



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **107019** (13) **C2**
(51) МПК (2014.01)
H01Q 23/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2012 14547	(72) Винахідник(и): Ільницький Людвіг Якович (UA), Щербина Ольга Алімівна (UA), Сібрук Леонід Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.12.2012	
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.11.2014	
(41) Публікація відомостей про заяву: 25.06.2014, Бюл.№ 12	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, пр. Комарова, 1, м. Київ, 03680 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.11.2014, Бюл.№ 21	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 73443 C2; 15.07.2005 UA 70876 U; 25.06.2012 RU 2385467 C1; 27.03.2010 JPH 09288169 A; 04.11.1997 CN 101483280 A; 15.07.2009 US 2004085933 A1; 06.05.2004 RU 2410707 C2; 27.02.2011

(54) П'ЯТИЕЛЕМЕНТНА ВИМІРЮВАЛЬНА АНТЕННА СИСТЕМА

(57) Реферат:

П'ятиелементна вимірювальна антенна система належить до радіотехніки і мобільної системи зв'язку. Антенна система містить п'ять активних вібраторів, до виходів яких підключені відповідно перші входи комутаторів, на другі входи яких підключено перший вихід процесора, а на треті входи яких приєднано вихід блока формування напруг. Виходи комутаторів підключено відповідно до перших входів конверторів, на другі входи яких підключено вихід генератора. Виходи конверторів приєднано відповідно до перших входів перетворювачів частоти, на другі входи яких підключено вихід гетеродина; виходи перетворювачів частоти відповідно приєднано до входів підсилювачів проміжної частоти. Вихід першого підсилювача проміжної частоти підключено до першого входу блока детекторів і до перших входів різницево/підсумовуючих схем; виходи другого, третього, четвертого та п'ятого підсилювачів проміжної частоти приєднано відповідно до перших входів першого, другого, третього та четвертого амплітудно-фазових коректорів, на другі входи яких підключено третій вихід процесора. Виходи амплітудно-фазових коректорів приєднано відповідно до четвертого, сьомого, десятого та тринадцятого входів блока детекторів та до других входів різницево/підсумовуючих схем, перші виходи яких приєднані відповідно до другого, п'ятого, восьмого та одинадцятого входів блока детекторів, а другі виходи яких приєднані відповідно до третього, шостого, дев'ятого та дванадцятого входів блока детекторів. Виходи блока детекторів підключені до входів процесора, другий вихід якого приєднано до входу пристрою індикації та реєстрації результатів вимірювань, четвертий вихід процесора приєднано до входу гетеродина, п'ятий вихід процесора підключено до першого входу блока формування напруг та до входу генератора контролю коефіцієнтів передач, вихід якого приєднано до другого входу блока формування напруг. Технічним результатом є підвищення оперативності вимірювання напрямку приходу хвилі і параметрів поляризації, що дозволяє збільшити швидкість вимірювання параметрів поля і не вимагає механічного налаштування антени на напрям приходу хвилі.

UA 107019 C2

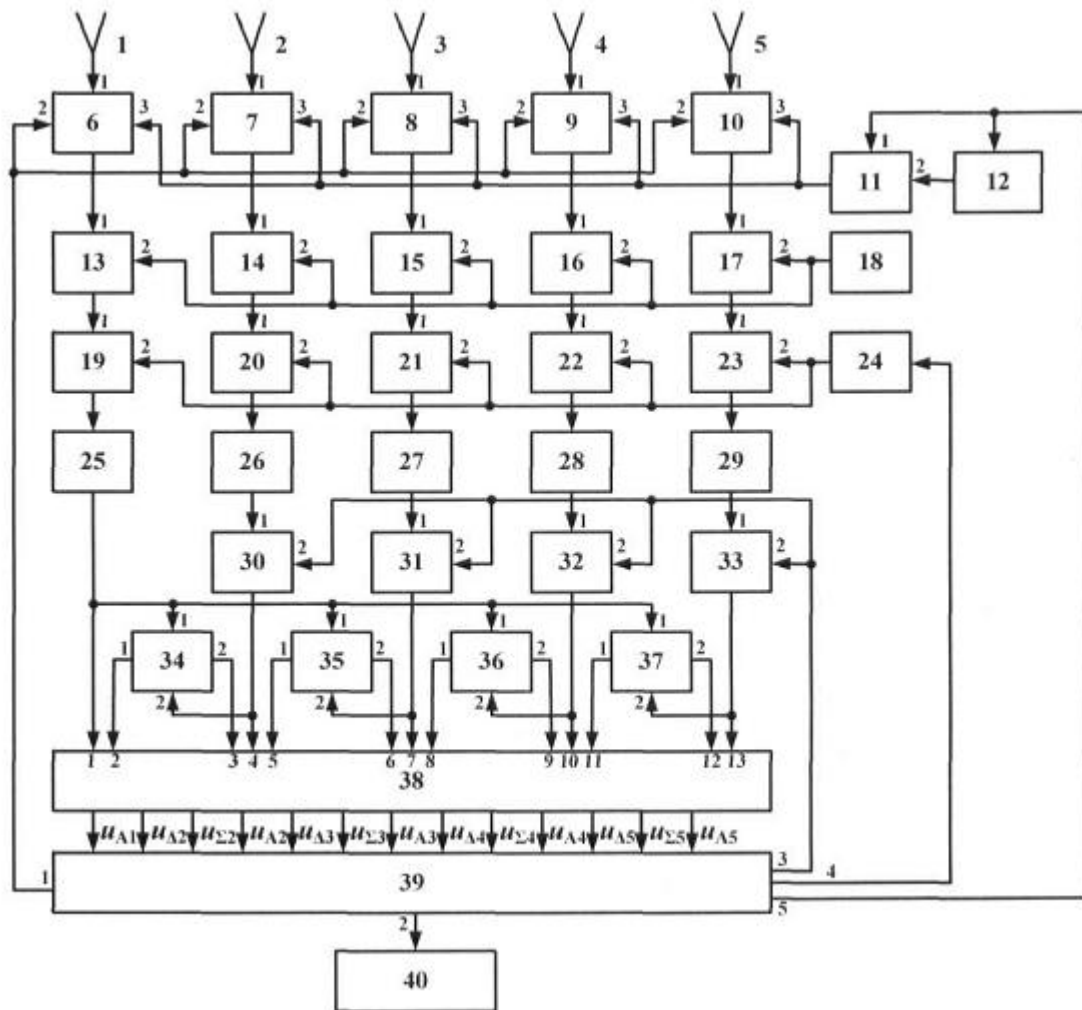


Fig. 2

Винахід належить до галузі радіотехніки і може бути використаний для вимірювання напруженості електричного поля, напряму на джерело випромінювання (пеленгації джерела випромінювання) та параметрів поляризації електромагнітних хвиль, використовуючи мобільні об'єкти.

Відома самофокусовна антена з адаптивною поляризацією антена [1], що складається з чотирьох симетричних вібраторів антенної решітки, чотири змішувачі, гетеродин, чотири підсилювачі проміжної частоти, три фазообертачі, чотири атенюатори, три суматори, процесор.

Недоліком такої антени є відсутність визначення параметрів поляризації хвилі, що досліджується, а також наявність фазообертачів, що ускладнює реалізацію антени.

З відомих антенних систем найбільш близьким за технічною суттю є автоматизований вимірювальний комплекс для радіомоніторингу електромагнітного поля [2], що містить вимірювальну антену, яка складається з чотирьох лінійних вібраторів антенної решітки, чотири перемикачі режимів роботи, два перемикачі каналів, два комутатори елементів антенної решітки, автоматично керований атенюатор, гетеродин, змішувач, підсилювач проміжної частоти, генератор сигналів, роз'єднувач трактів елементів антенної решітки, фазообертачі, три детектори, підсилювач-обмежувач, відокремлювач каналів, вимірювач фази, лінія затримки, формувач сигналів керування, два роздільники каналів, два суматори, процесор, дисплей, принтер.

Недоліком такої антени є неоднозначність визначення напрямку приходу хвилі за азимутальним кутом, відсутність врахування меридіонального кута та наявність елементів (фазообертач, вимірювач фази), що ускладнює реалізацію.

Задачею винаходу є підвищення оперативності вимірювання напрямку приходу хвилі і параметрів поляризації.

Це дозволяє збільшити швидкість вимірювання параметрів поля і не вимагає механічного налаштування антени на напрям приходу хвилі.

Поставлена задача вирішується тим, що до виходів активних вібраторів, згідно з винаходом, підключені відповідно перші входи комутаторів, на другі входи яких підключено перший вихід процесора, а на треті входи яких приєднано вихід блока формування напруг; виходи комутаторів підключено відповідно до перших входів конверторів, на другі входи яких підключено вихід генератора; виходи конверторів приєднано відповідно до перших входів перетворювачів частоти, на другі входи яких підключено вихід гетеродина; виходи перетворювачів частоти відповідно приєднано до входів підсилювачів проміжної частоти; вихід першого підсилювача проміжної частоти підключено до першого входу блока детекторів і до перших входів різницево/підсумовуючих схем; виходи другого, третього, четвертого та п'ятого підсилювачів проміжної частоти приєднано відповідно до перших входів першого, другого, третього та четвертого амплітудно-фазових коректорів, на другі входи яких підключено третій вихід процесора; виходи амплітудно-фазових коректорів приєднано відповідно до четвертого, сьомого, десятого та тринадцятого входів блока детекторів та до других входів різницево/підсумовуючих схем, перші виходи яких приєднані відповідно до другого, п'ятого, восьмого та одинадцятого входів блока детекторів, а другі виходи яких приєднані відповідно до третього, шостого, дев'ятого та дванадцятого входів блока детекторів; виходи блоку детекторів підключені до входів процесору, другий вихід якого приєднано до входу пристрою індикації та реєстрації результатів вимірювань, четвертий вихід процесору приєднано до входу гетеродина, п'ятий вихід процесору підключено до першого входу блока формування напруг та до входу генератора контролю коефіцієнтів передач, вихід якого приєднано до другого входу блока формування напруг.

На фігурі 1 зображена конструктивна схема розміщення вібраторів п'ятиелементної вимірювальної антенної системи. На фігурі 2 зображена структурна схема п'ятиелементної вимірювальної антенної системи.

П'ятиелементна вимірювальна антенна система містить п'ять активних вібраторів 1-5, п'ять комутаторів 6-10, блок формування напруг 11, генератор контролю коефіцієнтів передач 12, п'ять конверторів 13-17, генератор 18, п'ять перетворювачів частоти 19-23, гетеродин 24, п'ять підсилювачів проміжної частоти 25-29, чотири амплітудно-фазові коректори 30-33, чотири різницево/підсумовуючі схеми 34-37, блок детекторів 38, процесор 39, пристрій індикації та реєстрації результатів вимірювань 40.

П'ятиелементна вимірювальна антенна система працює таким чином.

Конструктивно антена складається з п'яти активних вібраторів 1-5. Активні частини вібраторів розміщуються в контейнері, який кріпиться за допомогою траверси до щогли. Живлення вібраторам 1-5 підводиться кабелем, прокладеним всередині траверси.

Оскільки металеві стержні вібраторів 1-5 дуже короткі, то характеристики напрямленості записуються так

$$\left. \begin{aligned} F_1(\theta) &= F_4(\theta) = \sin \theta; \\ F_2(\theta, \varphi) &= F_5(\theta, \varphi) = \sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}; \\ F_3(\theta, \varphi) &= \sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi}; \end{aligned} \right\}$$

- де θ - меридіональний кут (відраховується від осі, на якій знаходяться вібратори 1 та 4); φ - азимутальний кут (відраховується від осі, що проходить через вісь стержня 3).

Активні вібратори 1-5 працюють в режимі приймання електромагнітних хвиль і на їх затискачах наводяться електрорушійні сили (ЕРС) $\dot{\varepsilon}_{A1}, \dots, \dot{\varepsilon}_{A5}$, які визначаються так

$$\left. \begin{aligned} \dot{\varepsilon}_{A1} &= I_d \dot{E}_{\max}^{\theta} \sin \theta; \\ \dot{\varepsilon}_{A2} &= I_d \left[-\cos \theta \sin \varphi \dot{E}_{\max}^{\theta} - \cos \varphi \dot{E}_{\max}^{\varphi} e^{i\psi} \right] \\ \dot{\varepsilon}_{A3} &= I_d \left[-\cos \theta \cos \varphi \dot{E}_{\max}^{\theta} + \sin \varphi \dot{E}_{\max}^{\varphi} e^{i\psi} \right] \\ \dot{\varepsilon}_{A4} &= I_d \dot{E}_{\max}^{\theta} \sin \theta e^{-ikd \cos \theta} = \dot{\varepsilon}_{A1} e^{-ikd \cos \theta}; \\ \dot{\varepsilon}_{A5} &= I_d \left[-\cos \theta \sin \varphi \dot{E}_{\max}^{\theta} - \cos \varphi \dot{E}_{\max}^{\varphi} e^{i\psi} \right] e^{-ikd \sin \varphi} = \dot{\varepsilon}_{A2} e^{-ikd \sin \varphi}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

- де I_d - діюча довжина (для всіх вібраторів 1-5 однакове значення); θ , φ - напрям падіння хвилі на антенну систему (початок сферичної системи збігається з центром антенної системи); E_{\max}^{θ} - комплексна амплітуда складової вектора напруженості електричного поля хвилі, що досліджується, в меридіональній довжині; $E_{\max}^{\varphi} e^{i\psi}$ - комплексна амплітуда складової вектора напруженості електричного поля в азимутальній площині і її фазовий зсув ψ відносно фази складової E_{\max}^{θ} ; d - відстань між вібраторами 1 і 4, або вібраторами 2 і 5; $k = 2\pi/\lambda$ - хвильове число.

У наведених виразах прийнято, що поляризація хвилі довільна і в лінійному ортогональному поляризаційному базисі досліджувана хвиля описується як

$$\left. \begin{aligned} E_{\theta}(t) &= E_{\max}^{\theta} \cos \omega t; \\ E_{\varphi}(t) &= E_{\max}^{\varphi} \cos(\omega t + \psi), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

тобто розглядається загальний випадок поляризації досліджуваного поля.

- Блок обробки сигналів повинен визначити однозначно величини E_{\max}^{θ} , E_{\max}^{φ} , фазовий кут ψ і напрям приходу хвилі (запеленгувати джерело випромінювання) θ і φ . Оскільки ЕРС (2) в реальних умовах мають невеликі рівні, то необхідно попередньо ці напруги підсилити.

- Для цього виходи вібраторів 1-5 через комутатори 6-10 з'єднуються з входами конверторів 13-17, які зсувають частоту прийнятих сигналів у більш придатний для обробки діапазон. При цьому не порушуються ні амплітудні, і фазові співвідношення, оскільки всі конвертори працюють від одного генератора 18. Конвертовані за частотою сигнали надходять до перетворювачів частоти 19-23, де також забезпечені умови збереження амплітудних і фазових співвідношень завдяки використанню одного для всіх перетворювачів гетеродина 24. Подальша обробка сигналів відбувається на проміжній частоті, що сприяє збереженню ідентичності коефіцієнтів передач каналів. З виходів перетворювачів частоти 19-23 сигнали надходять до підсилювачів проміжної частоти 25-29, де підсилюються до рівнів, які дають можливість з мінімальними похибками обчислювати необхідні параметри електромагнітного поля. Для компенсації можливих відхилень коефіцієнтів передач каналів від 2-го до 5-го від коефіцієнта передачі каналу 1 використовуються амплітудно-фазові коректори 30-33. Очевидно, що підсилені сигнали в кожному із п'яти каналів можна представити у вигляді $\dot{U}_1 = \alpha \dot{\varepsilon}_{A1}$; $\dot{U}_2 = \alpha \dot{\varepsilon}_{A2}$; $\dot{U}_3 = \alpha \dot{\varepsilon}_{A3}$; $\dot{U}_4 = \alpha \dot{\varepsilon}_{A4}$; $\dot{U}_5 = \alpha \dot{\varepsilon}_{A5}$, де α - коефіцієнт передачі каналів.

Високочастотні напруги безпосередньо надходять в блок амплітудних детекторів 38 і на виходи різницево/підсумовуючих схем 34-37, на виході яких утворюються напруги

$$\left. \begin{aligned} \dot{u}_{\Delta_2} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} - \dot{\epsilon}_{A_2}); \\ \dot{u}_{\Delta_3} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} - \dot{\epsilon}_{A_3}); \\ \dot{u}_{\Delta_4} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} - \dot{\epsilon}_{A_4}); \\ \dot{u}_{\Delta_5} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} - \dot{\epsilon}_{A_5}); \\ \dot{u}_{\Sigma_2} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} + \dot{\epsilon}_{A_2}); \\ \dot{u}_{\Sigma_3} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} + \dot{\epsilon}_{A_3}); \\ \dot{u}_{\Sigma_4} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} + \dot{\epsilon}_{A_4}); \\ \dot{u}_{\Sigma_5} &= \alpha(\dot{\epsilon}_{A_1} + \dot{\epsilon}_{A_5}); \end{aligned} \right\}$$

З виходів блока детекторів 38 отримуємо постійні напруги, що дорівнюють амплітудним значенням вихідних напруг всіх п'яти каналів і різницево-сумарних напруг (4), тобто $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_{\Delta_2}, u_{\Delta_3}, u_{\Delta_4}, u_{\Delta_5}, u_{\Sigma_2}, u_{\Sigma_3}, u_{\Sigma_4}$ і u_{Σ_5} . Постійні напруги надходять в процесор 39, який обчислює меридіональний кут θ напряму падіння радіохвилі за формулами

$$\theta = \arccos \left[\frac{2}{kd} \arctg \frac{u_{\Delta_4}}{u_{\Sigma_4}} \right] \quad (5)$$

або

$$\theta = \arccos \left[\frac{u_{\Sigma_4}^2 - u_{\Delta_4}^2}{4u_1 u_4} \right]. \quad (4)$$

Враховуючи те, що кут θ теоретично може змінюватися від 0 до π , будь-яка формула (5) або (6) однозначно відображає значення меридіонального кута.

За відомим меридіональним кутом θ та характеристиками напрямленості (1), процесор 39 обчислює меридіональну складову напруженості електричного поля

$$E_{\max}^{\theta} = \frac{u_1}{\alpha l_d \sin \theta}$$

Розраховується фазовий зсув між напругами \dot{u}_1 і \dot{u}_2 за формулою

$$x_2 = \arccos \left(\frac{u_{\Sigma_2}^2 - u_{\Delta_2}^2}{4u_1 u_2} \right) \quad (8)$$

та фазовий зсув між напругами \dot{u}_1 і \dot{u}_3

$$x_2 = \arccos \left(\frac{u_{\Sigma_3}^2 - u_{\Delta_3}^2}{4u_1 u_3} \right). \quad (9)$$

Оскільки азимутальний кут φ знаходиться в межах від 0 до 2π , то для однозначної оцінки кута φ використовуються одночасно дві формули з трьох наведених нижче

$$\varphi = \arctg \left(-\frac{u_3 \sin x_3}{u_2 \sin x_2} \right) \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi'' &= \arcsin \left[\frac{2}{kd} \arctg \frac{u_{\Delta_4}}{u_{\Sigma_5}} \right]; \\ \varphi'' &= \arccos \left(\frac{u_{\Sigma_5}^2 - u_{\Delta_5}^2}{4u_2 u_5} \right). \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Значення кута φ отримуємо в результаті таких логічних операцій:

якщо $\text{sign} \varphi' = \text{sign} \varphi'' = \text{sign} \varphi''' = +1$; то $\varphi = \varphi' = \varphi'' = \varphi'''$;

якщо $\text{sign} \varphi' = \text{sign} \varphi''' = -1, \text{sign} \varphi'' = +1$, то $\varphi = \pi - |\varphi'| = \pi - \varphi'' = \pi - |\varphi'''|$;

якщо $\text{sign} \varphi' = +1, \text{sign} \varphi'' = \text{sign} \varphi''' = -1$, то $\varphi = \pi + \varphi' = \pi + |\varphi''| = \pi + |\varphi'''|$;

і якщо $\text{sign} \varphi' = -1, \text{sign} \varphi'' < 1, \text{sign} \varphi''' = +1$, то $\varphi = 2\pi - |\varphi'| = 2\pi + |\varphi''| = 2\pi - |\varphi'''|$.

Однозначна оцінка кута φ дає можливість розрахувати допоміжні величини

$$\left. \begin{aligned} A &= -u_2 \frac{\cos x_2}{\cos \varphi} - \alpha \cos \theta \operatorname{tg} \varphi E_{\max}^{\theta} = \alpha \cos \psi E_{\max}^{\varphi}; \\ B &= -u_2 \frac{\cos x_2}{\cos \varphi} = \alpha \sin \psi E_{\max}^{\varphi}. \end{aligned} \right\} (12)$$

Отже, азимутальна складова напруженості електричного поля радіохвилі дорівнює

$$E_{\max}^{\varphi} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{A^2 + B^2}. (13)$$

Зсув фаз меридіональної і азимутальної складових вектора напруженості електричного поля, як впливає з виразу (13), дорівнює

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{B}{A}. (14)$$

Значення фазового зсуву уточнюємо за допомогою формули

$$\psi = \arccos \left[\frac{A}{\alpha E_{\max}^{\varphi}} \right] = \arccos \left[\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}} \right], (15)$$

Використовуючи результат обчислення за формулою (13). Результати обчислень дають оцінки напрямку приходу радіохвилі θ , φ , та значення напруженості поля E_{θ} , E_{φ} і ψ . Останні три величини дають можливість розрахувати такі параметри поляризації, як коефіцієнт еліптичності, кут нахилу поляризаційного еліпса та визначити напрям обертання поляризаційного еліпса (за знаком кута ψ).

Отримані результати обчислень виводяться з процесора 39 на пристрій індикації та реєстрації результатів вимірювань 40.

Для контролю і настройки каналів передачі використовується коло контролю. В режимі "контроль" процесор 39 вмикає генератор контролю коефіцієнтів передач 12, який генерує певний спектр гармонік. Блок формування напруг 11 встановлює за допомогою атенюаторів задані рівні входних напруг, які через комутатори 6-10 надходять на входи всіх п'яти каналів. Очевидно, що на виході блока детекторів 38 за умови ідентичності каналів виникають напруги $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = u_5$; $u_{\Delta_2} = 0$; $u_{\Delta_3} = 0$; $u_{\Delta_4} = 0$; $u_{\Delta_5} = 0$; $u_{\Sigma_2} = u_{\Sigma_3} = u_{\Sigma_4} = u_{\Sigma_5} = 2u_1$

Якщо ці рівняння не задовольняються, то процесор 39 виробляє команди для настройки блоків амплітудно-фазової корекції 34-37. Для спрощення програми управління амплітудно-фазовими коректорами 34-37 можна створювати в блоці формування напруг 11 контрольні напруги за формулами (2) і (3), використовуючи конкретно задані значення θ , φ , E_{θ} , E_{φ} і ψ . Тоді в процесорі 39 будуть порівнюватися обчислені і задані значення параметрів.

Джерела інформації:

1. Деклараційний патент на корисну модель Україна №109668, МПК⁶ H01Q23/00, 2005.
2. Патент на винахід Україна №73443, МПК⁶ G01R29/08, G01R29/10, 2005.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

П'ятиелементна вимірювальна антенна система, яка містить п'ять активних вібраторів, яка **відрізняється** тим, що до їх виходів підключені відповідно перші входи комутаторів, на другі входи яких підключено перший вихід процесора, а на треті входи яких приєднано вихід блока формування напруг, виходи комутаторів підключено відповідно до перших входів конверторів, на другі входи яких підключено вихід генератора, виходи конверторів приєднано відповідно до перших входів перетворювачів частоти, на другі входи яких підключено вихід гетеродина, виходи перетворювачів частоти відповідно приєднано до входів підсилювачів проміжної частоти, вихід першого підсилювача проміжної частоти підключено до першого входу блока детекторів і до перших входів різницево/підсумовуючих схем, виходи другого, третього, четвертого та п'ятого підсилювачів проміжної частоти приєднано відповідно до перших входів першого, другого, третього та четвертого амплітудно-фазових коректорів, на другі входи яких підключено третій вихід процесора, виходи амплітудно-фазових коректорів приєднано відповідно до четвертого, сьомого, десятого та тринадцятого входів блока детекторів та до других входів різницево/підсумовуючих схем, перші виходи яких приєднані відповідно до другого, п'ятого, восьмого та одинадцятого входів блока детекторів, а другі виходи яких приєднані відповідно до третього, шостого, дев'ятого та дванадцятого входів блока детекторів, виходи блока детекторів підключені до входів процесора, другий вихід якого приєднано до входу пристрою індикації та реєстрації результатів вимірювань, четвертий вихід процесора

приєднано до входу гетеродина, п'ятий вихід процесора підключено до першого входу блока формування напруг та до входу генератора контролю коефіцієнтів передач, вихід якого приєднано до другого входу блока формування напруг.

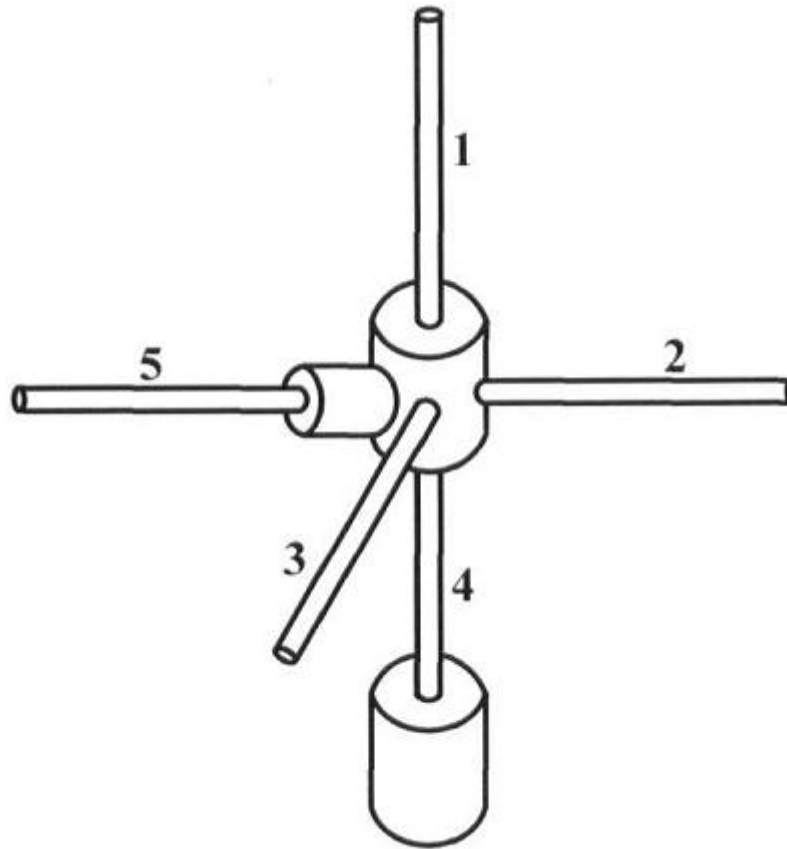


Fig. 1

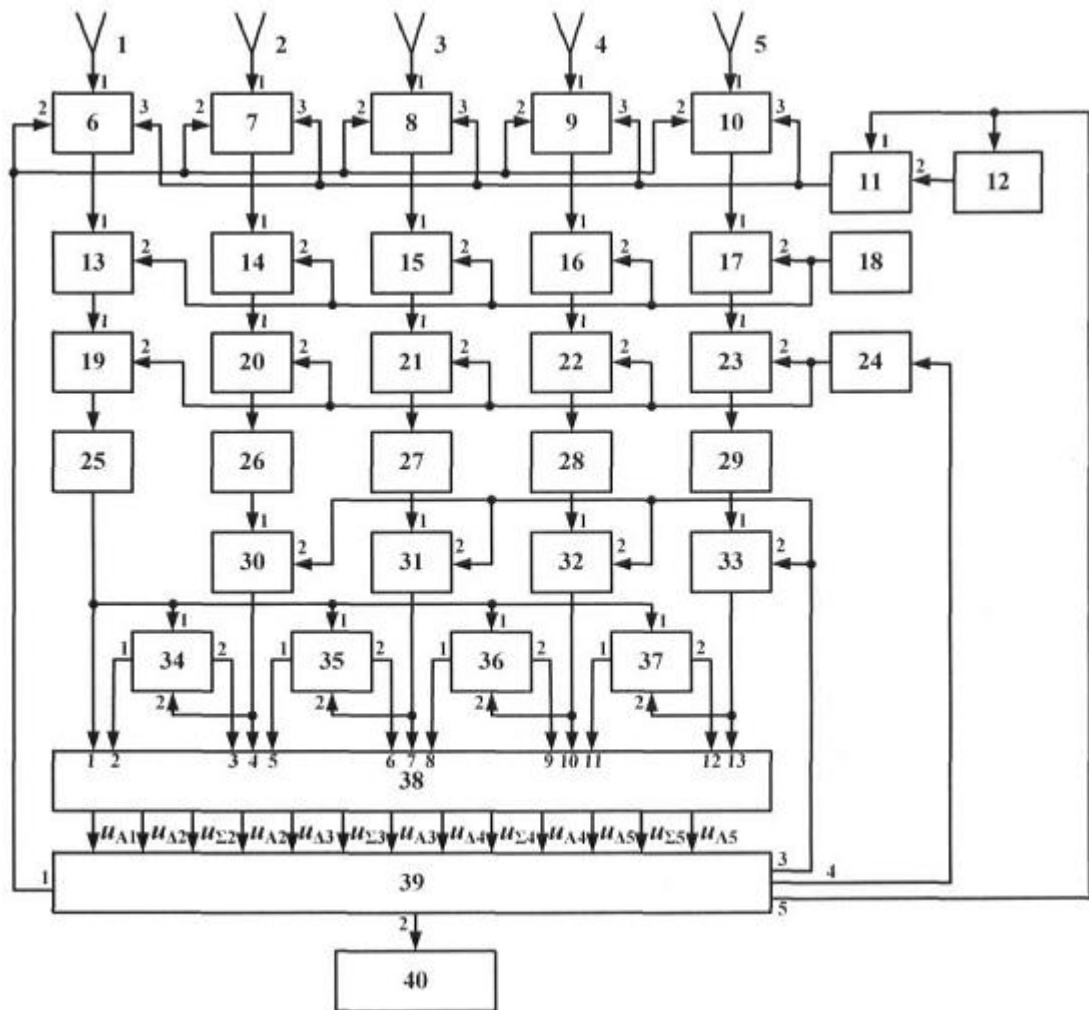


Fig. 2