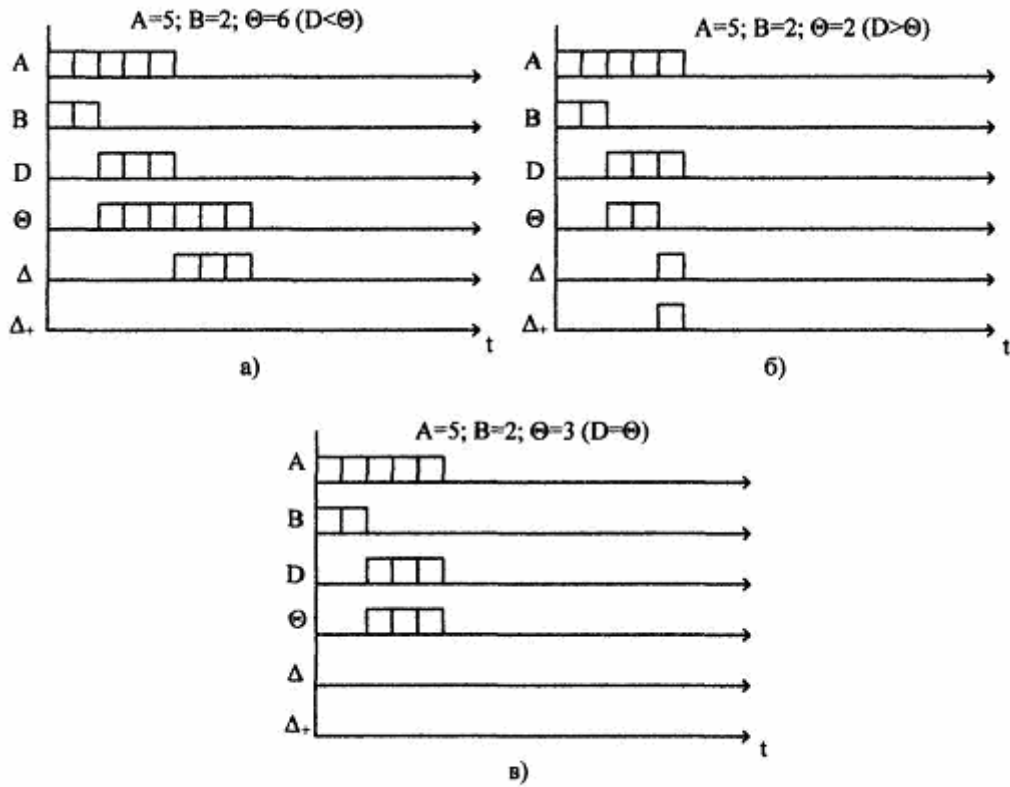
Таким чином, введення адаптивного суматора, керуючого блока, перетворювача тривалості в частоту, перетворювача напруги в тривалість у пристрій для моделювання нейрона замість двох суматорів, функціонального перетворювача, перетворювача напруги в частоту, порогового елемента, інерційної ланки дозволяє зменшити кількість задіяних елементів, тобто спростити структуру пристрою.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3