

Винахід відноситься до галузі контрольно-вимірювальної техніки і може бути використаний при звіренні зразкових частот з метрологічною точністю.

Відомий пристрій для вимірювання короткочасної нестабільності частоти (див. А.С.Мароков, Г.И.Пашев "Вопросы радиоэлектроники" серия радиоизмерительной техники, вып. №2, 1970, стр.72) складається з фазового детектора, на один вхід якого поданий вихід опорного генератора, а на другий - вихід генератора, що досліджується. Вихід фазового детектора через підсилювач пов'язаний з аналізатором спектра.

Для отримання результатів вимірювань нестабільності частоти у часовій області за допомогою описаного пристрою необхідна обробка результатів вимірювань із застосуванням обчислювальної машини. Вказаний пристрій може вимірювати стисло часову нестабільність частоти за час не більший за $1,6 \cdot 10^{-2}$ с, що явно недостатньо для повної характеристики генераторів, що досліджуються, крім того, такий вимірювач досить дорогий, оскільки складається з аналізатора спектра, що дорого коштує.

За прототип править пристрій для вимірювання короткочасної нестабільності частоти, що містить послідовно сполучені фазовий детектор, підсилювач, перестроюваний фільтр верхніх частот (ПФВЧ) і вимірювач середньоквадратичного значення напруги (ВСКЗ), а також вміщений на виході фазового детектора ланцюг фазової автопідстройки (ФАП) опорного генератора. Причому, на один вхід фазового детектора поданий вихід опорного генератора, а на другий - вихід генератора, що досліджується (див. Rutman J.Measurement of frequency stability IEEE, Tr.Instr., Meas., 1974, IM-23, №4, p.515-521.) Однак, вказаний пристрій має істотні недоліки, тоді як для виключення впливу ланцюга ФАП на результати вимірювань (як вказано в прототипі), необхідно, щоб смуга ФАП $\Omega_{\text{ф ап}}$ була меншою за смугу вимірювання, тобто $\Omega_{\text{ф ап}} < 0,0025$ Гц при $\tau=100$ с, де τ - час, за який вимірюється нестабільність частоти. Однак звуження смуги ФАП погіршує загальні параметри пристрою, такі як смуга утримання, смуга захоплення, стійкість та ін., що викликає зрештою вихід генераторів з режиму ФАП.

Отже, виникає типова суперечність: збільшення смуги ФАП поліпшує загальні параметри ланцюга ФАП пристрою для вимірювання короткочасної нестабільності частоти, але погіршує точність пристрою, і навпаки.

В основу запропонованого винаходу поставлена задача зменшення похибки вимірювань короткочасної нестабільності частоти за рахунок того, що в пристрій для вимірювання короткочасної нестабільності частоти, що містить послідовно з'єднані фазовий детектор, підсилювач, перестроюваний фільтр верхніх частот і вимірювач середньоквадратичного значення напруги, а також ланцюг фазової автопідстройки опорного генератора, додатково введені регульований підсилювач, підімкнутий до ланцюга фазової автопідстройки, вольтметр, розміщений на виході фазового детектора, генератор калібрування, вихід якого підімкнутий до другого, інверсного входу регульованого підсилювача, блок керування, підімкнутий до входу керування ввімкненням генератора калібрування, а також блок установки, виходи якого підімкнені до входів керування перестроюваного фільтра верхніх частот, генератора калібрування і регульованого підсилювача.

Відмітні ознаки запропонованого пристрою дозволяють істотно підвищити точність вимірювання нестабільності частоти, що позитивно вплине на конкурентноздатність запропонованого пристрою.

Запропонований пристрій зображений на кресленні фіг.1, де представлена структурна схема запропонованого пристрою, спільно з генераторами, що вимірюються і опорним.

Запропонований пристрій, складається з фазового детектора 1, підсилювача 2, перестроюваного фільтра верхніх частот 3, вимірювача середньоквадратичного значення напруги 4, регульованого підсилювача 5, блоку установки 6, генератора калібрування 7, блоку керування 8, вольтметра 9. Вихід фазового детектора 1 паралельно підімкнений до входів вольтметра 9, регульованого підсилювача 5, підсилювача 2, вихід якого через перестроюваний фільтр верхніх частот 3, підімкнений до вимірювача середньоквадратичного значення напруги 4. Генератор калібрування 7 своїм виходом підімкнутий до другого інверсного входу регульованого підсилювача 5. Блок установки 6 своїми виходами підімкнутий до входів керування перестроюваним фільтром верхніх частот 3, генератора калібрування 7 і регульованого підсилювача (РП) 5, а блок керування 8 підімкнутий до входу керування ввімкненням генератора калібрування 7.

Пристрій працює таким чином: при підімкненні до пристрою генераторів, що вимірюються і опорного сигнал з виходу 7, фазового детектора 1 через регульований підсилювач 5 йде на фазову автопідстройку опорного генератора. Одночасно сигнал з виходу фазового детектора 1 через підсилювач 2 і перестроюваний фільтр верхніх частот 3 подається на вимірювач середньоквадратичного значення напруги 4, на виході якого набувається значення

$$U_{\text{вих}} = K_1 \cdot \left[\int (f^2 / f^2 + \Omega^2_{\text{ф}}) \cdot (f^2 / f^2 + \Omega^2_{\text{ф}}) \cdot U^2_{\text{вх}}(f) dt \right]^{1/2}$$

де $U_{\text{вх}}(f)$ - напруга на виході фазового детектора,

K_1 - коефіцієнт пропорційності, що залежить від коефіцієнта передачі ланцюгів пристрою. (Інші позначення пояснені нижче).

У випадку, якщо $\Omega_{\text{в}} = \Omega_{\text{ф}} = 0,155/\tau$, то $U_{\text{вих}} = \sigma_{\text{у}}(\tau)$ з точністю 6,5% (див. табл.2).

Для дотримання вказаної рівності $\Omega_{\text{в}} = \Omega_{\text{ф}}$ заздалегідь проводиться калібрування всього пристрою. Вручну, або при ввімкненні пристрою автоматично, блок керування 8 вмикає генератор калібрування 7. Частота генератора калібрування 7 встановлюється відповідно до вибраного значення τ блоком установки 6 ($f_{\text{м}} = 0,155/\tau$). Вольтметр 9 вимірює вихідну напругу фазового детектора 1. Відповідно до вищесказаного, змінюючи коефіцієнт передачі регульованого підсилювача 5, одержуємо по реєстрації вимірювання показання вольтметра 9 настройки на точку рівності $\Omega_{\text{ф}} = f_{\text{м}}$. На цьому калібрування закінчується. Надалі при необхідності вимірювання $\sigma_{\text{у}}(\tau)$ за інших значень τ , блок установки 6 одночасно міняє значення частоти зрізу в перестроюваному фільтрі верхніх частот 3 і коефіцієнта передачі регульованого підсилювача 5 так, щоб рівність $\Omega_{\text{в}} = \Omega_{\text{ф}}$ зберігалася. Звичайно, величина τ змінюється дискретно на порядок або півпорядка, завдяки конструктивному рішення перестроюваного фільтра верхніх частот 3, блоку установки 6 і регульованого підсилювача 5, а також генератора калібрування 7.

Можливий варіант виконання регульованого підсилювача 5 показано на фіг.2, де на вхід I подається сигнал з виходу фазового детектора 1, на вхід II - сигнал з генератора калібрування 7, на вхід III - код установки коефіцієнта передачі з блоку установки 6 (установка смуги). Крім того, в ньому передбачене плавне ручне регулювання коефіцієнта передачі, а також можливість зміщення постійного рівня вихідної напруги (пошук).

Блок установки 6 служить для вибору необхідної частоти зрізу в перестроюваному фільтрі верхніх частот 3, для формування необхідної частоти генерування генератором калібрування 7, а також для зміни коефіцієнта передачі регульованого підсилювача 5 синхронно з перестройкою перестроюваного фільтра верхніх частот 3 і генератором калібрування 7. Блок установки 6 конструктивно може бути виконаний на базі перемикачів з відповідними узгоджувальними пристроями. Генератор калібрування 7 конструктивно може бути виконаний на базі генератора з ввімкненими на його виході

керуваними дільниками частоти. Блок керування 8 служить для перемикання всього пристрою з режиму калібрування в режим вимірювання. Він може бути виконаний на базі перемикачів. Подвійні стрілки від блоку установки 6 до ПФВЧ 3, генератору калібрування 7 і регульованого підсилювача 5 позначають шини, якими передаються коди установки.

Розглянемо більш детально вимоги, що пред'являються до побудови ланцюга фазової автопідстройки установки для вимірювання нестабільності частоти. Вихідну напругу з урахуванням впливу ланцюга фазової автопідстройки можна записати:

$$V = K_{\text{фд}} \cdot (\rho + K_{\text{фап}} \cdot K_{\text{кер}} \cdot H(\rho))^{-1} \cdot (\psi_1 \cdot \psi_2)$$

де $K_{\text{фд}}$ - коефіцієнт передачі фазового детектора,

$\rho = j\omega$ - кутова частота Фур'є,

$K_{\text{фап}}$ - коефіцієнт посилення підсилювача фазової автопідстройки,

$K_{\text{кер}}$ - коефіцієнт, що визначає чутливість керованого генератора,

$H(\rho)$ - характеристика фільтра ланцюга фазової автопідстройки,

ψ_1 і ψ_2 - частотні флуктуації генераторів, що вимірюються ($\psi = \delta\phi/\delta t$),

Якщо визначити $K_{\text{фап}} \cdot K_{\text{кер}} \cdot H(\rho) = \Omega_{\text{ф}}$ частота одиничного посилення розімкненого ланцюга фазової автопідстройки, то при $H(\rho) = 1$ спектральна щільність вихідної напруги фазового детектора

$$S_V(\Omega) = K_{\text{фд}} \cdot \Omega^2 \cdot (\Omega^2 + \Omega_{\text{ф}}^2)^{-1} \cdot [S_{\psi_1}(\Omega) + S_{\psi_2}(\Omega)]$$

тобто отримали відомий вираз, який показує, що ланцюг фазової автопідстройки першого порядку діє як фільтр верхніх частот з частотою зрізу, яка дорівнює частоті одиничного посилення розімкненого ланцюга фазової автопідстройки $\Omega_{\text{ф}}$.

Отже, якщо вимірювати нестабільність частоти в частотній області, то в розрахунковій формулі для апроксимації

загального фільтра зважування вимірювальної системи $\sigma \sim \int |H(\rho)|^2 S_{\psi}(f) df$ необхідно додавати множник

$|H(\rho)|^2 = \Omega^2 \cdot (\Omega^2 + \Omega_{\text{ф}}^2)^{-1}$. Природно, що при $\Omega_{\text{ф}}$ близької до області частот, що аналізуються, вплив $H_2(\rho)$ буде істотним і навпаки. У будь-якому випадку при проведенні практичних вимірювань необхідно оцінювати частоту одиничного посилення розімкненого ланцюга фазової автопідстройки $\Omega_{\text{ф}}$.

Оскільки $\Omega_{\text{ф}} = K_{\text{фд}} \cdot K_{\text{фап}} \cdot K_{\text{кер}}$, а при практичних вимірюваннях будуть змінюватись як $K_{\text{фд}}$, в залежності від частот і рівнів вхідних сигналів, так і $K_{\text{кер}}$ в залежності від типу, що використовується для підстройки генератора в досить широких межах, то єдина можливість керувати величиною $\Omega_{\text{ф}}$ — це зміна $K_{\text{фап}}$.

Наведена структурна схема побудови вимірювача нестабільності частоти в частотній області дозволяє провести вимірювання і установку необхідної величини смуги одиничного коефіцієнта посилення розімкненого ланцюга фазової автопідстройки в залежності від значення інтервалу усереднення τ , для якого вимірюється нестабільність частоти.

До ланцюга фазової автопідстройки подається примусова модуляція частоти, на якій необхідно встановити необхідне значення коефіцієнта посилення розімкненого ланцюга фазової автопідстройки. Тоді вихідна напруга фазового детектора

$$V_{\text{фд}} = (K_{\text{фд}}/\rho) \cdot \psi_m$$

де ψ_m - зміна частоти генератора за рахунок введення модуляції напруги U_m , тоді як

$$\psi_m = -K_{\text{фап}} \cdot K_{\text{кер}} \cdot (K_{\text{фд}}/\rho) \cdot \psi_m - K_{\text{фап}} \cdot K_{\text{кер}} \cdot U_m \text{ то}$$

$$\psi_m = -[\rho \cdot K_{\text{фап}} \cdot K_{\text{кер}} / (\rho + K_{\text{фд}} \cdot K_{\text{кер}} + K_{\text{фап}})] \cdot U_m$$

Отже,

$$V_{\text{фд}} = [\Omega_{\text{ф}} \cdot (\Omega + \Omega_{\text{ф}})^{-1}] \cdot U_m$$

тобто, якщо виявиться, що $V_{\text{фд}} = U_m$, то це означає, що смуга одиничного посилення розімкненого ланцюга ФАП вища за частоту модуляції і необхідно зменшувати $K_{\text{фап}}$ до отримання спаду $V_{\text{фд}}$ на рівні 3 дБ і навпаки. Вихідна напруга фазового детектора подається на вимірник $\Omega_{\text{ф}}$, за свідченням якого встановлюється необхідне значення $K_{\text{фап}}$.

Слід зазначити, що, враховуючи те, що характеристики вимірювальних генераторів апріорно невідомі, ланцюг фазової автопідстройки будується як ланцюг першого порядку для уникнення тривалих перехідних процесів і збуджень в ланцюгу фазової автопідстройки при вимірюваннях характеристик генераторів, що підстроюються. Така побудова ланцюга фазової автопідстройки, однак, має і недоліки, передусім - це трудність утримання фазової автопідстройки поблизу нуля за рахунок малого коефіцієнта посилення ланцюга. Тому в ланцюгу фазової автопідстройки необхідний вузол, що дозволяє здійснювати початковий пошук по частоті.

Практична робота показала переваги застосування ланцюга фазової автопідстройки першого порядку з використанням пошуку і можливістю вимірювати і встановлювати величину в $\Omega_{\text{ф}}$ в порівнянні з іншими типами побудови фазової автопідстройки, особливо, з урахуванням необхідності вимірювання різних джерел частоти.

Слід зазначити, що при вимірюванні нестабільності частоти $\sigma_y(\tau)$ методом ПФВЧ, гранична похибка при найкращій характеристиці фільтра становить 9% (див. прототип). Значення похибок для різних характерів фазових шумів приведені в табл.1. Значення похибок для випадку використання в ланцюгу ФАП регульований підсилювача і $\Omega_{\text{б}} = \Omega_{\text{ф}} = 0,155/\tau$ представлені в табл.2 і становлять 6,5%.

Отже, при введенні в ланцюг ФАП регульованого підсилювача, що перестроюється при вимірюваннях синхронно з ПФВЧ, зменшує похибку вимірювання нестабільності частоти при одночасному поліпшенні параметрів ФАП, тоді як тепер $\Omega_{\text{б}} = \Omega_{\text{ф}}$, тобто смуга ФАП істотно більша ніж в прототипі.

Усі елементи пристрою є стандартні, відомі радіотехнічні комплектуючі. Тому ці елементи не розглядаються індивідуально і не є предметом винаходу. Даний винахід представляє собою комбінацію елементів, що формують вказаний пристрій. Позитивний ефект, що полягає в зменшенні похибки вимірювань нестабільності частоти при одночасному поліпшенні параметрів ланцюга ФАП, не є простою сумою ефектів від застосування відомих пристроїв, тобто запропонований винахід відповідає критерію істотної відмінності.

Таким чином, завдяки тому, що у відомий пристрій для вимірювання короткочасної нестабільності частоти, що містить послідовно сполучені фазовий детектор, підсилювач, перестроюваний фільтр верхніх частот і вимірювач середньоквадратичного значення напруги, а також ланцюг фазової автопідстройки, додатково вводяться регульований підсилювач, включений в ланцюг фазової автопідстройки, вольтметр, ввімкнений на виході фазового детектора, генератор калібрування, вихід якого підімкнутий до другого, інверсного входу регульованого підсилювача, блок керування, підімкнутий до входу керування ввімкненням генератора калібрування, а також блок установки, виходи якого підімкнуті до входів

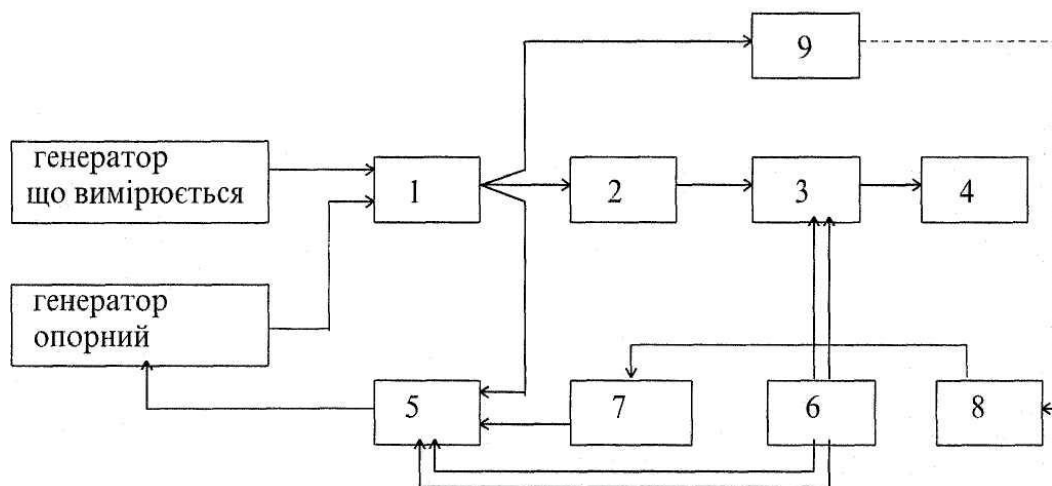
керування перестроюваного фільтру верхніх частот, генератора калібрування і регульованого підсилювача, похибка вимірювання нестабільності частоти зменшується з 9% до 6,5%, а параметри ланцюга ФАП істотно поліпшуються, оскільки тепер смуга ланцюга ФАП істотно більша, ніж в прототипі.

Таблиця 1

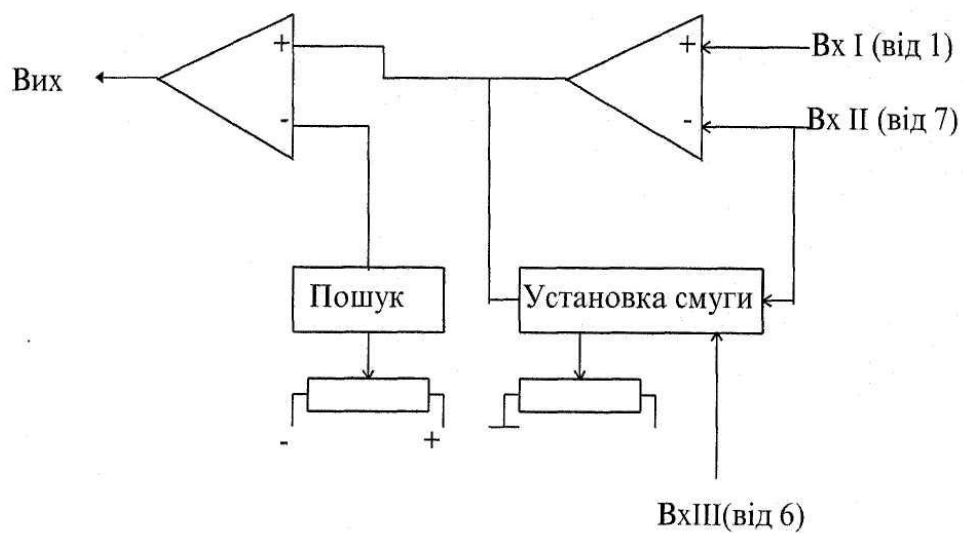
$S_{\omega}(f)$	$\sigma(\tau)/\sigma_y(\tau)/$	$\delta \bullet 100\%$
k_0	1	0
k_1/f	$\rightarrow 1$	$\rightarrow 0$
k_2/f^2	0,82	-18
k_3/f^3	0,93	-7
k_4/f^4	0,91	-9

Таблиця 2

$S_{\omega}(f)$	$\sigma(\tau, \Omega_B = \Omega_{\Phi})/\sigma_y(\tau)/$	$\delta \bullet 100\%$
k_0	1,065	+6,5
k_1/f	1,065	+6,5
k_2/f^2	0,935	-6,5
k_3/f^3	1,01	+1
k_4/f^4	1,065	+6,5



Фиг.1



Фиг.2

