

Цей винахід відноситься до способу та пристрою визначення кутового положення ротора з постійним магнітом багатофазного електричного двигуна, що містить в собі принаймні дві статорних обмотки. Точне визначення кутового положення ротора електричного двигуна є бажаним, навіть необхідним для багатьох застосувань, зокрема, в сфері робототехніки та в пристроях, що містять в собі робочі органи, що обертаються, наприклад, для лікування зубів та в мікрохірургії.

Для визначення кутового положення ротора з постійним магнітом відомий спосіб, що передбачає використання трьох датчиків Холла, зміщених по фазі 120° , які дають три синусоїдальні криві із зміщенням по фазі на 120° (див. патент Франції FR-A-2697698). Можна також розташувати на осі ротора пристрій раціонального кодування положення, що дозволяє отримати відповідну точність у визначенні кутового положення ротора. Ці схеми передбачають встановлення датчиків, які роблять пристрій більш громіздким, що є значним недоліком для пристроїв невеликих розмірів з мікродвигунами.

Відомий також генератор (див. заявка на європейський патент EP-A-0793337), що подає сигнали індукованої напруги, амплітуда якої пропорційна швидкості обертання ротора. Наприклад, в трифазному двигуні з постійним магнітом можна періодично на короткі інтервали переривати живлення двигуна з метою вилучення інформації щодо індукованої напруги, що дозволяє визначити положення ротора або/та його швидкість обертання. Основним недоліком цього методу визначення кутового положення ротора є те, що інформацію можна отримати лише тоді, коли ротор обертається з відповідною швидкістю, наприклад, приблизно 1000об./хв. Тому при низькій швидкості або коли кут обертання є відносно невеликим на основі індукованої напруги в обмотках двигуна ніякої інформації не можна отримати.

В основу винаходу поставлена задача розробити спосіб визначення кутового положення ротора, незалежно від швидкості його обертання та пройденого кутового шляху та пристрій для виконання цього способу, який би був достатньо компактним.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення кутового положення ротора з постійним магнітом багатофазного електродвигуна з, принаймні, двома обмотками статора, згідно з винаходом подають, принаймні, один змінний сигнал на вхід обмотки і знімають, принаймні, один сигнал вимірювання з виходу цієї обмотки.

При виконанні робіт, що привели до створення цього винаходу, спостереження показали, що цей вимірювальний сигнал містить в собі інформацію, що стосується періодичної зміни ефективної індуктивності обмотки, на яку подається змінний сигнал, причому він залежить від кутового положення ротора з постійним магнітом, зокрема, двополюсного.

Поставлена задача вирішується також завдяки створенню електронного пристрою для виконання способу відповідно до винаходу.

Шляхом відповідної обробки вимірювального сигналу спосіб відповідно до винаходу дозволяє визначити з великою точністю кутове положення ротора незалежно від його швидкості обертання і навіть при зупинці. Завдяки цьому способу можна керувати двигуном для здійснення відносно невеликих кутових пробігів з високою точністю.

Цей винахід можна буде краще зрозуміти за допомогою опису не обмежуваних варіантів застосування способу відповідно до винаходу та пристроїв, що дозволяють його реалізувати, з посиланнями на креслення, що додаються, які приводяться у вигляді прикладів, що носять чисто ілюстративний характер, на яких:

- фіг.1 зображає загальну схему для визначення положення ротора;
- фіг.2 схематичну зміну індуктивності в статорній обмотці в результаті зміни частоти в осциляторі з LC, що з'єднаний з статорними обмотками;
- фіг.3 та 4 зображають два варіанти реалізації ротора, що використовується в рамках цього винаходу;
- фіг.5 зображає перший варіант реалізації пристрою визначення кутового положення ротора відповідно до цього винаходу;
- фіг.6-9 зображають другий варіант реалізації пристрою за цим винаходом і демонструють переважний спосіб визначення кутового положення ротора за винаходом;
- фіг.10 схематично зображає схему корекції вимірювальних кривих, що використовуються в способі відповідно до цього винаходу;
- фіг.11 та 12 зображають метод відповідно до цього винаходу для вибору вимірювальної величини з трьох отриманих вимірювальних сигналів;
- фіг.13 зображає перший варіант визначення кутової положення ротора в залежності від вибраного значення сигналу вимірювання;
- фіг.14 схематично зображає реалізацію другого варіанту визначення кутового положення ротора в залежності від вибраного значення сигналу вимірювання.

Електронна схема, зображена на фіг.1, являє собою осцилятор з LC, в якому індуктивність визначається обмотками 2a, 2b та 2c електричного двигуна, ротор 3 якого містить в собі постійний двополюсний магніт 4. Схема на фіг.1 дозволяє підтримувати коливання, що змінюється в діапазоні від 2,8МГц до 3МГц в залежності від положення ротора, як це схематично показано на фіг.2. Можна зазначити, що ця зміна не залежить від швидкості обертання ротора або величини струму живлення, що подається на двигун. Можна спостерігати періодичну зміну ефективної індуктивності обмоток електричного двигуна в основному в залежності від положення ротора. Спеціалісти можуть розробити електричну схему для вимірювання частоти генератора типу, що зображений на фіг.1, для отримання інформації щодо кутового положення ротора. В міжнародній заявці WO 00/04631 цього ж винахідника використовується вимірювання зміни частоти двох осциляторів, під'єднаних до статорних обмоток. Для отримання повнішого пояснення щодо електронної схеми, зображеної на фіг.1, слід звертатись до заявки на європейський патент EP99125017.6, яка має пріоритет. В цій заявці на європейський патент також описано виготовлення роторів, що зображені на фіг.3 та 4, використання яких дозволяє збільшення періодичної зміни ефективної індукції обмоток в залежності від кутового положення ротора.

На фіг.3 та 4 зображені два варіанти реалізації ротора 3A та 3B електричного двигуна, до якого приєднано

пристрій визначення кутового положення відповідно до цього винаходу. Було встановлено, що часткове покриття поверхні постійного магніту ротора шаром металу, зокрема немагнітного, дозволяє збільшити періодичну зміну ефективної індукції статорних обмоток. Ротор 3А містить в собі дві металеві стрічки 5, розташовані із зміщенням 180° . На фіг.3 видно лише одну з двох стрічок. Ротор 3В являє собою металевий циліндр 6, в якому знаходиться постійний магніт 4 і який має два ряди отворів 7, розташованих вздовж осі і зміщених на 180° . В цьому варіанті, представленому як один з прикладів, магнітна вісь N-S розташована в радіальному напрямку отворів 7.

За допомогою фіг.5 приводиться опис першого способу реалізації відповідно до винаходу та пристрою, що дозволяє реалізувати цей спосіб.

Генератор частоти 10 через полосовий фільтр 12 генерує змінний сигнал визначеної частоти, який вибірково подається на перший вивід однієї з трьох статорних обмоток 2а, 2b та 2с. Потім вимірювальний сигнал знімається за допомогою однієї з цих трьох обмоток, яка під'єднана до другого виводу обмотки, на яку подається змінний сигнал. Цей вимірювальний сигнал подається на пристрій електронної обробки, що містять в собі підсилювач 18, на вході якого передбачено опір R. Враховуючи, що вхідний імпеданс підсилювача 18 є дуже високим, опір R меншої величини служить для зниження імпедансу на вході цього підсилювача з метою уникнення появи перешкод в вимірювальному сигналі. Слід все-таки зазначити, що опір R набагато перевищує опір обмотки, так що сигнал напруги, що утворює вимірювальний сигнал на вході транзистора 18, відповідає напрузі сигналу, що має частоту цього змінного сигналу в середній точці 20 трьох статорних обмоток.

Для отримання максимально чистого вимірювального сигналу його пропускають через полосовий фільтр 22, на виході якого спостерігається змінний сигнал, обгинаюча якого являє собою модуляцію, яка залежить від кутового положення ротора. Для отримання інформації щодо цього кутового положення вимірюваний сигнал проходить звичайним чином через випрямляч 24 для отримання електричного сигналу, що відповідає зазначеній обгинаючій. Враховуючи, що змінний сигнал подається послідовно, в циклічному режимі, на три фази А, В та С електричного двигуна, отримуємо три вимірювальних сигнали, які визначають три кривих при обертанні ротора, причому ці криві мають синусоїдальну форму і вони зміщені по фазі на 120° , як це видно на строб-імпульсі 26. Проте було відмічено, що, враховуючи той факт, що три статорних обмотки не завжди є ідентичними, три отриманих вимірювальних кривих мають різні зміщення та амплітуду. Тому передбачені засоби, що дозволяють скорегувати зміщення та амплітуду кожної кривої. Ці засоби являють собою операційний підсумковий підсилювач 28, на один вхід якого подається вимірюваний сигнал, в той час, як сигнал відповідного зміщення для кожної з трьох фаз А, В та С подається на другий вхід через цифро-аналоговий перетворювач 30. Відповідні зміщення трьох фаз, на яких здійснюють вимірювання, вводяться в регістр пам'яті 32. Потім вимірюваний сигнал подається на цифро-аналоговий перетворювач-множник 34, коефіцієнт множення якого СМ вибирають спеціально для кожної з трьох фаз в регістрі 36. Спрацювання аналогових вимикачів 16 і вибір зміщення та коефіцієнта множника СМ здійснюються одночасно в циклічному режимі за допомогою електронного пристрою 38.

Таким чином, за допомогою трьох вимірювальних кривих, що визначають три вимірювальних величини для кожного кутового положення ротора, можна точно визначити це кутове положення. У випадку, коли ці криві мають синусоїдальну форму, таке визначення може легко здійснюватись цифровим методом. В протилежному випадку застосовують методи, що дозволяють ефективно визначити кутове положення ротора, які будуть описані нижче при поясненні переважного способу винаходу.

Дослідження чутливості зазначеної вище системи реалізації способу визначення кутового положення відповідно до винаходу показали, що вона має деякі недоліки. По-перше, електронні схеми, що дозволяють отримати три вимірювальні криві з однаковим зміщенням та амплітудою, є відносно складними. Крім того, оточення системи, зокрема електричні кабелі, під'єднані до двигуна, по-різному впливає на вимірювану амплітудну модуляцію та зміщення вимірювальних кривих. Нижче буде описано другий переважний спосіб реалізації способу відповідно до винаходу та пов'язаної з ним електронної системи, в якій використовують фазову модуляцію.

Відповідно до реалізації переважного способу винаходу, який описується за допомогою фіг.6-10, передбачено одночасно подавати перший сигнал SF_A на першу фазу двигуна, тобто на перший вхід статорної обмотки, та другий змінний сигнал SF_B такої ж частоти FO на другу фазу, тобто на перший вивід другої обмотки. Сигнал SF_B зміщено відносно сигналу SF_A за допомогою схеми зміщення 42. Зміщення по фазі між цими двома змінними сигналами задається наперед. Ці сигнали SF_A та SF_B подаються на перші виводи двох обмоток через полосові фільтри 12 та 13 та підсилювачі 14 та 15, як і в першому способі реалізації, що був описаний вище.

За допомогою третьої обмотки, під'єднаної до третьої фази двигуна, знімається вимірювальний сигнал SM_C , який подається на пристрій електронної обробки, зокрема, на перетворювач, для отримання інформації, пов'язаної із періодичною зміною індукції в залежності від кутового положення ротора. Вимірювальний сигнал SM_C утворюється шляхом перемішування сигналів, отриманих в точці 20 електричної лінії між трьома статорними обмотками. У відповідь на перший та другий змінні сигнали SF_A та SF_B знімають вимірювальний сигнал по напрузі, частота якого відповідає частоті FO цих сигналів SF_A та SF_B . Сигнал SM_C підсилюється і фільтрується при частоті FO перед передачею на тригер 46, який видає оцифрований сигнал SD_C , що є відображенням вимірювального сигналу SM_C .

В строб-імпульсі 48 показані поданий сигнал SF_A та обгинаюча вимірювальних сигналів SM_C , підсилених на півоберт двополюсного магніту 4 ротора 3. Видно, що фаза сигналу SF_C по відношенню до змінного сигналу SF_A змінюється в залежності від кутового положення α ротора між двома крайніми величинами, що визначають максимальне зміщення фаз $\Delta\theta$. Тригер 46, що оцифровує синусоїдальні криві сигналу SM_C , дозволяє виміряти зміну зміщення фаз між поданим сигналом SF_A та вимірювальним сигналом SM_C , як це схематично зображено на фіг.7. Змінний сигнал SF_A має часовий період TP , передній фронт якого визначає еталонний початковий момент TO . Оцифрований вимірювальний сигнал SD_C являє собою передній фронт 50, який з'являється через перемінний інтервал часу TV , починаючи з початкового моменту TO .

Якраз зміна інтервалу TV містить в собі інформацію, що відноситься до зміни ефективної індуктивності. Для кращого вивчення цієї інформації передбачено два засоби вимірювання, як це зображено на фіг.8А. По-перше, передбачено схему RC 54, яка служить для забезпечення напруги пропорційно відношенню TV/TP. Для збільшення зміни сигналу напруги URC_C передбачено додаткове введення схеми з трьома станами 56 для блокування зміни положення переднього фронту 50 в часовому строб-імпульсі T, величина якого незначно перевищує максимальну зміну TV. Таким чином, зміна сигналу URC_C здійснюється між низькою величиною та величиною, що наближується до URC_{max}. Часовий строб-імпульс поступає після попередньо визначеної затримки T_{ret}. Схема з трьома станами 56 приводиться в дію управляючим сигналом FT, що подається через схему 58 одновібратора схемою затримки 60. Схеми 58 та 60 відомі спеціалістам. На фіг.8В зображені різні сигнали, що беруть участь в обробці вимірювального сигналу для вимірювання зміни його фази. Таким чином, засоби електронної обробки визначають фазовий дискримінатор і подають сигнал напруги, зміна якої відповідає зміні фази вимірювального сигналу SM_C. Як видно на фіг.9, передбачено також подавати сигнал URC_C на операційний підсилювач 62, знижуючи імпеданс вимірювального сигналу на виході цього операційного підсилювача. Таким чином, ми отримуємо сигнал UMP_C, що змінюється в залежності від кутового положення ротора з періодом, що відповідає півоберту обертання цього ротора. Таким чином, вимірюваний і оброблений сигнал дозволяє отримати криву, що відрізняється періодичною зміною і форма якого нагадує синусоїдальну криву.

Слід відмітити, що зміщення фаз, що вводиться схемою 42 між двома сигналами, що подаються для вимірювання, має величину, що розташовується переважно в діапазоні від 140 до 160°. Цей діапазон величин відповідає компромісу між оптимальною зміною фази вимірюваного сигналу та його напругою.

Для ефективного вимірювання кутового положення ротора, зокрема, напрямку обертання ротора, необхідно мати, принаймні, дві вимірювальні криві, що зміщені по фазі одна по відношенню до іншої. Для цього слід поступати так, як це робилось в першому варіанті реалізації, описаному вище і зображеному на фіг.5, подаючи перший і другий змінні сигнали в циклічному режимі і послідовно на дві з трьох статорних обмоток з метою отримання трьох вимірювальних сигналів, зміна яких в залежності від положення ротора визначається відповідно трьома вимірювальними кривими, зміщеними по фазі на 120° одна по відношенню до інших. В цьому випадку ми послідовно знімаємо вимірювальні сигнали на кожній з трьох фаз А, В та С, подаючи два змінних зміщених по фазі сигнали на дві другі фази. Спеціалісти вміють створювати схеми, здатні знімати в циклічному режимі і послідовно з відносно короткими інтервалами часу три вимірювальні сигнали на других виводах трьох статорних обмоток, визначаючи три фази електричного двигуна. Для цього можна використовувати операційні підсилювачі з виходом з трьох станами з високим імпедансом, наприклад, типу CLC430 виробництва фірми National. Керування цими вимикачами може здійснюватись перемикаючим ланцюгом "FPGA" типу XC4008 виробництва фірми Xilinx.

Таким чином, для кожного кутового положення ротора можна отримати три вимірювальні сигнали. Обертання ротора дозволяє визначити шляхом послідовних вимірювань три періодичні вимірювальні криві, що генеруються фазовою модуляцією або зміною зміщення фаз цих вимірювальних сигналів в трьох обмотках електричного двигуна в залежності від кутового положення постійного магніту ротора.

Враховуючи незначну несиметричність між трьома фазами, пропонується за допомогою динамічного коректора скорегувати вимірювальні сигнали таким чином, щоб отримані вимірювальні криві мали однакове зміщення та однакову амплітуду (див. фіг.10). Для цього сигнал UMP, який постачається кожною з трьох фаз, подається на перетворювач 66, який також управляється перемикаючою схемою FPGA, що згадувалась вище. Динамічна корекція здійснюється за допомогою мікропроцесора, який видає скореговані вимірювальні величини SPC для кожної з трьох фаз. Таким чином, як видно на фіг.11, отримуємо три криві SPC_A, SPC_B, SPC_C, зміщені по фазі на 120°.

В рамках цього винаходу був розроблений точний та ефективний метод визначення положення ротора. Цей метод буде описано нижче за допомогою фіг.11-14. Спостереження показали, що в пікових зонах вимірювальних кривих, якщо їх крутизна є відносно невеликою, точність вимірювання знижується. Для того, щоб обійти ці зони, пропонується для даного положення ротора використовувати один з трьох вимірювальних сигналів, величина якого знаходиться між величинами двох других вимірювальних сигналів або дорівнює величині одного з цих двох вимірювальних сигналів. Це означає, що для даного кутового положення вибирається одна вимірювальна величина, що знаходиться на відрізку зигзагоподібної кривої 70, зображеної жирною лінією на фіг.11. При здійсненні ротором півоберта кутове положення визначається однозначно за допомогою алгоритму для вибору відрізка кривої 70, зображеного на фіг.12 на трьох перших лініях. Дійсно, для вимірювальної величини, отриманої за допомогою одного з відрізків кривої 70, що відноситься до відповідної фази, ця величина може відповідати при здійсненні півоберту лише двом кутовим положенням. Таким чином, для цих двох кутових положень дві величини, отримані за допомогою двох інших вимірювальних сигналів, є відповідно нижчою та вищою за вказану величину кривої 70. Чотири останні умови, зазначені в алгоритмі, визначеному на фіг.12, для визначення рангу відрізка зигзагоподібної кривої 70 при повному оберті ротора, враховують часову зміну вимірювальних сигналів. Інакше кажучи, у пам'яті зберігається величина REG, введена в регістр 72 в момент t-1, та спостерігають зміну величини REG в момент t, що дозволяє розрізнити два послідовних півоберти згідно з логічним станом біта z3. Отже, додаючи кожному відрізку кривої 70 при повному оберті ротора різний ранг, можна визначити для вимірювальної величини, вибраної на одному з відрізків кривої 70, ранг якої відомий, кутове положення ротора при повному оберті, як це зображено за допомогою кривої 74 на фіг.11.

Для визначення величини кутового положення в залежності від вимірювальної величини, вибраної на зигзагоподібній кривій 70, пропонується два варіанти. Перший варіант являє собою аналітичний метод, схематично зображений на фіг.13. Для даного електричного двигуна або відповідного типу двигунів визначають еталонну зигзагоподібну криву, що відповідає кривій 70. Цю еталонну криву отримують за допомогою аналітичної формули.

У варіанті, зображеному на фіг.13, еталонна зигзагоподібна крива 74 утворена з послідовності лінійних

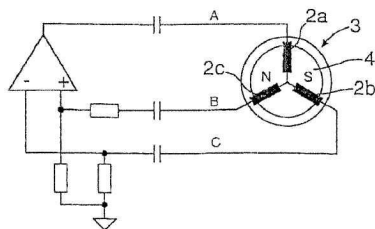
відрізків, що визначають наближення відповідної реальної кривої. Так, відрізки кривої 70 асоціюються в еталонній кривій з лінійними відрізками, параметри яких визначаються, наприклад, за допомогою лінійної регресії на реальних вимірювальних кривих, отриманих для відповідного двигуна або типу двигунів. Для кожного лінійного відрізка SGM_N рангу N попередньо задаються крайні точки (PIP_N ; PIA_N) та PIP_{N+1} та крутизна TGS_N , які вводяться у пристрій електронної обробки. Для відрізка, в якому визначено ранг N , кутове положення $\alpha_N(t)$ в залежності від вимірювальної величини $A_N(t)$ виражається за допомогою наступної аналітичної формули:

$$\alpha_N(t) = \frac{AN(t) - PIA_N}{TGS_N} + PIP_N$$

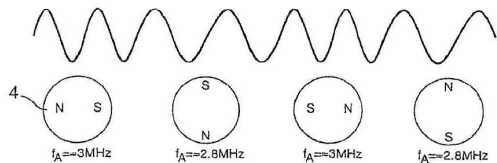
Другий варіант для визначення кутового положення являє собою компаративний метод. У таблицю відповідностей 76 вноситься велика кількість еталонних величин, що визначають еталонну криву принаймні на півоберті ротора. Кожній еталонній величині відповідає попередньо задана величина кутового положення ротора, яка також зазначається у таблиці 76. Після визначення відрізка кривої 70 кутове положення отримують, визначаючи, яка еталонна величина є найближчою до вибраної вимірювальної величини.

Для визначення еталонних величин, вказаних вище, можна використовувати пристрій раціонального кодування положення 78 та криві UMP, отримані для кожної фази, оцифровуючи їх за допомогою перетворювача 80, як це схематично зображено на фіг.14. І нарешті, хоча методи реалізації винаходу були описані з посиланням на двигуни із статорними обмотками, з'єднаними зіркою, цей метод також розповсюджується на статорні обмотки, з'єднані за схемою трикутника.

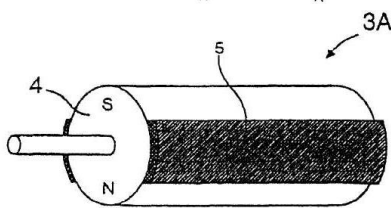
Фиг. 1



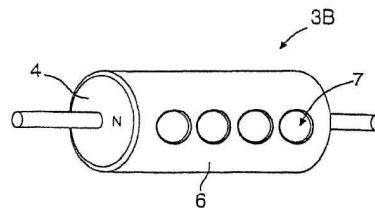
Фиг. 2

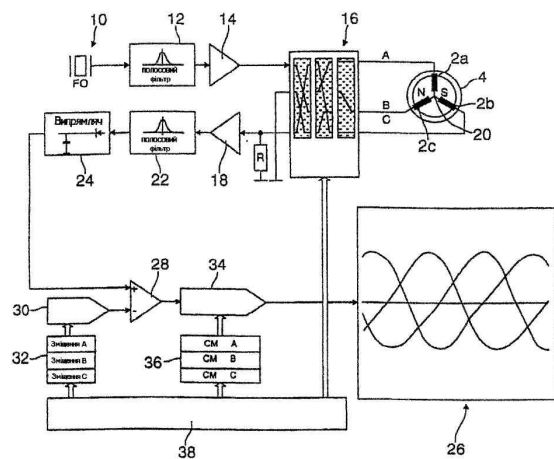


Фиг. 3

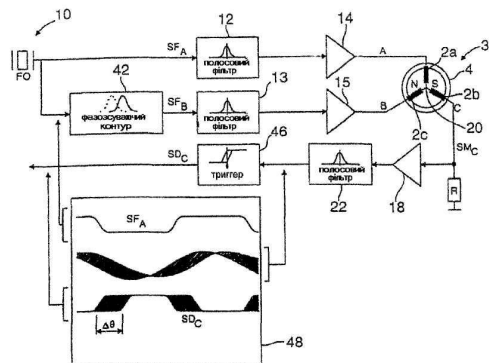


Фиг. 4

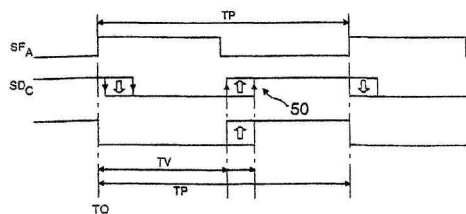




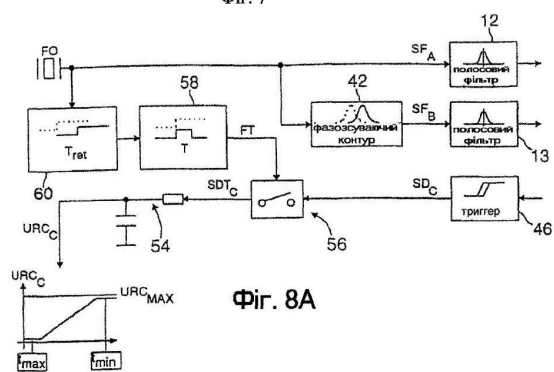
Фиг. 5



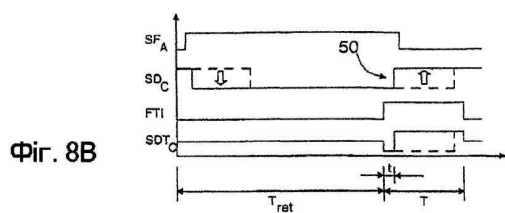
Фиг. 6



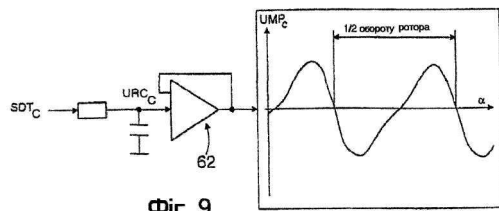
Фиг. 7



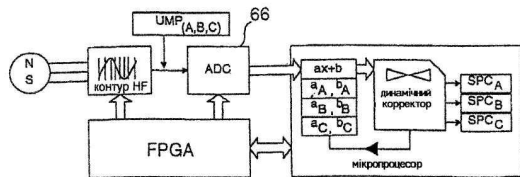
Фиг. 8A



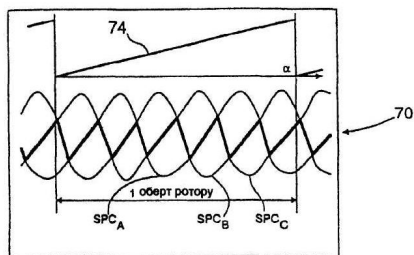
Фиг. 8B



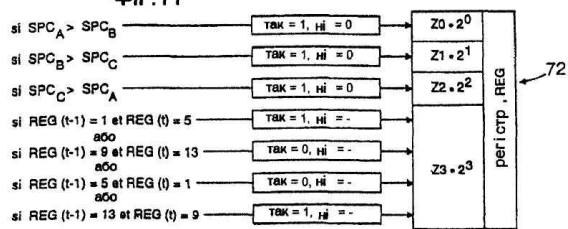
Фиг. 9



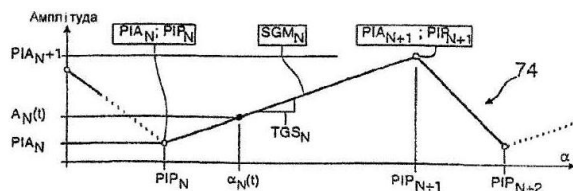
Фиг. 10



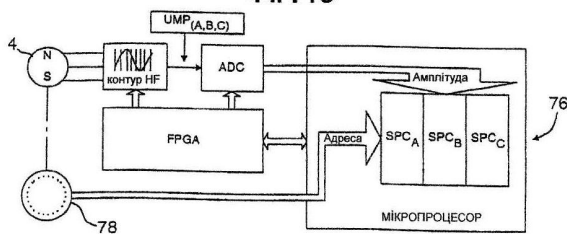
Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13



Фиг. 14