



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **27492** (13) **U**
(51) МПК (2006)
G01R 31/34МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ**ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**видається під
відповідальність
власника
патенту**(54) СПОСІБ ДІАГНОСТИКИ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ**

1

2

(21) u200614062

(22) 29.12.2006

(24) 12.11.2007

(72) ПАНКРАТОВ АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ, UA,
ІВЧЕНКОВ МИКОЛА ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA,
ПОБОЧІЙ ВОЛОДИМИР ГРИГОРОВИЧ, UA(73) ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА
АКАДЕМІЯ, UA

(56)

(57) Спосіб діагностики машин постійного струму,
що включає безперервний контроль струму якоря
й оборотної частоти обертання вала машини
постійного струму, виділення перемінної і постійної
складової струму якоря, аналого-цифрове
перетворення перемінної і постійної складових
струму якоря, а також оборотної частоти,
спектральний аналіз перемінної складової струму
якоря, виділення в спектрі струму якоря гармонік,що пульсують з частотами, пропорційними
оборотній частоті, числу зубців якоря і числу
колекторних пластин, нормалізацію виділених
гармонік шляхом розділу амплітуд виділених
гармонік на амплітуду нульової гармоніки і розділу
виділених частот на оборотну частоту, який
відрізняється тим, що виконують логічну
ідентифікацію нормалізованих амплітуд виділених
гармонік з формуванням векторів логічних кодів
якості комутації, нейромережний аналіз векторів
логічних кодів якості комутації, формування за
результатами нейромережного аналізу
статистичних рядів показників якості комутації в
часовій області, регресійний аналіз статистичних
рядів показників якості комутації в часовій області і
прогнозування за результатами регресійного
аналізу часу неприпустимого погіршення комутації
з установленням причин її погіршення.

Корисна модель відноситься до галузі техніки,
а саме до діагностики машин постійного струму і
способів діагностики стану щітково-колекторного
вузла машин постійного струму (МПС) та може
бути застосована для галузей, де
використовуються машини постійного струму з
ціллю підвищення ефективної експлуатації.

Відомий спосіб моніторингу електричних
машин [US №5519337, МКИ G01R31/34, 1996], що
включає контроль електричного струму і оборотної
частоти обертання вала машини, фільтрацію
низьких частот струму, аналогово-цифрове
перетворення рівня струму, спектральний аналіз
перемінного струму, оцінку стану електричної
машини по рівнях амплітуд виділених гармонік.

Найбільш близьким по технічній сутності є
спосіб моніторингу машин постійного струму [US
№6507797, МКИ G01R31/34, 2003], що полягає в
безперервному контролі струму якоря й оборотної
частоти обертання вала машини постійного
струму, виділення перемінної і постійної складової
струму якоря, аналого-цифрове перетворення
перемінної, постійної складової струму якоря й
оборотної частоти; спектральний аналіз
перемінної постійної складової струму якоря,

виділення в спектрі струму якоря гармонік, що
пульсують з оборотною частотою, з частотою,
пропорційною числу зубців якоря, і з частотою
пропорційною числу колекторних пластин,
нормалізацію амплітуд виділених гармонік шляхом
розділу амплітуд виділених гармонік на оборотну
частоту, оцінці якості комутації по рівнях:
нормалізованих амплітуд гармонік.

Загальними суттєвими ознаками відомого
способу і того, що заявляється є безперервний
контроль струму якоря й частоти обертання вала
машини постійного струму, виділення перемінної і
постійної складової струму якоря, аналогово-
цифрове перетворення перемінної і постійної
складових струму якоря, а також оборотної
частоти, спектральний аналіз перемінної
складової струму якоря, виділення в спектрі
струму якоря гармонік, що пульсують з частотами,
пропорційними оборотній частоті, числу зубців
якоря і числу колекторних пластин, нормалізацію
виділених гармонік шляхом розділу амплітуд
виділених гармонік на амплітуду нульової
гармоніки і розділу виділених частот на оборотну
частоту.

(19) **UA** (11) **27492** (13) **U**

В основу корисної моделі поставлена задача створення такого способу діагностики машин постійного струму, що дозволив би встановлювати причини погіршення комутації і прогнозувати час настання неприпустимого погіршення комутації.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі діагностики машин постійного струму, що включає безперервний контроль струму якоря й оборотної частоти вала машини постійного струму, виділення перемінної і постійної складової струму якоря, аналого-цифрове перетворення перемінної і постійної складових струму якоря, а також оборотної частоти, спектральний аналіз перемінної складової струму якоря, виділення в спектрі струму якоря гармонік, що пульсують з частотами, пропорційними оборотній частоті, числу зубців якоря і числу колекторних пластин, нормалізацію виділених гармонік шляхом розділу амплітуд виділених гармонік на амплітуду нульової гармоніки і розділу виділених частот на оборотну частоту, додатково виконують логічну ідентифікацію нормалізованих амплітуд виділених гармонік з формуванням векторів логічних кодів якості комутації, нейромережний аналіз векторів логічних кодів якості комутації, формування за результатами нейромережного аналізу статистичних рядів показників якості комутації в часовій області, регресійний аналіз статистичних рядів показників якості комутації в часовій області і прогнозування за результатами регресійного аналізу часу неприпустимого погіршення комутації з установленням причин її погіршення.

Логічна ідентифікація нормалізованих амплітуд виділених гармонік дає можливість формування векторів логічних кодів якості комутації.

Нейромережний аналіз векторів логічних кодів якості комутації дозволяє встановлювати причини погіршення комутації.

Формування за результатами нейромережного аналізу статистичних рядів показників якості комутації в часовій області дозволяє зафіксувати процес погіршення комутації в часі.

Регресійний аналіз статистичних рядів показників якості комутації в часовій області дає можливість прогнозувати час неприпустимого погіршення комутації з установленням її причин.

У цілому запропонований спосіб дозволяє в порівнянні з прототипом розширити функціональні можливості і за рахунок цього знизити експлуатаційні витрати, які пов'язані з пошуком дефекту і наступним ремонтом не менш ніж на (60...70)% і підвищити надійність машин постійного струму не менш ніж у півтора рази за рахунок своєчасного (за даними прогнозу) проведення ремонтно-профілактичних робіт.

Застосування в сукупності операцій логічної ідентифікації нормалізованих амплітуд виділених гармонік з формуванням векторів логічних кодів якості комутації, нейромережного аналізу векторів логічних кодів якості комутації, формування за результатами нейромережного аналізу статистичних рядів показників якості комутації в часовій області, регресійного аналізу статистичних рядів показників якості комутації в часовій області,

дозволило забезпечити нові функції – зниження експлуатаційних витрат на (60...70)% і підвищити надійність машин постійного струму в півтора рази. Отже, запропоноване рішення відповідає критерію «винахідницький рівень».

Спосіб реалізується наступним чином. Перемінна і постійна складові струму якоря i_a машини постійного струму 1 (Фіг.1) безперервно вимірюються і виділяються датчиком струму 2, перетворюються аналого-цифровими перетворювачами 3 і 4 подаються на перший 5 і другий 6 зовнішні порти комп'ютера 7. Оборотна частота обертання вала машини постійного струму 1 вимірюється датчиком оборотної частоти 8, перетворюється аналого-цифровим перетворювачем 9 і подається на третій зовнішній порт 10 комп'ютера 7. Результата діагностування фіксуються на моніторі 11 комп'ютера 7.

У комп'ютері 7 отримана інформація обробляється за програмою, укрупнений алгоритм якої приведений на Фіг.2.

Після запуску системи діагностики підпрограми 12 і 13 (Фіг.2) забезпечують безперервне зчитування даних про перемінну і постійну складові струму якоря, даних про оборотну частоту з записом їх в оперативну пам'ять комп'ютера.

У блоці 14 за спеціальною підпрограмою швидкого перетворення Фур'є або вейвлет-перетворення виробляється спектральний аналіз перемінної складової струму якоря.

У блоках підпрограм 15, 16 і 17 виділяються в частотному спектрі струму якоря гармоніки, що пульсують з частотами, пропорційними оборотній частоті, числу зубців якоря і числу колекторних пластин.

З метою забезпечення можливості застосування способу діагностики для широкого класу машин постійного струму в блоках підпрограм 18, 19 і 20 здійснюється нормалізація видалених гармонік по амплітуді і частоті.

Нормалізація амплітуд виділених гармонік виконується за формулою

| | |
|-----------------------------|-----|
| $A_{ni} = \frac{A_i}{A_0},$ | (1) |
|-----------------------------|-----|

де A_i - амплітуди i -х виділених гармонік;

A_0 - амплітуда гармоніки з нульовою частотою.

Нормалізація по частоті виконується за формулою

| | |
|---------------------------------------|-----|
| $f_{ni} = \frac{f_i}{f_{\text{вр}}},$ | (2) |
|---------------------------------------|-----|

де f_i - частота i -х виділених гармонік;

$f_{\text{вр}}$ - частота обертання вала машини постійного струму (оборотна частота).

Причинами погіршення комутації машин постійного струму є:

- 1) замикання окремих колекторних пластин між собою;
- 2) виткове замикання якірної обмотки;
- 3) порушення щітково-колекторного контакту;
- 4) зміщення щіток з геометричної нейтралі;
- 5) токові перевантаження.

На Фіг.3 та Фіг.4 приведені експериментально отримані нормалізовані спектрограми сигналів струму якоря МПС при різних станах колектора.

На спектрограмах цифрою 29 позначені гармоніки, які мають частоту обертання (оборотні), тут основна частота $f = p\omega/60$, де p - число пар полюсів машини, ω - частота обертання якоря МПС, цифрою 30 позначені гармоніки, що пульсують із зубцевою частотою; основна частота $f_z = z\omega/60$, де z - число зубців якоря, цифрою 31 позначені гармоніки, що мають так названу колекторну частоту; основна частота $f_k = k\omega/60$, де k - кількість колекторних пластин.

Ознаками погіршення комутації (появи іскріння на колекторі є):

1. Різка підвищення амплітуди групи гармонік, пропорційних оборотній частоті.

2. Зміна амплітуд гармонійних складових зубцевих гармоніки.

3. Зміщення колекторної гармонійної складової на більш низьку відносно частоту, обумовленої як $k-m$, де m - кількість перемкнутих колекторних пластин.

У Правилах пристрою електроустановок (ПУЕ) [див. Правила пристрою електроустановок. 6 вид., перероб. і доп. - К.: Либідь, 2002, табл.1.8.7.] регламентується 5 ступенів іскріння:

1 - відсутність іскріння;

1.25 - слабе крапкове іскріння під невеликою частиною щітки;

1.5 - слабе іскріння під великою частиною щітки;

2 - іскріння під усім краєм щітки;

3 - значне іскріння від усім краєм щітки з наявністю великих іскор і іскор, що вилітають.

У зв'язку з цим для логічної ідентифікації цих ознак у блоці підпрограми 21 (Фіг.2) інтервали варіювання амплітуд виділених гармонік відповідно до градації ПУЕ розбиваються на 5 підінтервали кожний.

Приклад логічної ідентифікації нормалізованих амплітуд виділених гармонік оборотної частоти показаний на блок-схемі підпрограми (фіг.5).

Поточне значення нормалізованої амплітуди програмно порівнюється з 5 рівнями граничних значень $A_{11} < A_{12} < A_{13} < A_{14} < A_{15}$, а результати порівняння представляються наборами логічних «0» і «1».

Наприклад, зниження опору ізоляції між колекторними пластинами, при якому ступінь іскріння по ПУЕ дорівнює 1.5, відповідає вихідному логічному коду 11100.

Аналогічна виробляється логічна ідентифікація нормалізованих амплітуд інших виділених гармонік, включаючи гармоніку з нульовою частотою.

Формування векторів логічних кодів якості комутації виконується за допомогою блоків підпрограм 22 (Фіг.2) шляхом запису в спеціально виділену область оперативної пам'яті отриманих позиційних логічних кодів (векторів).

Нейромережний аналіз логічних кодів якості комутації виконується за допомогою блоків підпрограм 23 (Фіг.2) та поділяється на дві гілки:

1. Аналіз вхідних векторів з метою встановлення причин погіршення комутації.

2. Аналіз вхідних векторів з метою прогнозування часу настання неприпустимого погіршення комутації.

Установлення причин погіршення комутації виробляється в блоці підпрограм 24 (Фіг.2) за допомогою нейронної мережі (НМ), що складається з 4-х персептронів, кожен з яких після навчання розпізнає логічний образ відповідної причини погіршення комутації.

На Фіг.6 показана структура нейронної мережі, що розпізнає причини погіршення комутації і реалізованої в комп'ютері програмно.

Активційні функції F_1, F_2, F_3, F_4 - граничні, вихідні сигнали $OUT_1, OUT_2, OUT_3, OUT_4$ кожного з персептронів - бінарні.

Розпізнаванню логічного образу відповідає $OUT = AW = 1$,

де A - значення вектора на вході відповідного персептрона;

W - вектор ваг на вході відповідного персептрона.

Нейронна мережа навчається так, щоб при визначеному вхідному векторі $A = \{A_{12}, A_{22}, A_{32}, A_{42}, A_{52}\}$, що має логічні ознаки відповідної причини погіршення комутації, що відповідає вихідний сигнал OUT приймав значення логічної «1».

Елементи вхідного вектора A формуються в програмному блоці 22 (Фіг.2) і можуть приймати значення логічних «0» чи «1», якщо виникло іскріння ступеня 1.25 по одній з 4-х причин.

Тах, наприклад, якщо виникло іскріння ступеня 1.25 тільки через токове перевантаження, тоді $A_{42} = 1$, при цьому вхідний вектор $A = 00010$, якщо іскріння ступеня 1.25 виникло тільки через зміщення щіток з геометричної нейтралі, тоді $A_{12} = 1$, при цьому вхідний вектор $A = 10000$, якщо іскріння ступеня 1.25 виникло тільки через замикання 2-х колекторних пластин, тоді $A_{12} = 1, A_{22} = 1, A_{32} = 0, A_{42} = 0, A_{52} = 1$, при цьому вхідний вектор $A = 11001$.

У такий спосіб НМ попередньо навчається так, щоб стан виходу мережі відповідав умовам:

$OUT_1 = 1$, якщо відбулося замикання окремих колекторних пластин між собою чи виткове замикання якірної обмотки;

$OUT_2 = 1$, якщо відбулося порушення щітково-колекторного контакту;

$OUT_3 = 1$, якщо відбулося зміщення щіток з геометричної нейтралі;

$OUT_4 = 1$, якщо відбулося токове перевантаження.

Навчання НС зводиться до визначення вагових коефіцієнтів w_{ij} на входах відповідних персептронів, щоб НМ чітко розпізнавала визначений бінарний код. Персептрони навчаються за стандартними програмами; заснованих на кожній з відомих методів, наприклад δ -методом чи методом зустрічного поширення.

Аналіз вхідних векторів з метою прогнозування часу настання неприпустимого погіршення

комутації виконується в програмному блоці 23 (Фіг.2) за допомогою НМ безперервної дії.

Структура цієї НМ приведена на Фіг.7.

Одношарова НМ прогнозу часу повного руйнування колектора виконана на базі перцептрону з 20 бінарними входами, що формуються у виді 4-х бінарних векторів у програмному блоці 22 (Фіг.2);

Вихідний сигнал НМ визначається як

$$\text{OUT5} = (A1W1 + A2W2 + A3W3 + A4W4)F5, \quad (3)$$

де $A1$ - бінарний вектор, що ідентифікує амплітуду гармоніки оборотної частоти,

$A2$ - бінарний вектор, що ідентифікує амплітуду гармоніки зубцевої частоти;

$A3$ - бінарний вектор, що ідентифікує амплітуду гармоніки колекторної ($k-m$) частоти;

$A4$ - бінарний вектор, що ідентифікує амплітуду гармоніки нульової частоти струму якоря;

$F5$ - лінійна функція активації.

У процесі роботи системи діагностики результати безперервних обчислень НМ по (3) у блоці 25 (Фіг.2) у фіксованій області оперативної пам'яті формуються статистичні ряди показників якості комутації, які представляють занесені через рівні фіксовані інтервали часу Δt у пам'ять дані про значення OUT5 . Інтервал часу Δt вибирається в залежності від стану колектора, умов роботи та ін.

Отримана в програмному блоці 25 досить представницька вибірка (не менш 30) надходить у програмний блок 26, у якому виконується регресійний аналіз статистичних рядів показників якості комутації в часовій області з одержанням рівняння регресії.

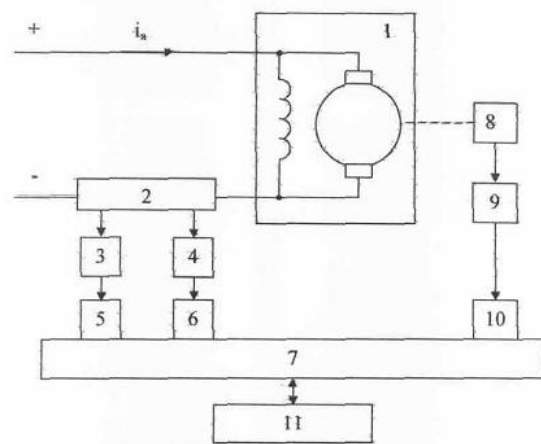
У програмному блоці 27 за допомогою отриманого рівняння регресії і граничного значення, що задається, OUT5 прогнозується час неприпустимого погіршення комутації.

Результати діагностування виводяться на екран монітора і за бажанням на пристрій звукової сигналізації.

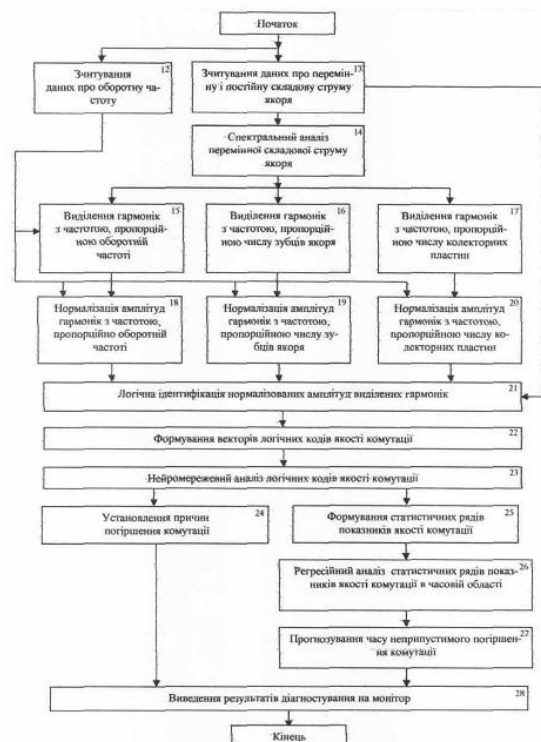
Розроблений спосіб може використовуватися та всіх промислових підприємствах України, де використовуються машини постійного струму, наприклад у гірничодобувній промисловості на екскаваторах.

Економічний ефект за рахунок пропонуємого способу діагностики машин постійного струму, наприклад, на екскаваторі ЕКГ-8 складає не менш 1.5 тис. грн. у рік на одну машину постійного струму.

Застосуванням способу діагностики є можливість установлення причин погіршення комутації, що зменшує час пошуку несправностей і експлуатаційні витрати. Крім того, перевагою пропонуємого способу є можливість прогнозування часу повного руйнування колектора і своєчасного проведення ремонтно-профілактичних робіт, за рахунок чого підвищується надійність машин постійного струму.



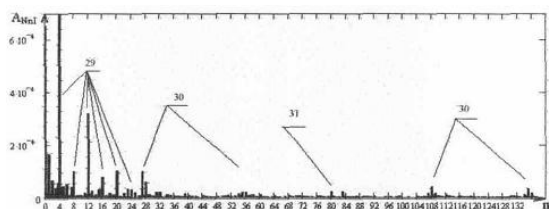
Фіг. 1



Фіг. 2

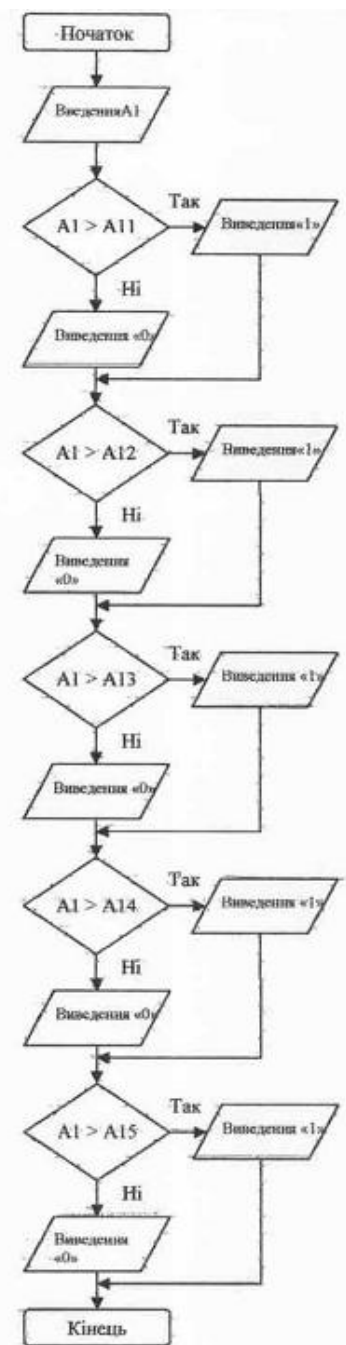


Фіг. 3

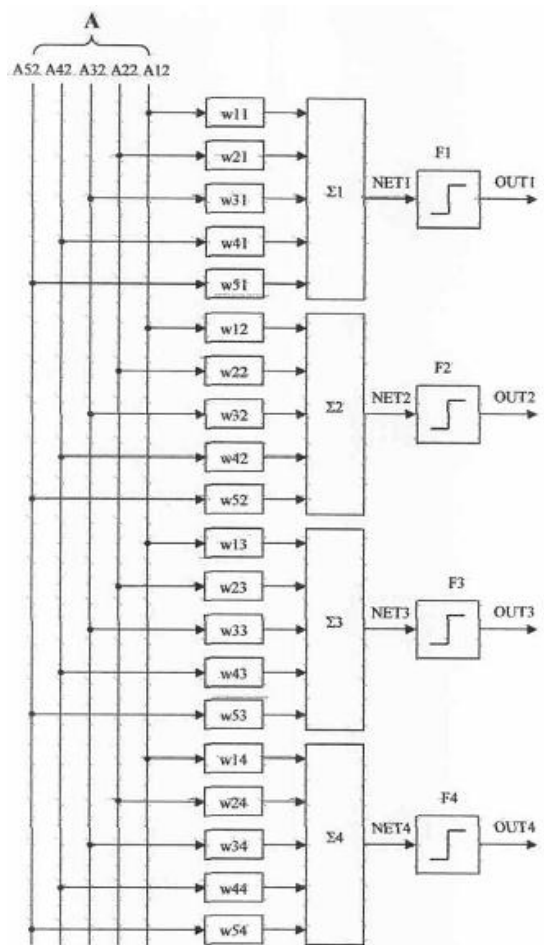


Нормалізований спектр струму двигуна при замиканні 2-х пластин колектора

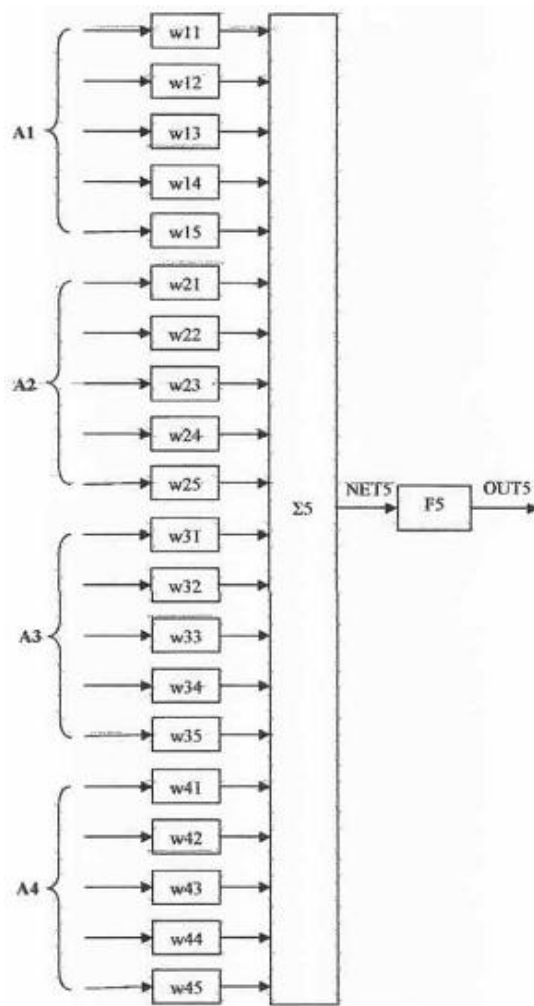
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Φir. 7