



УКРАЇНА

(19) UA (11) 47353 (13) A

(51) 6 G01S3/02, G01S5/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОННИЙ КОМПАС

1

2

(21) 2002010567

(22) 22.01.2002

(24) 17.06.2002

(46) 17.06.2002, Бюл. № 6, 2002 р.

(72) Маранов Олександр Вікторович, Остапов Ана-
толій Олександрович, Трифонов Сергій Валерійо-
вич, Чигирин Олег Трохимович, Чигирин Юрій
Трохимович

(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ФІНМАШ"

(57) 1. Електронний компас, що складається з першого датчика Холла, стабілізатора струму, першого підсилювача, пристрою індикації, у якому перший і другий струмові входи першого датчика Холла з'єднані, відповідно, з першим і другим виходами стабілізатора струму, третій і четвертий холлівські входи першого датчика Холла з'єднані з входами першого підсилювача, який відрізняється тим, що введені другий датчик Холла, перший і другий струмові входи якого з'єднані, відповідно, з першим і другим виходами стабілізатора струму, другий підсилювач, входи якого з'єднані відповідно з третім і четвертим холлівськими виходами другого датчика Холла, перший і другий перетворювачі "напруга-код", входи яких з'єднані, відповідно, з виходами першого і другого підсилювачів, перший і другий формувачі знака, перший і другий входи першого формувача знака з'єднані, відповідно, з виходом першого підсилювача і третім виходом стабілізатора струму, перший і другий входи другого формувача знака з'єднані, відповідно, з виходом другого підсилювача і третім виходом стабілізатора струму, вимірювач модуля, пристрій ділення, дешифратор, функціональний перетворювач, причому перший і другий входи вимірювача модуля з'єднані, відповідно, з виходами першого і другого перетворювачів "напруга-код", перший і другий входи пристрою ділення з'єднані, відповідно, з першим входом і виходом вимірювача модуля, вихід пристрою ділення через дешифратор з'єднаний з входом функціонального перетворювача, першу, другу, третю і четверту схеми I, причому перші входи першої і другої схем I з'єднані з першим виходом першого формувача знака, другі

входи яких з'єднані, відповідно, з першим і другим виходами другого формувача знака, перші входи третьої і четвертої схем I з'єднані з другим виходом першого формувача знака, другі входи яких з'єднані, відповідно, з першим і другим виходами другого формувача знака, обчислювач курсу, перший, другий, третій, четвертий, п'ятий входи і вихід якого з'єднані, відповідно, з виходами першої, другої, третьої, і четвертої схем I, функціонального перетворювача, першим входом пристрою індикації, формувач керуючих сигналів, перший вихід якого з'єднано з третім входом вимірювача модуля, третім входом пристрою ділення, шостим входом обчислювача курсу, другим входом пристрою індикації, другий вихід формувача керуючих сигналів з'єднаний з другими входами перетворювачів "напруга-код", третій, четвертий, п'ятий, шостий входи формувача керуючих сигналів з'єднані, відповідно, з четвертим входом вимірювача модуля, четвертим входом пристрою ділення, сьомим входом обчислювача курсу і третім входом пристрою індикації.

2. Електронний компас за п. 1, який відрізняється тим, що перший і другий датчики Холла виконані кожен як тонка пластинка із напівпровідника у формі паралелепіпеда з трьома парами взаємно перпендикулярних граней, грані перетворення першого датчика Холла перпендикулярні граням перетворення другого датчика Холла, грані перетворення першого і другого датчиків Холла співпадають з напрямками головних, відповідно, поперечної і подовжньої осей рухомого об'єкта і перпендикулярні площині платформи, яка проходить через головні поперечну і подовжню осі об'єкта.

3. Електронний компас за п. 1, який відрізняється тим, що, при послідовному живленні першого і другого датчиків Холла, перший і другий струмові входи першого датчика Холла з'єднані, відповідно, з першим виходом стабілізатора струму і першим струмовим входом другого датчика Холла, другий струмовий вхід якого з'єднано з другим виходом стабілізатора струму.

(13) A

(11) 47353

(19) UA

Винахід, що пропонується, належить до галузі навігаційних і радіолокаційних вимірювань і може бути використаний для створення навігаційних приладів, заснованих на використанні магнітного поля Землі, які можуть бути застосовані на рухомих платформах (об'єктах), які переміщуються на водній поверхні (кораблі, катера, яхти, лодки), у повітряному просторі (літаки, вертольоти, повітряні кулі), на земній поверхні (машини, танки).

Одним із головних навігаційних параметрів є курс об'єкта, знання якого необхідне для вирішення задач навігації і керування рухомими об'єктами. Курсом K є кут в горизонтальній площині поміж напрямком меридіана NS (географічного або магнітного) і напрямком головної подовжньої осі об'єкта (корма - ніс).

Для визначення курсу рухомого об'єкта використовуються прилади, засновані на різних фізичних принципах.

Найбільше застосування знайшли пристрої, в яких використовується дія магнітного поля Землі.

Простий магнітний компас [1], який складається із магнітної системи (стрілки), яка установлюється на механічних опорах, є одним з найдавніших пристроїв, які використовувалися для визначення курсу рухомого об'єкта на водній і земній поверхні.

Недоліком цього приладу є низька надійність роботи і точність вимірювання курсу при установці приладу на нестабілізованій платформі відносно горизонту.

Аналогом електронного компасу є магнітний дистанційний компас, який наведено у [2], стр 167 - 240, який складається з двох основних частин магнітного давача напрямку меридіану і дистанційної передачі кута поворота. Магнітний давач напрямку меридіану складається із картушки, в якій розміщується поплавков з магнітною системою на механічних опорах, який підвішується у подвійному карданному підвісі. Картушка розміщується в корпусі компаса, який заповнюється рідиною. Давач кута дистанційної слідкуючої системи розміщується у картушці на осі магнітної системи. Виходи давача кута через токоз'ємні кільця з'єднані з виходом корпусу компаса. Друга - виконавча частина дистанційної слідкуючої системи складається з пристроєм автоматичного відпрацювання кута поворота і пристроєм індикації.

Магнітний дистанційний компас, працює таким чином.

Магнітна система картушки компаса, яка розміщується на механічних опорах, під дією магнітного поля Землі займає положення магнітного меридіану. Коли платформа (об'єкт), на якому встановлено компас змінює курс, магнітна система під дією магнітного поля Землі змінює своє кутове положення відносно корпусу компаса. Під'ємна сила рідини, у якій розміщується картушка, компенсує значну частину маси картушки, зменшуючи силу тертя в опорах подвійного карданного підвісу. Це кутове положення за допомогою давача дистанційної слідкуючої системи, який знаходиться в картушці компаса, передається на виконавчу частину дистанційної слідкуючої системи, яка відпрацьовує нове кутове положення. Кут курсу відобра-

жається на пристрої індикації у діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 360^\circ$.

Магнітний дистанційний компас має такі недоліки:

- велика поворотка похибка, яка виникає при виконанні розворотів (віражів) внаслідок нахилу картушки відносно горизонту разом з платформою (об'єктом);

- похибка обумовлена силами тертя, які діють в опорах картушки. Похибка має значну величину внаслідок малої величини питомої ваги установчого момента;

- похибка від зміщення центра тяжіння картушки відносно точки опори, виникає при наявності прискорення, при наборі швидкості і еволюціях об'єкта;

- похибка від розвороту картушки рідиною, яка заповнює корпус компаса (силами в'язкого тертя рідини), яка у свою чергу розкручується корпусом компаса при еволюціях об'єкта. Похибка залежить від довготривалості і кутової швидкості об'єкта і може складати від одного до десятків градусів.

- незалежні і залежні коливання картушки, які виникають під дією вібрацій об'єкта при його переміщенні на водній поверхні, у повітряному просторі. Вібрації при русі з постійним курсом досягають $3 - 5^\circ$, що затрудняє підрахунок курсу.

В статті [3] розглянута можливість використання давача на ефекті Холла для вимірювання курсу K . За прототип обрано вимірювач курсу, який реалізує цей принцип, складається з давача Холла, стабілізатора струму, підсилювача і пристрою індикації, у якому перший і другий струмові виходи давача Холла з'єднані з виходами стабілізатора струму, третій і четвертий холлівські виходи давача Холла з'єднані відповідно з першим і другим входами підсилювача, вихід якого з'єднано з пристроєм індикації. Робота вимірювача курсу проходить таким чином. Коли на давач Холла діє магнітне поле Землі, на виході давача виникає напруга

$$u_1 = K_1 S I_0 B_r \cos K,$$

де K_1 - коефіцієнт перетворення давача Холла,

S - чутливість давача Холла до індукції B_r ;

I_0 - струм живлення стабілізатора струму;

B_r - горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі.

Сигнал u_1 після підсилення підсилювачем надходить на пристрій індикації. Недоліком пристрою є неможливість вимірювання поточних значень кутів K в діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 360^\circ$. Це обумовлено тим, що функція типу $A = \cos \alpha$ не забезпечує однозначного вимірювання кутів, т. я. $\alpha = \arccos(\pm \alpha)$ має знак "+", $\alpha = \arccos(180 \pm \alpha)$ має знак "-".

Задачею винаходу є підвищення надійності і точності вимірювання компасу на стабілізованих і нестабілізованих відносно горизонту платформах (об'єктах). Для підвищення надійності роботи і точності вимірювання на стабілізованих і нестабілізованих платформах (об'єктах) у компас, який складається з першого давача Холла, стабілізатора струму, першого підсилювача, пристроєм індикації, у якому перший і другий струмові виходи пер-

шого давача Холла з'єднано відповідно з першим і другим виходами стабілізатора струму, третій і четвертий холлівські виходи першого давача Холла з'єднані відповідно з першим і другим виходами першого підсилювача додатково запроваджено другий давач Холла, перший і другий струмові виходи якого з'єднано відповідно з першим і другим виходами стабілізатора струму, другий підсилювач, входи якого з'єднані відповідно з третім і четвертим холлівськими виходами другого давача Холла, перший і другий перетворювачі "напруга-код", входи яких з'єднані відповідно з виходами першого і другого підсилювачів, перший і другий формувачі знака, перший і другий входи першого формувача знака з'єднані відповідно з виходом першого підсилювача і третім виходом стабілізатора струму, перший і другий входи другого формувача знака з'єднані відповідно з виходом другого підсилювача і третім виходом стабілізатора струму, вимірювач модуля, пристрій ділення, дешифратор, функціональний перетворювач, перший і другий входи вимірювача модуля з'єднані, відповідно з виходами першого і другого перетворювачів "напруга-код", перший і другий входи пристрою ділення з'єднані відповідно з першим входом і виходом вимірювача модуля, вихід пристрою ділення через дешифратор з'єднано з входом функціонального перетворювача, першу, другу, третю і четверту схеми I, перші входи першої і другої схем I з'єднані з першим виходом першого формувача знака, другі входи яких з'єднані відповідно з першим і другим виходами другого формувача знака, перші входи третьої і четвертої схем I з'єднані з другим виходом першого формувача знака, другі входи яких з'єднані з відповідно з першим і другим виходами другого формувача знака, обчислювач курсу, перший, другий, третій, четвертий, п'ятий входи і вихід якого з'єднані відповідно з виходами першої, другої, третьої, четвертої схем I, функціонального перетворювача, першим входом пристрою індикації, формувач керуючих сигналів, перший вихід якого з'єднано з третім входом вимірювача модуля, третім входом пристрою ділення, шостим входом обчислювача курсу, другим входом пристрою індикації, другий вихід формувача керуючих сигналів з'єднано з другими входами перетворювачів "напруга-код", третій, четвертий, п'ятий, шостий виходи формувача керуючих сигналів з'єднані відповідно з четвертим входом вимірювача модуля, четвертим входом пристрою ділення, сьомим входом обчислювача курсу і третім входом пристрою індикації.

Перший і другий давачі Холла виконані кожен у вигляді тонкої пластинки із напівпровідника у формі паралелепіпеда з трьома парами взаємно-перпендикулярних граней, грані перетворення першого давача Холла перпендикулярні граням перетворення другого давача Холла, грані перетворення першого і другого давачів Холла співпадають з напрямками головних відповідно поперечної і подовженої осей рухомого об'єкта, і перпендикулярні площині платформи, яка проходить через головні поперечну і подовжену осі об'єкта.

При послідовному живленні першого і другого давачів Холла перший і другий струмові входи

першого давача Холла з'єднані відповідно з першим виходом стабілізатора струму і першим струмовим входом другого давача Холла, другий струмовий вхід якого з'єднано з другим виходом стабілізатора струму.

Підвищення надійності роботи і точності вимірювання курсу досягається за рахунок вимірювання ортогональних компонент B_y , B_x і модуля горизонтальної складової B_r індукції магнітного поля

$$\cos \alpha = \frac{B_y}{B_r}$$

Землі; вимірювання функцій

$\alpha = \arccos \frac{B_y}{B_r}$ у діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 90^\circ$, визначення номера квадранта, обчислення курсу згідно формулам $K = \alpha$; $K = 180^\circ - \alpha$; $K = 180^\circ + \alpha$; $K = 360^\circ - \alpha$ відповідно для I, II, III, IV квадрантів.

Застосування названих відмітних ознак зі зв'язками поміж ними в других аналогічних пристроях авторам невідомо, тому відповідає критерію "новизна".

Забезпечення запропонованого пристрою новою сукупністю ознак для виконання поставленої задачі дозволяє стверджувати, що вони є необхідними і достатніми для досягнення нового технічного результату, а запропонований пристрій відповідає умовам патентоздатності, так як він є новим, має винахідницький рівень та промислове застосування..

Сутність винаходу пояснюється кресленнями, де:

- на фіг.1 наведена блок-схема електронного компаса;
- на фіг.2 наведена часова діаграма роботи формувача керуючих сигналів 20;
- на фіг.3 наведена блок-схема формувача знака 8;
- на фіг.4 наведена блок-схема вимірювача модуля 14;
- на фіг.5 наведена система відліку кутів;
- на фіг.6 наведена блок-схема обчислювача курсу 18;
- на фіг.7 наведена блок-схема формувача керуючих сигналів 20;

Електронний компас (фіг.1) складається з першого і другого давачів Холла 1, 2, стабілізатора струму 3, першого і другого підсилювачів 4, 5, першого і другого перетворювачів "напруга-код" 6, 7, першого і другого формувачів знака 8, 9, першої, другої, третьої і четвертої схем I 10 - 13, вимірювача модуля 14, пристрою ділення 15, дешифратора 16, функціонального перетворювача 17, обчислювача курсу 18, пристрою індикації 19, формувача керуючих сигналів 20.

В електронному компасі перший і другий струмові входи першого і другого давачів Холла 1, 2 з'єднані відповідно з першим і другим виходами стабілізатора струму 3, третій (керуючий) вихід стабілізатора струму 3 з'єднано з другими керуючими входами формувачів знаку 8, 9. Треті потенціальні (холлівські) входи давачів Холла 1, 2 з'єднані відповідно з першими входами першого і другого підсилювачів 4, 5, Четверті потенціальні (холлівські) входи давачів Холла 1, 2 з'єднані відповідно з другими входами першого і другого

підсилювачів 4, 5.

Вихід першого підсилювача 4 з'єднано з першим входом першого перетворювача "напруга-код" 6 і першим входом першого формувача знака 8, вихід другого підсилювача 5 з'єднано з першим входом другого перетворювача "напруга-код" 7 і першим входом другого формувача знака 9. Перший вихід (+) першого формувача знака 8 з'єднано з першими входами першої і другої схем I 10, 11, другий вихід першого формувача знака 8 (-) з'єднано з першими входами третьої і четвертої схеми 12, 13. Перший вихід другого формувача знака 9 (+) з'єднано з другими входами схеми I 10, 12. Другий вихід другого формувача знака 9 (-) з'єднано з другими входами схем I 11, 13. Кодові виходи (паралельний код) першого і другого перетворювачів 6, 7 з'єднані відповідно з першим і другим входами вимірювача модуля 14, перший вхід і вихід (паралельний код) якого з'єднані відповідно з першим і другим входами пристрою ділення 15. Вихід блока ділення (паралельний код) через дешифратор 16 і функціонального перетворювача 17 з'єднано з п'ятим входом обчислювача курсу 18, перший, другий, третій, четвертий входи та вихід якого з'єднані відповідно з виходами схем I 10, 12, 13, 11, та входом пристрою індикації 19.

Перший вихід 21 формувача керуючих сигналів 20 з'єднано відповідно з третім входом (входом початкової установки ПУ) блока 14, з третім входом (входом початкової установки ПУ) пристрою ділення 15, з шостим входом (входом початкової установки ПУ) обчислювача курсу 18, другим входом (входом початкової установки ПУ) пристрою індикації 19. Другий вихід 22 формувача керуючих сигналів 20 з'єднано відповідно з другими входами (входами запуску) перетворювачів "напруга-код" 6, 7. Третій вихід 23 формувача керуючих сигналів 20 з'єднано з четвертим (керуючим) входом вимірювача модуля 14, четвертий вихід 24 формувача керуючих сигналів 20 з'єднано з четвертим (керуючим) входом пристрою ділення 15. П'ятий вихід 25 формувача керуючих сигналів 20 з'єднано з сьомим (керуючим) входом обчислювача курсу 18, шостий вихід 26 формувача керуючих сигналів 20 з'єднано з третім (керуючим) входом пристрою індикації 19.

При послідовному живленні першого і другого давачів Холла 1, 2 перший і другий струмові виходи стабілізатора струму 3 з'єднані відповідно з першим струмовим входом першого давача Холла 1 й другим струмовим входом другого давача Холла 2, другий струмовий вхід першого давача Холла 1 з'єднано з першим струмовим входом другого давача Холла 2.

Блок 1, 2 (див.фіг.1) - давач Холла, є первинним перетворювачем магнітної індукції, наприклад, [4].

Давач Холла представляє собою чотирьохполюсник, виконаний у вигляді тонкої пластинки з напівпровідника у вигляді паралелепіпеда, з трьома парами взаємно-перпендикулярних граней. Сторони паралелепіпеда a , b , c , де a - довжина, b - ширина, c - товщина вибираються із умов $a \gg c$, $b \gg c$.

Виводи 1, 2 давача Холла називаються струмовими і призначені для підключення зовнішнього

джерела живлення, підключаються до сторони $(a \times c)$ паралелепіпеда. Виводи 3, 4 давача Холла називаються холлівськими, з яких знімається напруга u_x при внесенні давача Холла у магнітне поле з індукцією B , підключаються до сторони $(b \times c)$ паралелепіпеда. Грані $(a \times b)$ паралелепіпеда називаються гранями перетворення, в які входить вектор індукції B магнітного поля. При внесенні давача Холла в магнітне поле на виводах 3, 4 (холлівських) виникає напруга Холла u_x , яка дорівнює

$$u_x = k_1 S I_0 B \cos \alpha,$$

де:

k_1 - коефіцієнт перетворення давача Холла,

S - чутливість до індукції давача Холла,

I_0 - струм живлення давача Холла,

B - Індукція магнітного поля,

α - кут між перпендикуляром до грани перетворення $(a \times b)$ і напрямком вектора магнітної індукції B .

В якості давача Холла можуть бути використані промислові давачі Холла X21, ЦВТУ-0,5 - 71 - 678, X201, X211, X501 і інші.

Блок 3 (див. фіг.1) - стабілізатор струму, є звичайним стабілізованим джерелом живлення змінного струму, наприклад, [5]. Може застосовуватися джерело живлення давача Холла приладу Щ4310, Р6.2.729.002.335.

Блок 4,5 (див.фіг.1) - підсилювач, є типовим радіоелектронним пристроєм з трансформаторним входом, наприклад, [6]. Можуть бути використані мікросхеми.

Блок 6,7 (див.фіг.1) - перетворювач "напруга-код", є стандартним перетворювачем, наприклад, [7]. Може застосовуватись перетворювач "напруга-код" приладу Щ4310, Р6.729.002.33.12, перетворювач "напруга-код" приладу А1710 фірми Rochaz Electronique.

Блок 8,9 (див.фіг.1) - формувач знака, призначений для визначення знака компонент B_x , B_y горизонтальної складової B_r вектора індукції B магнітного поля землі.

Блок схема формувача знака 8 наведена на фіг.3 і складається з схем I 81 і 82.

Блок 81 - схема I, є типовим елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути використана мікросхема 155ЛАЗ,

Блок 82 - схема I, є типовим елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути використана мікросхема 155ЛАЗ.

На перший і другий входи формувача знака 8 надходять відповідно сигнал з виходу підсилювача 4 і опорний сигнал з виходу стабілізатора струму 3. Формувач знака 8 в залежності від знака вихідного сигналу підсилювача 4, котрий однозначно залежить від напрямку магнітної індукції B_y , яка діє на давач Холла 1 і опорного сигналу, формує керуючі сигнали "+" або "-" відповідно на першому або другому керуючих виходах.

При позитивному напрямку складової індукції "+" B_y на перший вхід формувача знака 8 і схеми I 81 надходить сигнал "+". У цьому випадку на виході схеми I 81 формується керуючий сигнал "1", який надходить на перший керуючий вихід "+" формувача знака 8. На другому керуючому виході "-" формувача знака 8 сигнал дорівнює "0".

При негативному напрямку складової індукції

"-" V_y на вхід формувача знака 8 і схема 181 надходить сигнал "0". У цьому випадку на виході схеми 181 формується керуючий сигнал "0". При цьому на виході схеми 182 формується керуючий сигнал "1", який надходить на другий керуючий вихід "-" формувача знака 8.

Робота формувача знака 9 ідентична роботі формувача знака 8. Знак вихідного сигналу підсилювача 6 "+", "-" ідентичний напрямку складової магнітної індукції V_x : "+" V_x , "-" V_x .

Блок 10,11,12,13 (див. фіг.1) - схема I, є типовим елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути використана мікросхема 155ЛА3.

Блок 14 (див. фіг.1) - вимірювач модуля, призначений для вимірювання модуля індукції горизонтальної складової магнітного поля землі V_r , який

визначається згідно рівняння $V_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$, де V_x , V_y - ортогональні компоненти індукції горизонтальної складової магнітного поля Землі.

На фіг.4 наведено один із варіантів побудови вимірювача модуля 14.

Вимірювач модуля 14 складається з квадраторів 141, 142, підсумовувача 143, пристрою добування квадратного кореня 144, елементів затримки 145, 146.

Блок 141, 142 - квадратор, є типовим пристроєм цифрової техніки, наприклад, [9].

Блок 143 - підсумовувач, є типовим пристроєм цифрової техніки, наприклад, [8].

Блок 144 - пристрій добування квадратного кореня, є типовим пристроєм цифрової техніки, наприклад, [10].

Блок 145, 146 - елемент затримки, є типовим пристроєм цифрової техніки, наприклад, [6].

Робота вимірювача модуля 14 виконується таким чином.

Сигналом початкової установки ПУ, який надходить на третій вхід вимірювача модуля 14, установлюються в початковий стан квадратори 141, 142, підсумовувач 143, пристрій добування квадратного кореня 144.

При надходженні керуючого сигналу Кер.1 на четвертий вхід вимірювача модуля 14 вхідні сигнали V_y , V_x з першого і другого входів вимірювача модуля 14 у вигляді паралельного коду надходять на перші входи відповідно першого квадратора 141 і другого квадратора 142. У блоках 141, 142 виконується операція піднесення в квадрат кодів величин V_y , V_x .

Після надходження керуючого сигналу з виходу елемента затримки 145 на керуючий вхід підсумовувача 143 вихідні сигнали квадраторів 141, 142

V_y^2, V_x^2 і вигляді паралельних кодів надходять на підсумовувач 143, де виконується операція складання двох кодів V_y^2, V_x^2 .

Після надходження керуючого сигналу з виходу елемента затримки 146 на керуючий вхід підсумовувача 143 величина

$(V_x^2 + V_y^2)$ у вигляді паралельного коду надходить на пристрій добування квадратного кореня 144. У блоці 144 виконується операція добування квадратного кореня із величини

$(V_x^2 + V_y^2)$. Вихідний сигнал пристрою добування

квадратного кореня $V_r = \sqrt{(V_x^2 + V_y^2)}$ у вигляді паралельного коду надходить на вихід вимірювача модуля 14.

Блок 15 (див.фіг.1) - пристрій ділення, є стандартним пристроєм, може бути виконаний, наприклад, по [11].

Блок 16 (див.фіг.1) - дешифратор, є стандартним дешифратором, наприклад, [8]. Може бути використана мікросхема 155ИД1,

Блок 17 (див.фіг.1) - функціональний перетворювач 17, призначений для запам'ятовування N значень кутових величин в діапазоні кутів $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ з дискретністю α/N , які по сигналам з дешифратора 16 передаються в обчислювач курсу 18.

В якості функціонального перетворювача 17 може бути використана мікросхема 573РФ1.

Блок 18 (див.фіг.1) - обчислювач курсу 18, призначений для визначення курсу рухомого або нерухомого об'єкта. Курс K визначається в діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 360^\circ$. Курс K дорівнює куту поміж напрямком горизонтальної складовою магнітного поля Землі $N_m S_m$ і напрямком подовжньої осі об'єкта. Курс K відраховується по часовій стрілці від напрямку $N_m S_m$.

У залежності від квадранта курс K визначається відповідно з формулами

$K = \alpha - \gamma$ у I квадранті, $[0^\circ \leq K \leq 90^\circ]$;

$K = 180 - \alpha - \gamma$ у II квадранті, $[90^\circ < K \leq 180^\circ]$;

$K = 180 + \alpha - \gamma$ у III квадранті, $[180^\circ < K \leq 270^\circ]$;

$K = 360 - \alpha - \gamma$ у IV квадранті, $[270^\circ < K < 360^\circ]$;

де

$$\alpha = \arccos \frac{y}{r} = \arccos \frac{V_y}{V_x} = \arccos \frac{V_y}{\sqrt{(V_x^2 + V_y^2)}}$$

де: V_x , V_y - ортогональні компоненти горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі.

Система відліку кутів наведена на фіг. 5. На фіг.6 наведено один із варіантів побудови обчислювача курсу 18. Обчислювач курсу 18 складається з трьох постійних запам'ятовувачих пристроїв (ПЗП) 181, 182, 183, схем 184 - 187, схеми АБО 188, багатовходових схем АБО 189, 190, підсумовувача 191, блока віднімання 192, багатовходової схеми АБО 193, елемента затримки 194, багатовходових схем 195, 196.

Блок 181,182,183 - постійний запам'ятовувачий пристрій (ПЗП), є стандартним пристроєм цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути застосована мікросхема 573РФ1.

Блок 184 - 187 - схема I, є стандартним елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути застосована мікросхема 155ЛА3.

Блок 188 - схема АБО, є стандартним елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути застосована мікросхема 155ЛА3.

Блок 189,190 - багатовходовою схема АБО, є стандартним елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути застосована мікросхема 155ЛА3.

Блок 191 - підсумовувач, є типовим пристроєм цифрової техніки, наприклад, [5]. Може бути застосована мікросхема ЛАЗ.

Блок 192 - блок віднімання, є типовим пристроєм цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути застосована мікросхема ЛАЗ.

Блок 193 - багатовходова схема АБО, є стандартним елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути застосована мікросхема 155ЛА3.

Блок 194 - елемент затримки, є стандартним елементом цифрової техніки, наприклад, [6]. Може бути застосована мікросхема 155ЛА3.

Блок 195, 196 - багатовходова схема І, є стандартним елементом цифрової техніки, наприклад, [8]. Може бути застосована мікросхема 155ЛА3.

Робота обчислювача курсу 18 виконується таким чином. Сигналом початкової установки ПУ, який надходить на шостий вхід (вхід початкової установки ПУ) обчислювача курсу 18, установлюються в початковий стан підсумовувач 191 і блок віднімання 192. При надходженні керуючого сигналу $I_{\text{кв}}$ на перший вхід і керуючого сигналу Кер.3 на сьомий вхід обчислювача курсу 18 спрацьовують схема І 184 і ПЗП 181. З виходу ПЗП 181 надходить код кута 0° , котрий через багатовходову схему АБО 189 надходить на перший вхід підсумовувача 191, на другий вхід якого надходить поточне значення кута α з п'ятого входу обчислювача курсу 18. По керуючому сигналу, який надходить з виходу елемента затримки 194 на третій (керуючий) вхід підсумовувача 191, виконується підсумування кодів "0" і " α ", результат підсумування код $K = \alpha$ через багатовходову схему АБО 193 надходить на вихід обчислювача курсу 18.

При надходженні керуючого сигналу $II_{\text{кв}}$ на другий керуючий вхід і керуючого сигналу Кер.3 на сьомий вхід обчислювача курсу 18 спрацьовують схема І 185 схема АБО 188, ПЗП 182. З виходу ПЗП 182 код кута 180° через багатовходову схему І 195 і багатовходову схему АБО 190 надходить на перший вхід (вхід зменшувемого) блока віднімання 192, на другий вхід (вхід від'ємника) якого надходить поточне значення кута α з п'ятого входу обчислювача курсу 18. По керуючому сигналу, який надходить з виходу елемента затримки 194 на третій (керуючий) вхід підсумовувача 192, виконується віднімання з коду 180° коду " α " і результат віднімання $K = 180^\circ - \alpha$ через багатовходову схему АБО 193 надходить на вихід обчислювача курсу 18.

При надходженні керуючого сигналу $III_{\text{кв}}$ на третій вхід і керуючого сигналу Кер.3 на сьомий вхід обчислювача курсу 18 спрацьовують схема І 186, схема АБО 188, ПЗП 182. З виходу ГОП 182 надходить код кута 180° , котрий через багатовходову схему АБО 196, багатовходову схему АБО 189 надходить на перший вхід підсумовувача 191, на другий вхід якого надходить поточне значення кута α з п'ятого входу обчислювача курсу 18. По керуючому сигналу, який надходить з виходу елемента затримки 194 на третій керуючий вхід підсумовувача 191, виконується підсумування кодів " 180° " і " α ". Результат підсумування код $K = 180^\circ + \alpha$ через багатовходову схему АБО 193 надходить на вихід обчислювача курсу 18.

При надходженні керуючого сигналу $IV_{\text{кв}}$ на четвертий керуючий вхід і керуючого сигналу Кер.3

на сьомий вхід обчислювача курсу 18 спрацьовують схема І 187, ПЗП 183. З виходу ПЗП 183 код кута 360° , через багатовходову схему АБО 190 надходить на перший вхід (вхід зменшувемого) блока віднімання 192, на другий вхід (вхід від'ємника) якого надходить поточне значення кута α з п'ятого входу обчислювача курсу 18. По керуючому сигналу, який надходить з виходу елемента затримки 194 на третій керуючий вхід підсумовувача 192, виконується віднімання з коду 360° коду " α ". Результат віднімання код $K = 360^\circ - \alpha$ через багатовходову схему АБО 193 надходить на вихід обчислювача курсу 18.

Блок 19 (див. фіг.1) - пристрій індикації є загальновідомим типовим пристроєм радіонавігаційних та радіолокаційних систем, наприклад, [13]. Пристрій індикації призначений для подання інформації у вигляді, зручному для оператора. Інформація може поступати на пристрій індикації безпосередньо з виходу давача Холла. Якщо швидкість надходження інформації настільки висока, що оператор не встигає слідувати за нею, то використовуються пристрої знімання та оброблення інформації. У цьому випадку на пристрій індикації поступає узагальнена інформація. Найбільш розповсюдженою формою подання навігаційної та радіолокаційної інформації є візуальна, що здійснюється з використанням електронно-променевих трубок та знакових табло.

Сигналом початкової установки ПУ, який надходить з першого виходу 21 блока керування 20, пристрій індикації установлюється в початковий стан. Після надходження паралельного коду курсу К з обчислювача курсу 18 значення курсу К відображається на знаковому табло пристрою індикації 19.

Блок 20 (див.фіг.1) - формувач керуючих сигналів 20 формує керуючі сигнали, які синхронізують роботу всього електронного компасу. Блок 20 може складатися з послідовно з'єднаних генератора імпульсів, лічильника і дешифратора. На фіг.7 наведена блок схема формувача керуючих сигналів 20, на фіг.2 наведені часові діаграми роботи формувача керуючих сигналів 20.

Блок 20 складається з генератора імпульсів 201, лічильника 202 і дешифратора 203.

Блок 201 - генератор імпульсів, блок 202 - лічильник, блок 203 - дешифратор, є типовими елементами цифрової техніки, наприклад, [8]. Можуть бути використані мікросхеми відповідно мультівібратор 224ГГ2, 155ІЕ2, 155ІД1.

Формувач керуючих сигналів 20 працює таким чином. Сигнали генератора імпульсів 201 підраховуються лічильником 202. З виходу лічильника 202 паралельний код надходить на дешифратор 203. На першому, другому, третьому, четвертому, п'ятому, шостому виходах дешифратора 203 формуються відповідно сигнали початкової установки ПУ, імпульс запуску Імп.запуску, перший, другий, третій, четвертий керуючі сигнали Кер.1, Кер.2, Кер.3, Кер.4, які надходять відповідно на перший вихід 21, другий вихід 22, третій вихід 23, четвертий вихід 24, п'ятий вихід 25 і шостий вихід 26 формувача керуючих сигналів 20.

Робота електронного компасу виконується таким чином. Сигналом початкової установки ПУ,

який надходить з першого виходу 21 формувача керуючих сигналів 20, установлюються в початковий (нульовий) стан пристрої з запам'ятовуванням: вимірювача модуля 14, пристрій ділення 15, обчислювач курсу 18, пристрій індикації 19.

На електронний компас, який установлюється на рухомій платформі діє магнітне поле Землі. Рухомі платформи можуть переміщуватися на водній поверхні (кораблі, катера, яхти, лодки), у повітряному просторі (літаки, вертольоти, повітряні кулі), на земній поверхні (машини, танки). В залежності від курсу K платформи, який може змінюватися в діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 360^\circ$, на холлівських виходах давачів Холла 1, 2 виробляються сигнали

$$u_1' = k_1 S l_0 B_r \cos K,$$

$$u_2' = k_1 S l_0 B_r \sin K,$$

коли платформа стабілізована відносно горизонту;

$$u_1'' = k_1 S l_0 B_r \cos K \cos \theta + k_1 S l_0 B_B \cos K \sin \theta;$$

$$u_2'' = k_1 S l_0 B_r \cos K \cos \psi + k_1 S l_0 B_B \cos K \sin \psi;$$

коли платформа нестабілізована відносно горизонту;

де k_1 - коефіцієнт перетворення давачів Холла 1, 2;

S - чутливість до індукції давачів Холла 1, 2;

l_0 - струм живлення давачів Холла 1, 2;

B_r - горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі;

B_B - вертикальна складова індукції магнітного поля Землі;

θ - кут кілевої качки, коли платформа знаходиться на водній поверхні;

кут тангажа, коли платформа знаходиться у повітряному просторі;

кут відхилення від горизонту на земній поверхні у напрямку руху платформи;

ψ - кут бортової качки, коли платформа знаходиться на водній поверхні;

кут крену, коли платформа знаходиться у повітряному просторі;

кут відхилення від горизонту у напрямку, перпендикулярному руху (курсу) платформи.

Вихідні сигнали давачів Холла 1, 2 u_1' , u_2' (u_1'' , u_2'') підсилюються підсилювачами 4, 5 до необхідного рівня і з виходів підсилювачів 4, 5 вихідні сигнали u_3' (u_3''); u_4' (u_4'').

$$u_3' = k_1 k_2 S l_0 \cos K,$$

$$u_4' = k_1 k_2 S l_0 \sin K,$$

$$u_3'' = k_1 k_2 S l_0 B_r \cos \theta + k_1 k_2 S l_0 B_B \cos K \cos \theta;$$

$$u_4'' = k_1 k_2 S l_0 B_r \sin \psi + k_1 k_2 S l_0 B_B \sin K \sin \psi;$$

де k_1 - коефіцієнт перетворення підсилювачів 4, 5 надходять відповідно на перетворювачі "напруга - код" 6, 7; формувачі знака 8, 9.

По сигналу Імп. запуску, який надходить з другого виходу 22 формувача керуючих сигналів 20, перетворювачі "напруга - код" 6, 7 забезпечують перетворення аналогових сигналів u_3' (u_3'' , u_3') і u_4' (u_4'' , u_4') у цифровий паралельний код, пропорційний ортогональним компонентам B_y , B_x горизонтальної складової індукції B_r магнітного поля Землі. Вихідні сигнали перетворювачів "напруга-код" 6, 7 B_y і B_x у вигляді паралельного цифрового коду надходять відповідно на перший і другий входи вимірювача модуля 14. Після надходження керуючого сигналу Кер.1 з третього виходу 23 формувача

керуючих сигналів 20, вимірювач модуля 14 визначає модуль індукції горизонтальної складової B_r магнітного поля Землі згідно рівняння

$$B_r = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2)}.$$

Вихідний сигнал вимірювача модуля 14 $B_r = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2)}$ у вигляді цифрового паралельного коду надходить на другий вхід (вхід дільника) пристрою ділення 15, на перший вхід (вхід діленого) якого надходить сигнал B_y з першого перетворювача "напруга-код" 6 у вигляді паралельного цифрового коду.

Після надходження керуючого сигналу Кер.2 з четвертого виходу 24 формувача керуючих сигналів 20 пристрій ділення 15 виконує операцію ді-

лення коду B_y на код $B_r = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2)}$. Результат

ділення коду B_y на код $B_r = \sqrt{(B_x^2 + B_y^2)}$, який дорі-

внює $\frac{B_y}{\sqrt{(B_x^2 + B_y^2)}}$ у вигляді паралельного цифрового коду надходить на дешифратор 16, на виході якого виробляються N керуючих сигналів в залежності від розрядності коду $\cos \alpha$. Керуючі сигнали з дешифратора 16 надходять на функціональний перетворювач 17, в якому забезпечується перетворення величини $\cos \alpha$ по відповідним керуючим

сигналам у величину $\alpha = \arccos \frac{B_y}{B_x}$, яка змінюється в діапазоні кутів $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$. Вихідний сигнал функціонального перетворювача 17 у вигляді паралельного цифрового коду надходить на п'ятий вхід обчислювача курсу 18.

Визначення значення курсу K в діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 360^\circ$ виконується таким чином.

Знак вихідного сигналу підсилювачів 4, 5 однозначно залежить від знаку вихідного сигналу давачів Холла 1, 2 і напрямку магнітної індукції $B_r(B_y, B_x)$ відносно давачів Холла 1, 2. Напрямок магнітної індукції відносно давачів Холла змінюється в залежності від курсу K об'єкта, який дорівнює куту поміж напрямком горизонтальної складової магнітного поля Землі $N_m S_m$ і напрямком подовжньої осі об'єкта. Курс K відраховується по часовій стрілці від напрямку $N_m S_m$. В залежності від значення курсу K змінюється знак вихідних напруг u_1 , u_2 на виході давачів Холла 1, 2; відповідно на виході підсилювачів 4, 5, u_3 , u_4 , який однозначно залежить від напрямку магнітної індукції $B_r(B_y, B_x)$; де B_x , B_y - ортогональні компоненти горизонтальної складової B_r магнітного поля Землі.

Вихідний сигнал u_1 першого давача Холла має знак "+", коли курс K змінюється в діапазоні кутів $270^\circ \leq K \leq 90^\circ$ і знак "-", коли курс K змінюється в діапазоні кутів $90^\circ \leq K \leq 270^\circ$.

Вихідний сигнал u_2 другого давача Холла 2 має знак "+", коли курс K змінюється в діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 180^\circ$ і знак "-", в діапазоні кутів $180^\circ \leq K \leq 360^\circ$.

Формувач знака 8 в залежності від знака напруги u_3 і опорної напруги, які надходять відповідно на перший і другий входи, формує керуючі сиг-

нали "+" і "-" відповідно на першому і другому керуючих виходах.

Формувач знака 9 в залежності від знака напруги u_4 і опорної напруги, які надходять відповідно на перший і другий входи, формує керуючі сигнали "+" і "-" відповідно на першому і другому керуючих виходах.

Керуючі сигнали "+", "-" відповідно з формувачів знака 8, 9 надходять на схеми I 10 - 13, які виробляють керуючі сигнали I_{KB} , II_{KB} , III_{KB} , IV_{KB} , які відповідають номеру квадранта. Номер квадранта відраховується від напрямку $N_m S_m$ по часовій стрілці. У першому квадранті вихідний сигнал u_1 першого давача Холла 1 має знак "+", вихідний сигнал u_2 другого давача Холла 2 має знак "+".

У другому квадранті вихідний сигнал u_1 першого давача Холла 1 має знак "-", вихідний сигнал u_2 другого давача Холла 2 має знак "+".

У третьому квадранті вихідний сигнал u_1 першого давача Холла 1 має знак "-", вихідний сигнал u_2 другого давача Холла 2 має знак "-".

У четвертому квадранті вихідний сигнал u_1 першого давача Холла 1 має знак "+", вихідний сигнал u_2 другого давача Холла 2 має знак "-".

В залежності від курсу K : у першому квадранті $0^\circ \leq K \leq 90^\circ$,

у другому квадранті $90^\circ \leq K \leq 180^\circ$,

у третьому квадранті $180^\circ \leq K \leq 270^\circ$,

у четвертому квадранті $270^\circ \leq K \leq 360^\circ$

на виходах схем I 10 - 13 формуються відповідно керуючі сигнали I_{KB} , II_{KB} , III_{KB} , IV_{KB} , які надходять відповідно на перший, другий, третій, четвертий входи обчислювача курсу 18.

Після надходження керуючого сигналу I_{KB} і керуючого сигналу Кер.3 з п'ятого виходу 25 формувача керуючих сигналів 20 обчислювач курсу 18 виробляє значення курсу, яке дорівнює $K = \alpha$ з і яке у вигляді паралельного цифрового коду з виходу обчислювача курсу 18 надходить на вхід пристрою індикації 19.

Після надходження керуючого сигналу II_{KB} і керуючого сигналу Кер.3 з п'ятого виходу 25 формувача керуючих сигналів 20 обчислювач курсу 18 виробляє значення курсу, яке дорівнює $K = 180^\circ - \alpha$.

Після надходження керуючого сигналу III_{KB} і керуючого сигналу Кер.3 з п'ятого виходу 25 формувача керуючих сигналів 20, обчислювач курсу 18 виробляє значення курсу, яке дорівнює $K = 180^\circ + \alpha$.

Після надходження керуючого сигналу IV_{KB} і керуючого сигналу Кер.3 з п'ятого виходу 25 формувача керуючих сигналів 20, обчислювач курсу 18 виробляє значення курсу, яке дорівнює $K = 360^\circ - \alpha$.

Після надходження керуючого сигналу Кер.4 з шостого виходу 26 формувача керуючих сигналів 20, пристрій індикації 19 забезпечує відображення значення курсу K у вигляді цифрового десятичного коду.

Об'єкт, що заявляється має переваги перед прототипом. Пристрій забезпечує розширення області використання. Електронний компас забезпечує високу надійність роботи за рахунок спрощення механічної конструкції і відмови від механічних рухомих і обертаючих елементів.

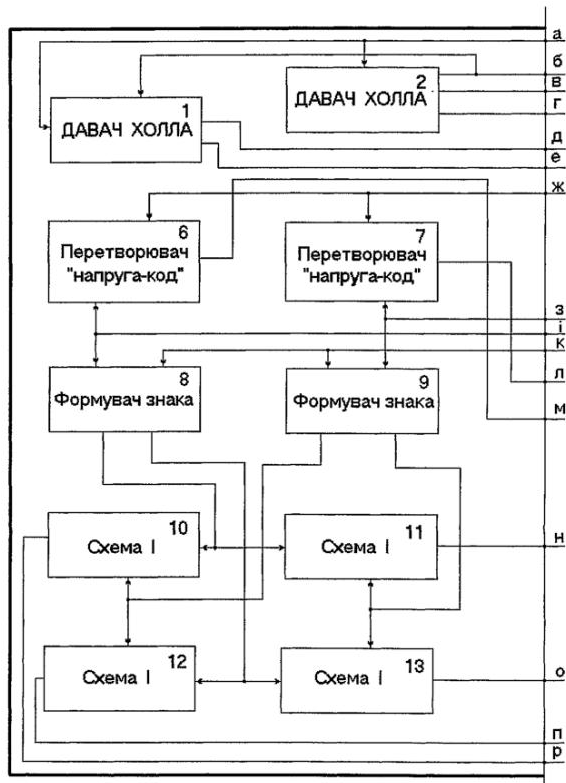
Електронний компас забезпечує вимірювання поточних значень курсу об'єкта в діапазоні кутів $0^\circ \leq K \leq 360^\circ$.

Електронний компас забезпечує високу точність вимірювання курсу об'єктів, які переміщуються на водній поверхні, у повітряному просторі, на земній поверхні.

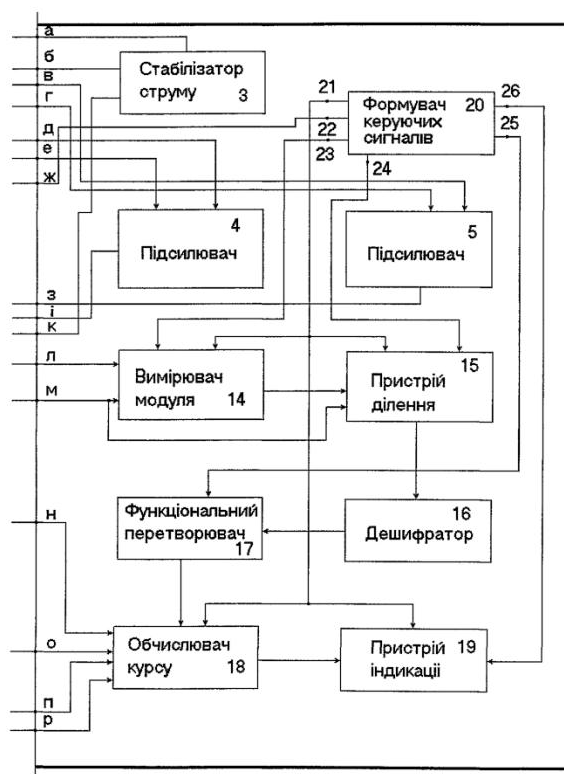
На державному підприємстві "Фінмаш" спільно з ІЕД НАН України виготовлено елементи макета електронного компасу. Технічна документація виготовлена на рівні ескізних креслень, які дозволяють відтворити запропонований електронний компас.

Література:

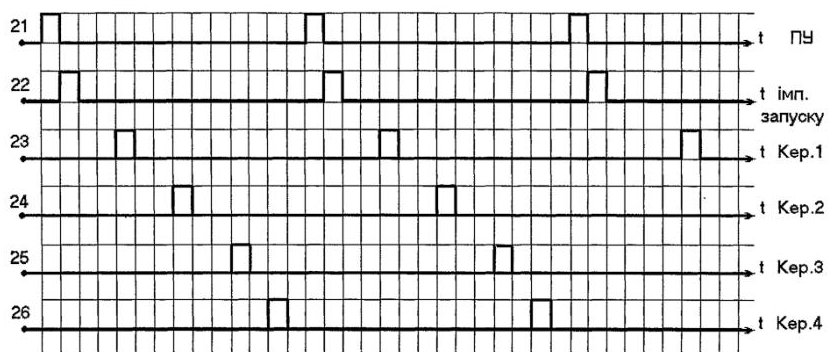
1. Помыкаев И.И., Селезнев В.П., Дмитроченко Л.А. Навигационные приборы и системы. «Машиностроение», — М., 1983. — 454 стр.
2. Селезнев В.П. Навигационные устройства. Государственное научно-техническое изд-во «Оборонгаз», — М., 1961, — 615 стр.
3. J.M. Ross, E.W. Saker and N. A.C. Thompson. The Hall-effect compass, Journal of Scientific Instruments, vol.34, 1957, p.479 - 484.
4. Богомолов В.И. Устройства с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления. М.: Л., 1961.
5. Таранов С.Г. Самонастраивающиеся приборы. Киев. Наукова Думка, — 1981.
6. Мелешко Е.А. Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике, — Изд. 2-е, доп. — М.: Атомиздат, — 1978. — 216 с.
7. Хлистунов В.Н. Основы цифровой электроизмерительной техники и цифровые преобразователи. М.: Л, Энергия, — 1966.
8. Ричардс Р.К. Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах. — М.: ИЛ., 1957. — 458 с.
9. Чигирин Ю.Т. и др. Устройство возведения в степень. Авторское свидетельство СССР № 1076901, БИ №6, 1984, 6 стр.
10. Чигирин Ю.Т. и др. Устройство возведения в квадрат и извлечения квадратного корня. Авторское свидетельство СССР № 1133593, БИ №1, 1985, 6 стр.
11. Чигирин Ю.Т. и др. Делительное устройство. Авторское свидетельство СССР № 342.187 БИ № 19, 1972.
12. Букреев И.Н., Мансуров В.Ю., Горячев В.Н. Микроэлектронные схемы цифровых устройств, "Советское радио", — М., 1975, — 368 стр.
13. М.Сколник. Введение в технику радиолокационных систем. Изд-во "Мир", — М., 1965. — 8, 10 Индикаторы, стр.475 - 480.



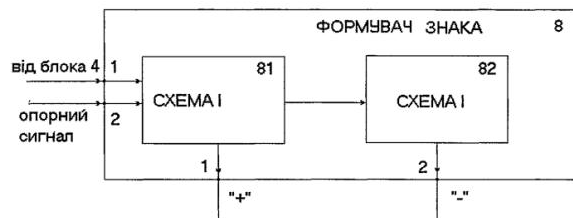
Фіг. 1а



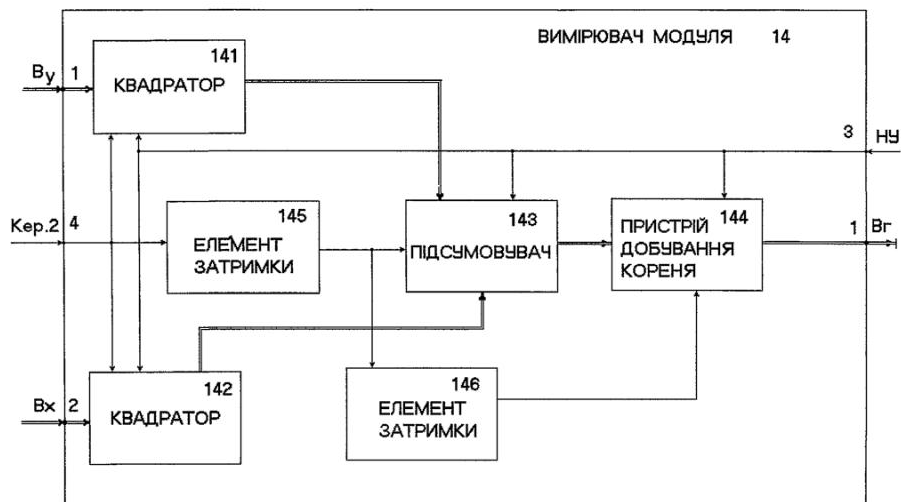
Фіг. 1б



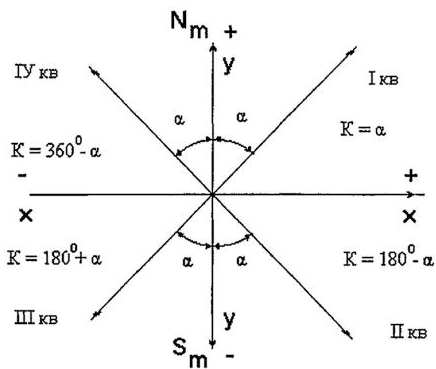
Фіг. 2



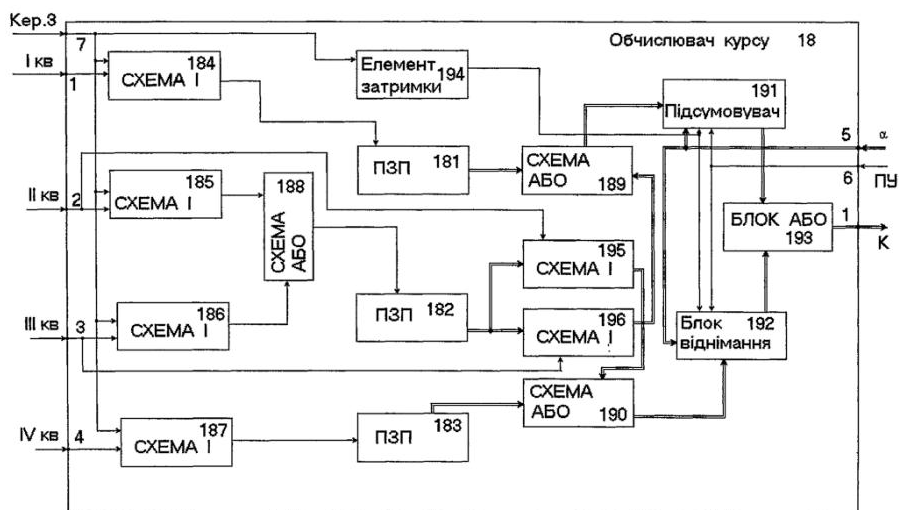
Фіг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

