



УКРАЇНА

(19) UA (11) 38068 (13) A

(51) 7 G01R23/14

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

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІЗНОЧАСНИХ ЗМІН ЧАСТОТИ

(21) 2000052975

(22) 24.05.2000

(24) 15.05.2001

(33) UA

(46) 15.05.2001, Бюл. № 4, 2001 р.

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Зоценко Юлія Григорівна

(73) Київський державний інститут технологій та дизайну

(57) 1. Пристрій для вимірювання різночасних змін частоти, який містить автогенератор, в ланцюг зворотного зв'язку якого через автоматичний перемикач включені вимірюваний та еталонний елементи, балансний змішувач, перший вхід якого з'єднаний з виходом автогенератора, гетеродин з блоком перестройки частоти, з'єднаний з другим входом балансного змішувача, до виходу балансного змішувача підключені послідовно з'єднані перший фільтр нижніх частот, частотний детектор, другий фільтр нижніх частот, підсилювач частоти

комутації та фазочутливий випрямляч, генератор частоти комутації, вихід якого з'єднаний з керуючим входом автоматичного перемикача та керуючим входом фазочутливого випрямляча, який **відрізняється** тим, що в нього введені електричний інтегратор, вхід якого з'єднаний з виходом фазочутливого випрямляча, вихід з'єднаний з керуючим входом блока перестройки частоти гетеродина, подільник частоти, вхід якого з'єднаний з виходом гетеродина, електронно-лічильний частотомір, перший вхід якого з'єднаний з виходом першого фільтра нижніх частот і ключ, включений між виходом подільника частоти та другим входом електронно-лічильного частотомиря.

2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що частотний детектор складається з послідовно з'єднаних підсилювача-обмежувача, диференціатора та одновібратора, при цьому входом частотного детектора є вхід підсилювача-обмежувача.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для вимірювання різниці частот двох різночасних коливань, переважно для вимірювання різночасних змін частоти автогенераторів з періодично змінюваними параметрами в ланцюгу зворотного зв'язку.

Автогенератори з RC ланцюгом, що задає час, або LC резонансним ланцюгом зворотного зв'язку широко використовуються для вимірювального перетворення різних фізичних величин в частоту релаксаційних або гармонійних коливань. Двогенераторні схеми перетворення часто не забезпечують високої точності вимірювання різниці частот автогенераторів, частоти яких задаються порівнюваними величинами (вимірюваною та еталонною). Головним джерелом похибки порівняння є початкова різниця частот, яка викликана нестабільністю параметрів двох незалежних автогенераторів (див. Арш Э.И. Автогенераторные методы и средства измерений. - М.: Машиностроение, 1979. - С. 92-98).

Більш високу точність забезпечують одногенераторні схеми перетворення, в яких порівнювані величини по черзі діють на ланцюг зворотного зв'язку одного автогенератора, викликаючи відповідні зміни його частоти. Оскільки зміни частоти

відбуваються в одному автогенераторі, то початкова нестабільність його частоти не впливає на значення різниці частоти. Але при цьому виникають складнощі з вимірюванням різниці частоти, оскільки ці коливання існують різночасно і їх безпосереднє змішування для отримання різниці частоти є неможливим. Тому для отримання інформації про значення різниці частоти різночасних коливань використовують спеціальні технічні рішення.

Відомий пристрій для вимірювання різночасних змін частоти (див. Ройтман М.С., Жуков В.К. Измерение малых приращений емкостей и индуктивностей методом периодического сравнения // Измерительная техника. - 1967. - № 12. - С. 16-19), який містить автогенератор з автоматичним перемикачем в ланцюгу зворотного зв'язку, до виходу якого підключені послідовно з'єднані частотний детектор, підсилювач низької частоти, синхронний детектор та вихідний пристрій, а також генератор низької частоти, вихід якого з'єднаний з керуючими входами автоматичного перемикача та синхронного детектора. Змінна складова напруги частоти комутації ланцюга зворотного зв'язку автогенератора, яка виділяється із вихідної напруги частотного детектора, пропорційна різниці частот автоге-

нератора для двох положень автоматичного перемикача та вимірюється вихідним пристроєм. Але нестабільність перехідної частоти частотного детектора викликає додаткову похибку через неминучий вихід частот автогенератора за межі лінійної ділянки характеристики частотного детектора.

Відомий пристрій для вимірювання різночасних змін частоти (див. Скрипник Ю.А. Модуляционные измерения параметров сигналов и цепей. - М.: Сов. радио, 1975. - С. 18-22), який має в своєму складі автогенератор з автоматичним перемикачем вимірюваної і зразкової величин, круговий фазообертач, підключений до виходу автогенератора, та другий автоматичний перемикач, перший вхід якого підключений до виходу автогенератора безпосередньо, другий вхід підключений до нього через фазообертач, вихід з'єднаний з виходом частотного детектора, причому ротор фазообертача механічно з'єднаний з валом тахогенератора і реверсивного двигуна, клеми якого підключені через підсилювач до виходу частотного детектора.

В пристрої ротори фазообертача і тахогенератора обертаються з частотою, пропорційною різниці частот пакетів коливань автогенератора, які генеруються по черзі при дії на ланцюг зворотного зв'язку автогенератора вимірюваної та зразкової величин. Тому частота вихідної напруги тахогенератора дорівнює різниці частот двох різночасних коливань, які генеруються автогенератором.

Але при високій частоті автогенератора виникають труднощі у виділенні сигналу, пропорційного різниці частот пакетів коливань, через частотні спотворення в ланцюгах кругових фазообертачів, які призводять до порушень потрібних фазових співвідношень в діапазоні частот. Крім того, електромеханічна слідуюча система не забезпечує високої швидкодії.

Відомий також пристрій для вимірювання різночасних змін частоти (див. Таланчук П.М., Скрипник Ю.О., Дубровний В.О. Високоточні засоби вимірювання фізичних величин із самоналагодженням і автокорекцією похибок: Навч. посібник – К.: ІЗМН, 1996. - С. 215-218), який містить автогенератор, в ланцюг зворотного зв'язку якого через автоматичний перемикач включені вимірюваний та еталонний елементи, балансний змішувач, перший вхід якого з'єднаний з виходом автогенератора, гетеродин з блоком перестройки частоти, з'єднаний з другим входом балансного змішувача, до виходу балансного змішувача підключені послідовно з'єднані фільтр нижніх частот, частотний детектор, другий фільтр нижніх частот, підсилювач частоти комутації та фазочутливий випрямляч, генератор частоти комутації, вихід якого з'єднаний з керуючим входом автоматичного перемикача та керуючим входом фазочутливого випрямляча. Крім того, у відомому пристрої є відліково-реєструючий пристрій, вхід фільтра нижніх частот, підключений до виходу частотного детектора, вихід фільтра з'єднаний з керуючим входом блока перестройки частоти гетеродина, а відліково-реєструючий пристрій підключений до виходу фазочутливого випрямляча.

Завдяки гетеродинному перетворюванню частоти пакетів коливань автогенератора відбувається перенос високочастотних коливань автогенератора на проміжну (різницеву) частоту, на якій пра-

цює частотний детектор. Підключення виходу частотного детектора по постійній напрузі до блока перестройки частоти гетеродина дозволяє автоматично підтримувати роботу частотного детектора на лінійній ділянці характеристики. Це зменшує спотворення в змінній складовій частотного детектора, яка пропорційна різниці частот пакетів коливань автогенератора. Але відомий пристрій не дозволяє вимірювати безпосередньо абсолютну різницю частот коливань автогенератора, а також відносну різницю частот, яка характеризує значення відносних електричних і неелектричних величин, наприклад, діелектричну або магнітну проникливість речовин.

В основу винаходу покладена задача створення такого пристрою для вимірювання різночасних змін частоти, в якому введення нових елементів і зв'язків дозволило б отримувати неперервний низькочастотний сигнал, частота якого дорівнювала б напіврізниці частот різночасних коливань автогенератора, який перемикається, а також отримувати неперервний високочастотний сигнал, частота якого дорівнювала б напівсумі частот пакетів різночасних коливань автогенератора, що дозволить підвищити точність вимірювання ряду фізичних величин, які перетворюють в абсолютні або відносні виміри частоти автогенератора. Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для вимірювання різночасних змін частоти, який містить автогенератор, в ланцюг зворотного зв'язку якого через автоматичний перемикач включені вимірюваний та еталонний елементи, балансний змішувач, перший вхід якого з'єднаний з виходом автогенератора, гетеродин з блоком перестройки частоти, з'єднаний з другим входом балансного змішувача, до виходу балансного змішувача підключені послідовно з'єднані перший фільтр нижніх частот, частотний детектор, другий фільтр нижніх частот, підсилювач частоти комутації та фазочутливий випрямляч, генератор частоти комутації, вихід якого з'єднаний з керуючим входом автоматичного перемикача та керуючим входом фазочутливого випрямляча, згідно винаходу введені електричний інтегратор, вхід якого з'єднаний з виходом фазочутливого випрямляча, вихід з'єднаний з керуючим входом блока перестройки частоти гетеродина, подільник частоти, вхід якого з'єднаний з виходом гетеродина, електронно-лічильний частотомір, вхід "А" якого з'єднаний з виходом першого фільтра нижніх частот і ключ, включений між виходом подільника частоти та входом "Б" електронно-лічильного частотоміра.

Доцільно, щоб частотний детектор складався з послідовно з'єднаних підсилювача-обмежувача, диференціатора та одновібратора, при цьому входом частотного детектора був вхід підсилювача-обмежувача.

Саме введення в пристрій для вимірювання різночасних змін частоти інтегратора, вхід якого з'єднаний з виходом фазочутливого випрямляча, вихід з'єднаний з керуючим входом блока перестройки частоти гетеродина, дільника частоти, вхід якого з'єднаний з виходом гетеродина, використання в якості відліково-реєструючого пристрою електронно-лічильного частотоміра, вхід "А" якого підключений до виходу першого фільтра нижніх частот, а вхід "Б" через введений ключ з'єднаний з

виходом діляника частоти, а також виконання частотного детектора за схемою послідовного з'єднання підсилювача-обмежувача, диференціатора і одновібратора забезпечує отримання неперервного низькочастотного сигналу, який дорівнює напіврізниці частот пакетів різночасних коливань автогенератора і неперервного високочастотного сигналу, який дорівнює напівсумі частот пакетів цих коливань, що забезпечує підвищення точності абсолютної та відносної різниці частот різночасних коливань, а тим самим і точність вимірювання ряду фізичних величин, які перетворюються в частоту гармонійних чи релаксаційних коливань.

На фігурі приведена функціональна схема приладу для вимірювання різночасних змін частоти.

Прилад містить автогенератор 1, в ланцюг зворотного зв'язку якого через автоматичний перемикач 2 включені вимірюваний 3 та еталонний 4 елементи або давачі з досліджуваною та еталонною речовиною. До виходу генератора підключений балансний змішувач 5, другий вхід якого з'єднаний з гетеродином 6 і блоком перестройки частоти 7. Вихід змішувача з'єднаний з послідовно включеними першим фільтром 8 нижніх частот, частотним детектором 9, другим фільтром 10 нижніх частот, підсилювачем 11 частоти комутації та фазочутливим випрямлячем 12. Генератор 13 частоти комутації з'єднаний з керуючим входом фазочутливого випрямляча та керуючим входом автоматичного перемикача. Вихід фазочутливого випрямляча з'єднаний через електричний інтегратор 14 з керуючим входом блока перестройки частоти. Вихід гетеродина через подільник частоти 15 і ключ 16 з'єднаний з входом "Б" електронно-лічильного частотоміра 17, вхід "А" якого з'єднаний з виходом першого фільтра нижніх частот. Частотний детектор складається з підсилювача-обмежувача 18, диференціатора 19 і одновібратора 20, які включені послідовно.

Пристрій для вимірювання різночасних змін частоти працює таким чином.

Частота коливань автогенератора 1 визначається параметрами ланцюга зворотного зв'язку. Періодично за допомогою автоматичного перемикача 2 в ланцюг зворотного зв'язку автогенератора включається вимірюваний елемент 3 або еталонний елемент 4. Відповідно до цього частота коливань автогенератора змінюється від значення f_1 до значення f_2 . Оскільки частоту F перемикачів елементів вибирають набагато меншою частоти коливань, що генеруються ($F \ll f_1$ та f_2), то вихідний сигнал автогенератора 1 представляє собою послідовність пакетів коливань високої частоти f_1 та f_2 тривалістю Δt в напівперіод комутації вимірюваного та еталонного елементів ($\Delta t = 1/2F$).

Коливання автогенератора 1 змішуються в балансному змішувачі 5 з високочастотними коливаннями гетеродина 6, частота f_3 якого задається блоком 7, що перестроюється. При співвідношенні частот автогенератора $f_1 > f_2$ початкова частота гетеродина вибирається в межах

$$f_2 < f_3 < f_1 \quad (1)$$

В результаті балансного змішування коливань автогенератора та гетеродина утворюються низькочастотні коливання різницевої частоти та високочастотні коливання сумарної частоти. При змі-

шуванні пакетів коливань частоти f_1 автогенератора з неперервними коливаннями гетеродина частоти $f_3 < f_1$ утворюються пакети коливань з частотами:

$$f_4 = f_1 - f_3 \quad (2)$$

$$f_5 = f_1 + f_3 \quad (3)$$

В результаті змішування пакетів коливань автогенератора частоти f_2 з коливаннями гетеродина $f_3 > f_2$ утворюються пакети коливань з частотами:

$$f_6 = f_3 - f_2 \quad (4)$$

$$f_7 = f_3 + f_2 \quad (5)$$

Фільтром 8 нижніх частот із змішаних коливань виділяються низькочастотні коливання різницевої частоти f_4 та f_6 , які по черзі надходять на частотний детектор 9. В результаті частотного детектування пакетів коливань формуються відеоімпульси, амплітуди яких пропорційні частотам (2) та (4):

$$U_1 = S(f_1 - f_3) \quad (6)$$

$$U_2 = S(f_3 - f_2) \quad (7)$$

де S - крутість перетворення частотного детектора 9 (В/Гц).

Із послідовності відеоімпульсів (6) та (7) фільтром 10 нижніх частот виділяється змінна складова напруги частоти комутації з амплітудою

$$U_3 = k_1 \frac{U_1 - U_2}{2} = \frac{k_1 S}{2} (f_1 + f_2 - 2f_3) \quad (8)$$

де k_1 - коефіцієнт передачі фільтра 10 нижніх частот.

Змінна напруга (8) підсилюється підсилювачем 11 частоти комутації та випрямляється фазочутливим випрямлячем 12, який керується напругою генератора 13 частоти комутації. Частота комутації F визначається частотою перемикачів автоматичного перемикача 2, який керується також напругою генератора 13.

Випрямлена напруга, пропорційна співвідношенню частот (8), має вигляд:

$$U_4 = \frac{1}{2} S k_1 k_2 k_3 (f_1 + f_2 - 2f_3) \quad (9)$$

де k_2 - коефіцієнт підсилення підсилювача 11 частоти комутації,

k_3 - коефіцієнт передачі фазочутливого випрямляча 12.

Інтегратор 14 заряджається напругою (9), та його вихідна напруга починає змінювати ємність варикапа блока 7, що призводить до зміни частоти гетеродина 6. Процес регулювання частоти гетеродина продовжується доти, поки напруга (9) не перетвориться на нуль. При досягненні нульового значення ($U_4 = 0$) маємо

$$f_1 + f_2 - 2f_3 = 0 \quad (10)$$

звідки частота гетеродина, яка встановилася

$$f_3 = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (11)$$

Підставляючи значення частоти гетеродина (11) у вирази (2) і (4), отримаємо значення різницевої частоти

$$f_4 = \frac{f_1 - f_2}{2} = f_6 \quad (12)$$

Коливання однакової різницевої частоти f_4 та f_6 поступають на вхід "А" електронно-лічильного частотоміра 17. При розімкненому ключі 16 на цифро-

вому табло частотоміра з'являється значення, пропорційне різниці частот пакетів різночасних коливальних автогенераторів

$$N_1 = \frac{f_1 - f_2}{2} = \Delta f / 2 \quad (13)$$

В замкненому положенні ключа 16 на вхід "Б" електронно-лічильного частотоміра 17 поступають коливання гетеродина, значення яких задаються коефіцієнтом ділення n подільника 15 частоти:

$$f_8 = f_3 / n < \frac{f_1 - f_2}{2} \quad (14)$$

З урахуванням частоти гетеродина (11), яка встановилася, отримаємо потрібне значення коефіцієнта ділення частоти

$$n < \frac{f_1 + f_2}{f_1 - f_2} \quad (15)$$

В режимі ділення частот електронно-лічильного частотоміра на його цифровому табло отримаємо значення відношення частот

$$\frac{f_4}{f_8} = \left(\frac{f_1 - f_2}{f_1 + f_2} \right) / n \quad (16)$$

Звичайно, при частотному перетворенні фізичних величин частоти автогенератора f_1 та f_2 вибирають близькими. Тому можна вважати, що

$$f_1 + f_2 \approx 2f_1 \quad (17)$$

Тоді відношення частот (16), а, отже, і показання частотоміра 17 приймає вигляд

$$N_2 = \frac{f_1 - f_2}{2nf_1} = \left(\frac{\Delta f}{f_1} \right) / 2n \quad (18)$$

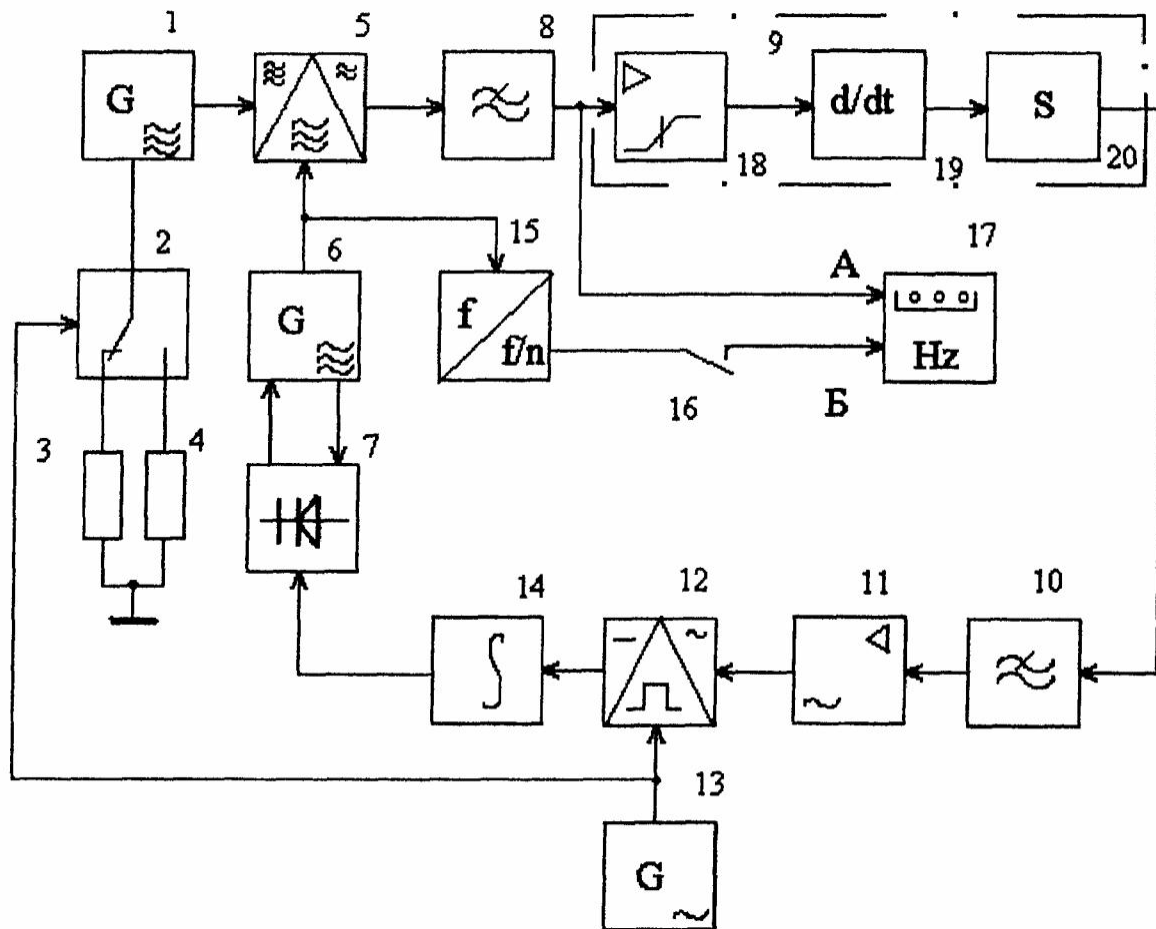
Із виразу (18) видно, що результат вимірювання пропорційний відносній різниці частот пакетів різночасних коливальних автогенераторів.

В розглянутій схемі пристрою частотний детектор 9 працює на низькій різницевої частоті. Це дозволяє виконати детектор у вигляді послідовно з'єднаних підсилювача-обмежувача 18, диференціатора 19 та одновібратора 20. За допомогою підсилювача-обмежувача 18 із коливальних різницевої частоти формуються коливання прямокутної форми. Далі в результаті диференціювання фронтів в диференціаторі 19 прямокутних коливальних утворюються короткі імпульси, які запускають одновібратор 20. Вихідні імпульси одновібратора з

постійною вольтсекундною площиною в один напівперіод комутації слідують з частотою f_4 , в інший напівперіод комутації - з частотою f_6 . Якщо частоти слідування (2) та (4) не рівні ($f_4 \neq f_6$), то постійні складові напруг послідовностей імпульсів (6) та (7) також не рівні. Тому на виході другого фільтра 10 нижніх частот буде присутня змінна складова напруги (8), пропорційна різниці частот слідування імпульсів. В результаті автоматичної настройки частоти гетеродина 6 на співвідношення (11) частоти слідування імпульсів одновібратора 20 зрівнюються, і змінна складова напруги (8) зникає, що зупиняє заряд інтегратора 14, а, отже, і перестройку частоти блока 7 гетеродина 6.

Розглянутий частотний детектор має лінійну передаточну характеристику в широкому діапазоні низьких частот (від 10-20 Гц до 500 кГц). В якості електронно-лічильного частотоміра використовуються цифрові частотоміри, які випускаються серійно, наприклад, частотомір електронно-лічильний ЧЗ-57. Автоматичний перемикач працює на частоті 1 кГц та виконаний на польових транзисторах за схемою послідовно-паралельного переривання сигналу, для чого використовуються мікросхеми типу 1КТ681 або 1КТ901. Для реалізації решти функціональних блоків пристрою використовуються типові схеми радіоелектронних пристроїв. Початкова частота автогенератора може знаходитися в діапазоні високих частот 0,5-20 МГц.

Таким чином, розглянуте технічне рішення забезпечує високоточне вимірювання абсолютної та відносної різниці частот, які генеруються одним автогенератором послідовно в часі. Це дозволяє з високою точністю порівнювати вимірювану та еталонну фізичні величини, які впливають на датчики в ланцюгу зворотного зв'язку автогенератора. За допомогою вимірювання різницевої частоти можна визначити зміни абсолютних значень вимірюваної величини по відношенню до еталонної, а вимірювання відносних значень різницевої частоти дозволяє визначити відносні величини, які характеризують, наприклад, електричні властивості матеріалів та речовин незалежно від параметрів датчиків.



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22