



УКРАЇНА

(19) UA (11) 49908 (13) C2

(51) 6 G01R25/00,25/04,27/28

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**(54) СПОСІБ МОДУЛЯЦІЇ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ВЗАЄМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ І РАДІОТЕХНІЧНИЙ МОДУЛЯЦІЙНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ СПОСОБУ**

1

2

(21) 99031214

(22) 03 03 1999

(24) 15 10 2002

(46) 15 10 2002, Бюл. № 10, 2002 р

(72) Огороднічук Леонід Дмитрович

(73) Огороднічук Леонід Дмитрович

(56) SU, 168795, 26 11 1965

SU, 2535757, 18 10 1977

RU, 2050006, 10 12 1995

RU, 2101723, 10 01 1998

US, 5936576, 10 08 1999

(57) 1 Спосіб модуляції при вимірюванні взаємних характеристик сигналів, у відповідності з яким один з сигналів послідовно два рази модулюють, відповідно, першою і другою модулюючими напругами неоднакових і некрatних частот, перетворюють частоти модульованого сигналу, виділяють напругу проміжної частоти (ПЧ), формують допоміжну напругу ПЧ і їх використовують для вимірювання взаємних характеристик сигналів, який відрізняється тим, що другий сигнал послідовно два рази модулюють, відповідно, третьою і четвертою модулюючими напругами неоднакових і некрatних частот, які також не рівні і не кратні частотам першої і другої модулюючих напруг, здійснюють перетворення частот компонент і другого модульованого сигналу, значення ПЧ вибирають з частот, які одержані внаслідок перетворення частот модульованих сигналів, а допоміжну напругу ПЧ формують з модулюючих напруг

2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що використовують амплітудну модуляцію або/і балансну модуляцію, або/і фазову модуляцію, або/і односмугову модуляцію

3 Спосіб за п. 1 або 2, який відрізняється тим, що перетворення частот модульованих сигналів здійснюють шляхом їх перемноження, для вимірювання фазового зсуву використовують напругу ПЧ, яка дорівнює комбінаційній частоті, одержаній за допомогою компонент різних модульованих сигналів, наприклад частот чотирьох модулюючих напруг, і допоміжну напругу ПЧ, а для вимірювання взаємних амплітудних характеристик сигналів використовують напруги, які не мають інформації про фазовий зсув, або напруги, які мають відоме значення фазового зсуву, і допоміжну напругу ПЧ

4 Спосіб за п. 1 або 2, або 3, який відрізняється тим, що для здійснення перетворення частот обидва модульовані сигнали розгалужують, відповідно, на p і q модульованих сигналів, де p і q - цілі числа, з кожного з них виділяють по одній або/і по декілька компонент і отримують, відповідно, p і q компонент або груп компонент модульованих сигналів, перетворюють частоту кожної компоненти або частоти кожної групи компонент одного модульованого сигналу по відношенню до частоти відповідної компоненти або частот відповідних груп компонент другого модульованого сигналу, виділяють напруги інших частот, причому перетворення частот виконують послідовно $r = 1, 2, 3, \dots$ раз і одержують одну або декілька напруг ПЧ

5 Радіотехнічний модуляційний пристрій, який містить в собі перший і другий модулятори, перший і другий генератори, перший і другий розгалужувачі, синтезатор, блок перетворення частот (БПЧ) і фільтр, причому перший і другий модулятори з'єднані послідовно в першому каналі пристрою, вхід першого модулятора є першим входом пристрою, БПЧ послідовно з'єднаний з фільтром, перший і другий генератори з'єднані послідовно, відповідно, з першим і другим розгалужувачами, перші виходи яких підключені до керуючих входів, відповідно, першого і другого модуляторів, а другі виходи - відповідно, до першого і другого входів синтезатора, вихід якого і вихід фільтра є виходами пристрою, який відрізняється тим, що в нього додатково введені послідовно з'єднані третій генератор і третій розгалужувач, четвертий генератор і четвертий розгалужувач, третій модулятор і четвертий модулятор в другому каналі пристрою, а синтезатор виконаний чотиривходовим, причому вхід третього модулятора є другим входом пристрою, перші виходи третього і четвертого розгалужувачів підключені до керуючих входів, відповідно, третього і четвертого модуляторів, а другі виходи - відповідно, до третього і четвертого входів синтезатора, а БПЧ являє собою модуль перетворення частот (далі - модуль) з двома входами і виходами, які є, відповідно, двома входами і виходами БПЧ, до входів БПЧ підключені виходи, відповідно, другого і четвертого модуляторів

6 Пристрій за п. 5, який відрізняється тим, що

(13) C2

(11) 49908

(19) UA

його модуль являє собою послідовно з'єднані двохходовий суматор і перетворювач частот (ПРЧ)

7 Пристрій за п 6, який **відрізняється** тим, що його модуль додатково містить другий фільтр, який включений між суматором і ПРЧ

8 Пристрій за п 7, який **відрізняється** тим, що його модуль додатково містить в собі п'ятий розгалужувач і послідовно з'єднані третій фільтр і другий ПРЧ, а також четвертий фільтр, причому вхід п'ятого розгалужувача підключений до виходу суматора, а виходи – відповідно, до другого і третього фільтрів, а вихід другого фільтра підключений до четвертого фільтра пристрою і вихід четвертого фільтра є третім виходом пристрою

9 Пристрій за п 5, який **відрізняється** тим, що

його модуль містить в собі шостий і сьомий розгалужувачі, п'ятий, шостий, сьомий і восьмий фільтри, третій і четвертий ПРЧ, а також дев'ятий фільтр, причому перші виходи шостого і сьомого розгалужувачів модуля через, відповідно, п'ятий і сьомий фільтри підключені до перших входів, відповідно, третього і четвертого ПРЧ, а другі їх виходи – відповідно, через шостий і восьмий фільтри, підключені до других входів, відповідно, третього і четвертого ПРЧ, входами БПЧ є входи шостого і сьомого розгалужувачів модуля, а виходами – виходи третього і четвертого ПРЧ модуля, причому перший вихід БПЧ підключений до першого фільтра, другий вихід БПЧ підключений до дев'ятого фільтра пристрою, а вихід дев'ятого фільтра є третім виходом пристрою

Винаходи відносяться до області фазової радіотехніки і можуть бути використані для вимірювання характеристик активних і пасивних багатополісників, а також характеристик сигналів (радіопеленгація, тощо) в діапазонах високих частот

Відомі способи модуляції при вимірюванні взаємних характеристик порівнюваних сигналів (далі - сигналів) і радіотехнічні МОДУЛЯЦІЙНІ пристрої надвисоких частот (НВЧ) Воин описані Наприклад, в такій літературі

1 Бондаренко И К, Дайнега Г А, Магачев З В, Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов - М Сов радио, 1969 - 304с

2 Способ фазовой модуляции в измерительных устройствах СВЧ // Авторское свидетельство СССР, НКИ 21е 36/10 №168795 от 19.04.1963г Оpubл 11.03.1965г (Ю,Ф, Ларкин, СССР)

Загальною особливістю відомих способів модуляції при вимірюванні взаємних характеристик сигналів є використання фазової модуляції одного з сигналів і перетворення частот (детектування) для переносу вимірювань на проміжну частоту (ПЧ)

Загальною особливістю відомих радіотехнічних модуляційних пристроїв (далі пристроїв) для здійснення способу є використання блока перетворення частот (БПЧ) і в одному каналі – принаймні одного модулятора

Найближчими до запропонованих винаходів є спосіб базової модуляції в вимірювальних пристроях на НВЧ і пристрій для вимірювання коефіцієнтів передачі і відбиття багатополісників описані в [2] В цих відомих технічних рішеннях інформацію про характеристики багатополісників НВЧ переносять на амплітуду і фазу одного з НВЧ сигналів, Перенесені характеристики вимірюють по відношенню до відповідних характеристик другого НВЧ сигналу, який інколи називають опорним, З сказаного видно, що терміни "вимірювання коефіцієнтів передачі і відбиття і "вимірювання взаємних характеристик сигналів" еквівалентні

Особливістю відомого способу є те, що в ньому один з сигналів модулюють послідовно два рази фазовою модуляцією, перетворює частоти,

виділяють напругу ПЧ, а також формують допоміжну напругу ПЧ Одержані дві напруги використовують для вимірювання

Особливістю відомого пристрою є те, що він має два БПЧ канали, в один з яких включені два послідовно з'єднані фазові модулятори, які забезпечують односмуговий спектр модульованого НВЧ сигналу Пристрій містить в собі також синтезатор, БПЧ, два модулюючі генератори і два розгалужувачі відповідно з'єднані між собою Цей відомий спосіб і пристрій прийняті за прототипи Недоліками способу - прототипу є велика похибка вимірювань і вузький динамічний діапазон, які зумовлені

- паразитними компонентами спектру модульованого НВЧ сигналу, причиною появи яких є наявність паразитної амплітудної модуляції,

- неідентичністю фазових і амплітудних характеристик НВЧ сигналів, яка зумовлена проходженням сигналів по ННЧ каналах,

- залежністю похибки від відношення амплітуд сигналів

Недоліком пристрою - прототипу є велика похибка вимірювань і вузький динамічний діапазон, які зумовлені

- неідеальною роботою двох модуляторів,

- неідентичністю НВЧ каналів,

- залежністю похибки вимірювань від відношення амплітуд сигналів

Метою запропонованих винаходів - способу і пристрою для здійснення способу є значне зменшення похибки вимірювань і значне розширення динамічного діапазону

В основу винаходу - способу поставлена складна задача такого удосконалення способу, в якому, шляхом запровадження нових операцій та виконання їх в певній послідовності, забезпечують значне підвищення точності та значне розширення динамічного діапазону вимірювань

В основу винаходу - пристрою для здійснення способу поставлена складна задача удосконалення об'єкту, в якому, шляхом запровадження нових блоків і вузлів з відповідними з'єднаннями, забезпечують значне підвищення точності та значне розширення динамічного діапазону вимірювань

З допомогою прототипів означені результати отримати неможливо тому, що в своєму складі вони не мають тих нових істотних ознак, які входять в сукупність суттєвих ознак винаходів

В запропонованому способі модуляції при вимірюванні взаємних характеристик сигналів в діапазонах високих частот, у відповідності з яким один з порівнюваних сигналів послідовно два рази модулюють, відповідно, першою і другою напругами неоднакових і некрatних частот, перетворюють частоти модульованого сигналу, виділяють напругу проміжної частоти (ПЧ), формують допоміжну напругу ПЧ і їх використовують для вимірювання взаємних характеристик сигналів, для досягнення мети у відповідності з винаходом, другий порівнюваний сигнал послідовно два рази модулюють, відповідно, третьою і четвертою модулюючими напругами неоднакових і некрatних частот, які також нарізні і некрatні частотам першої і другої модулюючих напруг, внаслідок МОДУЛЯЦІЇ отримують смугові амплітудні спектри модульованих сигналів, здійснюють перетворення частот компонент обох модульованих сигналів, значення ПЧ вибирають з частот, які одержані внаслідок перетворення частот модульованих сигналів, а допоміжну напругу ПЧ формують з модулюючих напруг

Далі, приреалізації способу використовують амплітудну модуляцію, або/і балансну модуляцію, або/і фазову модуляцію, або/і одно смугову модуляцію

Крім того, перетворення частот модульованих сигналів здійснюють шляхом їх перемноження, для вимірювання Фазового зсуву використовують напругу ПЧ, яка дорівнює комбінаційній частоті, одержаній за допомогою компонент різних модульованих сигналів, наприклад, частот чотирьох модулюючих напруг, і допоміжну напругу ПЧ, а для вимірювання взаємних амплітудних характеристик сигналів використовують компоненти напруг, які не інформації про фазовий зсув, або по цих компонентах і по допоміжній напрузі ПЧ

Причому, для здійснення перетворення частот обидва модульовані сигнали розгалужують, відповідно, на p і q модульованих сигналів, де p і q - цілі числа, з кожного з них виділяють по одній, або/і по декілька компонент, і отримують, відповідно, p і q компонент або груп компонент модульованих сигналів, перетворюють частоту кожної компоненти або частот, кожної групи компонент одного модульованого сигналу по відношенню до частоти компоненти, або частот груп компонент другого модульованого сигналу, ВИДІЛЯЮТЬ напруги ІНШИХ частот, причому, перетворення частот виконують послідовно $i=1,2,3, \dots$ раз і одержують одну або декілька напруг ПЧ

Запропонований радіотехнічний модуляційний пристрій (далі - пристрій) для здійснення способу має в своєму складі перший і другий модулятори, перший і другий генератори, перший і другий розгалужувачі, синтезатор, блок перетворення частот (БПЧ) і фільтр, причому, перший і другий модулятори з'єднані послідовно в першому каналі пристрою, вхід першого модулятора є першим входом пристрою, БПЧ послідовно з'єднаний з Фільтром,

перший і другий генератори з'єднані послідовно, відповідно, з першим і другим розгалужувачами, перші виходи яких підключені до керуючих входів, відповідно, першого і другого модуляторів, а другі виходи - відповідно до першого і другого входів синтезатора, вихід якого і вихід Фільтра є виходами пристрою

У відповідності з винаходом, в пристрій додатково введені послідовно з'єднані третій генератор і третій розгалужувач, четвертий генератор четвертий розгалужувач, третій модулятор і четвертий модулятор в другому каналі пристрою, а синтезатор виконаний чотиривходовим, причому, вхід третього модулятора з другим входом пристрою, до входів БПЧ підключені виходи, відповідно, другого і четвертого модуляторів

Далі, модуль пристрою представляє собою послідовне з'єднані двовходовий суматор і перетворювач частот (ПРЧ)

Крім того, модуль пристрою додатково містить другий фільтр, який включений між суматором і ПРЧ

Далі модуль пристрою додатково містить в собі п'ятий розгалужувач і послідовне з'єднані третій фільтр і другий ПРЧ, пристрій також містить в собі четвертий фільтр, причому, вхід п'ятого розгалужувача підключений до виходу суматора, а виходи - відповідно до другого і третього фільтрів, а вихід другого ПРЧ підключений до четвертого фільтра пристрою і вихід четвертого фільтра є третім ВИХОДОМ пристрою

Другий варіант розвитку пристрою полягає в тому, що його модуль містить в собі шостий і восьмий розгалужувачі, п'ятий, шостий, сьомий і восьмий фільтри, третій і четвертий ПРЧ, пристрій також містить в собі дев'ятий фільтр, причому, перші виходи шостого і сьомого розгалужувачів модуля через, відповідно, П'ЯТИЙ і сьомий фільтри підключені до перших входів, відповідно, третього і четвертого ПРЧ, а другі їх ВХОДИ - відповідно через шостий і восьмий фільтри підключені до других входів, відповідно третього і четвертого ПРЧ модуля, причому, перший вихід БПЧ підімкнутий до фільтра, другий вихід БПЧ підімкнутий до дев'ятого фільтра є третім виходом пристрою

Суть винаходів можна пояснити за допомогою фіг 1, фіг 2 і фіг 3

На фіг 1 приведена структурна схема радіотехнічного модуляційного пристрою. Він містить в собі модулятори 1,2,3,4, генератори 5,6,7,8, розгалужувачі 9,10,11,12, синтезатор 13, БПЧ 14, і фільтр 15. БПЧ представляє СОБОЮ модуль перетворення частот (далі - модуль) з двома входами і виходом, які є, відповідно, двома входами і виходом БПЧ

Послідовно з'єднані між собою модулятори 1 і 3, модулятори 2 і 4, генератор 5 і розгалужувач 9, генератор 6 і розгалужувач 10, генератор 7 і розгалужувач 11, генератор 8 і розгалужувач 12. Перші виходи розгалужувачів 9,10,11, і 12 підімкнуті до керуючих входів, відповідно, модуляторів 1,2,3,4, а другі їх виходи - відповідно до першого, другого, третього та четвертого входів синтезатора 13. Виходи модуляторів 3 і 4 підключені, відповідно, до першого і другого входів БПЧ 14. Вихід БПЧ 14

підімкнутий до фільтра 15. Входами пристрою є входи модуляторів 1 і 2, а виходами - виходи синтезатора 11 та фільтра 15.

На фіг 2 приведена структурна схема БПЧ 14. Він (його модуль) представляє собою послідовно з'єднані суматор 16 і ПРЧ 17. Входами БПЧ 14 є входи суматора 16, а виходом - вихід ПРЧ 17.

На фіг 3 приведена ще одна структурна схема БПЧ 14. Він (його модуль) містить в собі розгалужувачі 18, 19, фільтри 20, 21, 22, 23, ПРЧ 24, 25 і фільтр 26 пристрою. На фігурі також показаний фільтр 15 пристрою, виходи розгалужувача 18, відповідно, через фільтри 20, 22 підімкнуті до перших входів, відповідно ПРЧ 24, 25, виходи розгалужувача 19 через фільтри 21, 23 - до других входів ПРЧ 24, 25, виходи яких підімкнуті, відповідно, до фільтрів 15, 26. Входами БПЧ 14 є входи розгалужувачів 18, 19, а виходами - виходи ПРЧ 24, 25.

Перед здійсненням способу в радіотехнічній випробувальній системі формують два високочастотні (ВЧ) сигнали

$$e_1 = E_1 \cos(\omega t + \varphi),$$

$$e_2 = E_2 \cos \omega t, \quad (1)$$

де E_1, E_2 - амплітуда сигналів,

$\omega = 2\pi f$ - кругова частота,

f - частота сигналів,

t - час,

φ - вимірюваний фазовий зсув.

Таку форму (1) мають сигнали при вирішенні різних задач за допомогою фазо- і амплітудновипробувальних і фазо- і амплітудновимірювальних систем.

Суть способу полягає в наступному. Кожен з двох сигналів (1) послідовно два рази модулюють модулюючими напругами неоднакових і некрatних частот. Модулюючі напруги в загальному вигляді можна описати формулою

$$u_i = U_i \cos \Omega_i t, \quad (2)$$

де $i=1, 2, 3, 4$ - число модулюючих напруг

U_i - амплітуда,

$\Omega_i = 2\pi F_i$ - кругова частота*

F_i - частота i -тої модулюючої напруги

Причому, їх частоти некрatні і нерівні

$$F_1 \neq F_2 \neq F_3 \neq F_4, \quad (3)$$

Для здійснення модуляції можна використовувати модуляцію, яка забезпечує

- двосмуговий спектр

амплітудна модуляція (АМ)

балансна модуляція (БМ)

фазова модуляція (ФМД),

- односмуговий спектр

фазова модуляція (ФМО),

АМ, БМ або ФМД з фільтруванням компонент

Для скорочення далі першу групу модуляцій будемо називати двосмуговою модуляцією, а другу групу - односмуговою МОДУЛЯЦІЄЮ (ОМ).

В загальному вигляді модульовані сигнали можна представити

$$e_{1M} = E_1 (C_{01} + A_1) (C_{03} + A_3) \cos(\omega t + \varphi + \Phi_1 + \Phi_3),$$

$$e_{2M} = E_2 (C_{02} + A_2) (C_{04} + A_4) \cos(\omega t + \varphi + \Phi_2 + \Phi_4), \quad (4)$$

де C_{0i} - коефіцієнт компоненти несучої частоти на виході i -го двосмугового модулятора. При АМ $C_{0i}=1$, а при БМ $C_{0i}<1$,

$$A_i = A_i(t) = M_i \cos \Omega_i t, \quad (5)$$

Функція АМ або БМ, яка залежить від часу, M - коефіцієнтам або БМ модульованих сигналів,

$$\Phi_i = \Phi_i(t) = e_i \cos \Omega_i t, \quad (6)$$

Функція ФМ яка залежить від часу в ній e_i - індекс ФМ модульованих сигналів

Таким чином, при АМ

$$C_{0i} \neq 1, M_i > 0, e_i = 0, \quad (7)$$

при БМ

$$C_{0i} < 1, M_i > 0, e_i = 0, \quad (8)$$

При ФМ

$$C_i = 1, M_i = 0, e_i > 0, \quad (9)$$

Можливі випадки одночасного використання різних видів модуляції. Для них по прикладах (7), (8), (9) можна написати умови реалізації того чи іншого варіанту.

Розглянемо два варіанти обробки одержаних модульованих сигналів

- без виділення ВЧ компонент із смугового сигналу,

- з виділенням ВЧ компонент,

Будемо рахувати, що для перетворення частот використовують нелінійні елементи (НЕ) з квадратичною характеристикою.

1. Обробка модульованих ВЧ сигналів без передньої фільтрації.

Частоти компонент кожного з сигналів (4) перетворюють відносно компонент цього сигналу і компонент другого сигналу. Операцію взаємного перетворення частот можна записати так

$$E^2 = (e_{1M} + e_{2M})^2, \quad (10)$$

Внаслідок перетворення одержують компоненти ВЧ, напруги відносно низьких частот (НЧ) і постійну напругу. З них фільтрами виділяють напруги НЧ, які містять інформацію про взаємні характеристики ВЧ сигналів (1). Ці напруги використовують для вимірювання.

Автор виконав математичний аналіз перетворення частот. Наводимо висновки з аналізу.

При БМ або АМ (використовуються УМОВИ (8), або (7) одержують напруги НЧ, які можна РОЗДІЛИТИ на три групи. Напруги першої і другої груп не залежать від фазового зсуву, їх амплітуди пропорційно відповідно, E_1^2 і E_2^2 . Тому їх можна використовувати для вимірювання відносного значення (амплітуд) сигналів (1).

До цих груп відносяться напруги таких частот

- перша група

$$F_1, F_3, 2F_1, 2F_3, F_1 \pm F_3, 2F_1 \pm F_3, F_1 \pm 2F_3, 2F_1 \pm 2F_3, \quad (11)$$

- друга група

$$F_2, F_4, 2F_2, 2F_4, F_2 \pm F_4, 2F_2 \pm F_4, F_2 \pm 2F_4, 2F_2 \pm 2F_4, \quad (12)$$

Частоти напруг третьої групи мають вигляд

$$F_1, F_2, F_3, F_4, F_1 \pm F_2, F_1 \pm F_3, F_1 \pm F_4, F_2 \pm F_3, F_2 \pm F_4, F_3 \pm F_4, \\ \pm F_1 \pm F_2 \pm F_3, \pm F_1 \pm F_2 \pm F_4, \pm F_1 \pm F_3 \pm F_4, \pm F_2 \pm F_3 \pm F_4, \pm F_1 \pm F_2 \pm F_3 \pm F_4, \quad (13)$$

Іх амплітуди пропорційні добутку $E_1, E_2 \cos \varphi$, що дозволяє використовувати їх для вимірювання фазового зсуву крім того, амплітуди пропорційні добутку чотирьох коефіцієнтів, серед яких - коефіцієнти несучої і модуляції. Має місце таке правило однозначності: чим більше частот входить в комбінаційну частоту (13), тим більше в добутку коефіцієнтів модуляції і тим менше коефіцієнтів несучої, а їх кількість незмінна. Наприклад, постійна складова пропорційна лише чотирьом коефіцієнтам

несучої, а компонента частоти, яка складається з чотирьох частот, пропорційна добутку чотирьох коефіцієнтів МОДУЛЯЦІЇ.

З порівняння частот трьох розглянутих груп випливає, що деякі частоти третьої групи співпадають з частотами другої чи першої груп. До таких частот належать частоти модулюючих напруг і частина комбінаційних частот, в склад яких входить не більше двох частот. Ці напруги небажано використовувати для вимірювання взаємних характеристик ВЧ сигналів, току що буде велика похибка вимірювань. Наприклад, в [2] використовують частоти F_1+F_3 або F_1-F_3 , але на цих частотах є складові, які залежать від фазового зсуву і не залежать від нього. Тому при вимірюванні взаємних характеристик мають місце похибки вимірювань і бажання їх зменшити приводить до звуження динамічного діапазону.

В запропонованому винаході потрібно застосовувати для вимірювань ті напруги, які не мають складових цієї ж частоти в інших групах. До таких належать напруги частот, які одержані від комбінації чотирьох частот, трьох частот, а також тих двох частот, які відносяться до різних модульованих сигналів. В цих випадках немає похибки, зумовленої паразитними компонентами, завдяки цьому в багато разів ЗБІЛЬШУЄТЬСЯ точність і розширюється динамічний діапазон.

При БМ з цих напруг бажано вибирати комбінаційні частоти по критерію, найбільшого рівня напруги. Тому слід вибирати напруги комбінаційних частот в такій послідовності чотирьохчастотні, трьохчастотні, двох частотні. Якщо використовують АМ, то при $M=1$ (що на практиці легко виконати) цей критерій відсутній. При використанні ФМД (виконуються умови (9))

- амплітуди НЧ напруг пропорційні

добутку амплітуд сигналів (I),

добутку чотирьох функцій Бесселя першого

роду n -го порядку від аргумента - індекса e . При аналізі були використані ряди функцій Бесселя зі збереженням трьох перших членів рядів. Тому $n=1,2,3,4,5$,

синусу або КОСИНУСУ фазового зсуву

- одержані напруги НЧ мають частоти, які дорівнюють

частотам модулюючих напруг,

комбінаційним частотам модулюючих напруг,

комбінаційним частотам гармонік частот модулюючих напруг,

комбінаційним частотам модулюючих напруг і їх гармонік.

Таким чином, при використанні ФМД значно збагачується і розширюється спектр напруг в порівнянні з використанням АМ або БМ. З цих напруг виділяють напруги, амплітуди яких пропорційні синусу і косинусу фазового зсуву і їх використовують для вимірювання цієї характеристики.

Для вимірювання відносних рівнів амплітуд сигналів (I) потрібно забезпечити фіксоване значення однієї з них і по вимірюваному фазовому зсуву в обчислювачі вимірюють амплітуду другого сигналу.

При використанні ОМ (виконуються умови (9)), наприклад, якщо модулюючі напруги забезпечують

пилкоподібну модуляцію [2], або лінійну модуляцію [1], то на виході реальних модуляторів забезпечують несиметричний спектр. Найбільшими в ньому є компоненти корисна бічна, залишок несучої і паразитна (зеркальна) бічна. Як правило, ці компоненти зумовлюють найбільший вплив, тому їх використовують в аналізі.

Для здійснення аналізу будемо рахувати, що коефіцієнти цих компонент позначені через C з індексами, перша цифра

який означає номер модулятора, 1,2,3,4, а друга цифра - 1,0, -1- номер компоненти корисної бічної, залишка несучої і паразитної бічної. Тоді компоненти на виході кожного модулятора, пропорційні коефіцієнтам C_{11}, C_{10}, C_{1-1} .

При такій модуляції в запропонованому способі після другого разу модуляції кожного сигналу (I) амплітуди кожної компоненти будуть пропорційні добутку двох вищезгаданих коефіцієнтів.

Автор виконав аналіз цього способу з урахуванням дій по алгоритму (10) зроблені на його основі висновки в загальному вигляді співпадають з висновками по способу на основі АМ і БМ. Тому зупинимось конкретно лише на варіантах вимірювання базового зсуву з найменшою похибкою. Серед цих напруг є одна з найбільшою амплітудою

$$U = E_1 E_2 C_{11} C_{21} C_{31} C_{41} \cos[(F_1 - F_2 + F_3)t + \varphi], \quad (14)$$

яку і потрібно використовувати для вимірювання фазового зсуву по відношенню до ДОПОМІЖНОЇ напруги ПЧ, ЯКУ формують з модулюючих напруг.

В цьому випадку похибка зумовлена паразитною компонентою

$$U_n = E_1 E_2 C_{1-1} C_{2-1} C_{3-1} C_{4-1} \cos[F_1 - F_2 + F_3 - F_4)t - \varphi] \quad (15)$$

Відповідно похибку вимірювань можна розрахувати по формулі

$$\Delta Y = \frac{C_{1-1} C_{2-1} C_{3-1} C_{4-1}}{C_{11} C_{21} C_{31} C_{41}} \sin 2\varphi \quad (16)$$

З цього ж аналізу випливає, що похибка, яка характеризує спосіб-прототип [2], розраховується по формулі (17), яка приведена в додатку на с. 19.

При реалізації запропонованого способу найбільше значення похибки (16) залежить від відносних рівнів дзеркальних бічних компонент. При їх значеннях -20 дБ (0,1 раз) похибка менше $0,006^\circ$.

Для прототипу [2] максимальне значення похибки (17), при $E_1 = E_2$, $C_{10} = C_{30} = -14$ дБ (0,2раз), тобто, в 400 раз більша від (16). Для зменшення похибки хоча б в 10 раз потрібно забезпечити $E_1/E_2 = 0,1$ і $C_{1-1} = C_{3-1} \approx -30$ дБ. Але цей незначний результат може бути досягнутий лише за рахунок звуження динамічного діапазону на 20дБ, значного підвищення вимог до чистоти спектру модульованого сигналу.

Це порівняння якраз характеризує великі переваги запропонованого способу в порівнянні з прототипом.

Інші частотні варіанти згадані вище в цьому способі, хоч і мають похибку, яка не залежить від амплітуд сигналів (I), але, її значення на один - два порядки більше, ніж яри вимірюванні по напрузі (14).

В залежності від напрямку зміщення частот, при модуляціях розглянутий режим можна забез-

печити на восьми різних комбінаційних частотах

З аналізу витикає, що реалізація способу можлива ПРИ використанні одного виду модуляції або різних видів модуляції, наприклад, двох, трьох або чотирьох видів (по кількості раз модуляції)

При здійсненні способу операції по (10) можна замінити на операції перемноження компонент модульованих сигналів (4) В цьому випадку в НЧ спектрі буде менше напруг, що полегшує виділення корисних складових

2 Обробка модульованих ВЧ сигналів з виділенням ВЧ компонент за допомогою фільтрування

Якщо здійснена дво-, або односмугова модуляція ВЧ сигналів, то можна піти к шляхом виявлення з модульованих сигналів окремих компонент, перетворення їх частот і виділення напруг, які містять інформацію про вимірювані характеристики Цей спосіб інваріантний до виду модуляції Він забезпечує одержання напруг, наприклад, виду (14), які використовують при вимірюванні

Один з можливих варіантів способу полягає в тому, що модульовані ВЧ сигнали розгалужують відповідне, на p і q модульованих ВЧ сигналів, де p і q - цілі числа З кожного з них виділяють по ОДНІЙ, або/і по декілька компонент, перетворюють частоту (частоти) одного виділеного сигналу по відношенню до частоти (частот) іншого виділеного сигналу З продуктів перетворення виділяють напруги інших частот Перетворення частот виконують послідовно $q=1,2,3$, раз і одержують одну, або декілька напруг заданих ПЧ

З аналізу запропонованого способу модуляції і його варіантів видно, що реалізація способу модуляції забезпечує досягнення поставленої мети, тобто, значне, в десятки раз, підвищення точності вимірювань і значне розширення динамічного діапазону Причому, розглянуті варіанти забезпечують також значне розширення областей використання способу

По запропонованому способу розроблений радіотехнічний модуляційний пристрій, структурна схема якого приведена на фіг 1, а два варіанти БПЧ - на фіг 2 і фіг 3 Склад пристрою і блоків та зв'язки між блоками і вузлами пристрою БПЧ наведені вище Розглянемо роботу пристрою

На входи пристрою фіг 1 подають два ВЧ сигнали (1), взаємні характеристика МДЖ якими потрібно виміряти В кожному ВЧ каналі пристрою за допомогою модуляторів 1,3,12,4 сигнали два рази модулюють модулюючими напругами (2) некратних і неодинакових частот (3) Ці напруги формують за допомогою генераторів 5,6,7,8, з яких вони через розгалужувачі 9,10,11,12, поступають на керуючі входи, відповідно, модуляторів 1,2,3,4, а також на чотири входи синтезатора 13 В останньому формують допоміжну напругу ПЧ, яку використовують при вимірюванні Одержані модульовані сигнали (4) поступають на входи БПЧ 14, в якому перетворюють частоти їх компонент З продуктів перетворення частот за допомогою фільтра 15 виділяють напругу ПЧ Допоміжна напруга ПЧ і напруга ПЧ поступають на виходи пристрою По цих напругах вимірюють фазовий зсув Для вимірювання відношення амплітуд сигналів в БПЧ фо-

рмують дві напруги ПЧ, в яких міститься інформація про амплітуди ВЧ сигналів (1) (елементи виділення цих напруг ПЧ на фіг 1 не показані) Як було показано в способі, пристрій може забезпечувати модуляцію сигналів різними видами модуляції в усіх випадках забезпечують перенос інформації на напруги ПЧ

Модуль БПЧ можна виконувати по різних схемах Розглянемо їх по критерію кількості входів ПРЧ модуля

1 Використання вбач одно входових ПРЧ

1.1 Модуль БПЧ фіг 2 виконаний з послідовно з'єднаних двовходового суматора 16, і одноходового ПРЧ 17 В цьому БПЧ з (4) формують складений ВЧ сигнал і перетворюють частоту кожного його компоненти по відношенню до своєї і інших компонент

ВИЩЕ БУЛО показано, що при такому перетворенні частот виділяють компоненти напруг ПЧ, які містять характеристику сигналів (1)

1.2 Модуль БПЧ представляє собою послідовно з'єднані двовходовий суматор і двовходовий розгалужувач, виходи якого через фільтри підключені до одноходових ПРЧ В цьому БПЧ два кола з ПРЧ можуть забезпечити одержання напруг ПЧ з інформацією про базовий зсув, або про фазовий зсув і амплітуди сигналів (на КОЖНОМУ виході чи на різних виходах)

Другий фільтр можна настроїти на такі компоненти, які, внаслідок перетворення частот, забезпечать на ПЧ інформацію як про фазовий зсув, так і про амплітуди сигналів (1)

1.3 Модуль БПЧ представляє собою послідовно з'єднані двовходовий суматор і двовходовий розгалужувач, виходи якого через фільтри підключені до одноходових ПРЧ В цьому БПЧ два кола з ПРЧ можуть забезпечити одержання напруг ПЧ з інформацією про базовий зсув, або про фазовий зсув і амплітуди сигналів (на КОЖНОМУ виході чи на різних виходах)

2 Використання в БПЧ двовходових ПРЧ

2.1 Модуль БПЧ представляє собою ДВО-ВХОДОВИЙ ПРЧ На виході ПРЧ є необхідні напруги, які потрібно виділити і вимірювати характеристики сигналів (1)

2.2 Модуль БПЧ фіг 3 представляє собою схему, в якій два вхідні розгалужувачі 18,19 виходами підімкнуті до двох двовходових ПРЧ 24,25 через відповідно, фільтри 20,22 і 21,23 На входи розгалужувачів БПЧ подають модульовані ВЧ сигнали (4) Кожний з них розгалужують на два складних сигнали

З одержаних модульованих сигналів за допомогою фільтрів виділяють p і q окремих компонент, або/і груп компонент Для БПЧ фіг 3 $p=q=2$ Частоти виділених компонент перетворюють по відношенню до частот інших компонент даного ПРЧ і одержують напруги, з яких за ДОПОМОГОЮ ФІЛЬТРІВ 15 і 16, пристрою ВИДІЛЯЮТЬ ті напруги ПЧ, які містять в собі інформацію про фазовий зсув чи/і рівні сигналів Для цього можна використати також допоміжні фільтри, які на фіг 1, фіг 3 не показані

Для БПЧ фіг 3 кількість перетворень частот $q=1$ Але кількість перетворень частот може БУТИ БІЛЬШОЮ, тобто $q>1$ їх реалізують в тому випад-

ку, якщо потрібно змінити частоту, форму представлення інформації, тощо

Запропонований пристрій характеризується тими ж похибками вимірювання взаємних характеристик сигналів (I), що і спосіб. Особливість пристрою в тому, що його БПЧ може бути використаний по різних схемах. Тому потрібно розглянути похибку, зумовлену кінцевою розв'язкою між входами БПЧ.

Можна показати, що для схем БПЧ з двох виходів суматорами формула для оцінки має вигляд

$$\Delta_{\text{ФФМ}} \approx P(\Gamma_3 + \Gamma_4) \quad (18)$$

де P - розв'язка (по модулю) між входами суматора,

Γ_3, Γ_4 - коефіцієнти відбиття (по модулю) від виходів модуляторів 3,4 пристрою.

При $P=0,01$, $\Gamma_3=\Gamma_4=0,05$ похибка вимірювання фазового зсуву не перевищує $0,06^\circ$. По аналогічній формулі можна розрахувати похибку, зумовлену розв'язкою розгалужувачів і ПРЧ.

Похибка вимірювання разового зсуву, зумовлена проходженням сигналів на фіг 1 через ПРЧ і фільтри також може бути забезпечена малою, оскільки фільтри настроєні на різні частоти. Для одного кола, наприклад, фільтр 22, ПРЧ 25 і фільтр 23, похибка, зумовлена розв'язкою ПРЧ 25, ослабленням сигналу в фільтрі 23 і коефіцієнтом відбиття від виходу розгалужувача 19. Добуток цих величин можна забезпечити рівним 10^{-4} , що зумовлює нехтує малу похибку.

Загальний вплив розглянутих похибок в пристрої можна забезпечити $0,1-0,2^\circ$.

В пристрої кожний модулятор виконує дві функції - модулятора і компенсатора для модулятора іншого каналу. Компенсатор найточніше виконує свої функції, якщо він аналогічний по схемі і конструкції відповідному модулятору. Тому з максимальної кількості можливих комбінацій включення в пристрій різних видів модуляторів є два найвигідніші

- івсі модулятори однотипові,
- два модулятори, включені в різні канали, од-

ного типу, а другі два - іншого, але також одного типу.

Для першого варіанту можна використовувати лише один вид двосмугових або односмугових модуляторів. Для другого варіанту з цих модуляторів можна використати лише два типи модуляторів. При виконанні цих умов похибка по фазі, зумовлена неідентичністю модуляторів, може бути забезпечена порядком $0,1-0,2^\circ$.

Можна показати, що похибки вимірювань відносних рівнів сигналів (I) розраховуються аналогічно і мають такі ж малі значення.

З аналізу винаходу-пристрою витікає, що

- мета винаходу - значне підвищення точності вимірювань і значне розширення динамічного діапазону - досягнута,

- можливість використання різних видів модуляторів робить пристрій технологічним і розширює області його використання,

- схема фіг 1 показує шлях розвитку пристрою в напрямі збільшення кількості модуляторів до трьох і більше к одному каналу. Це додатково підвищує точність вимірювань і зберігається технологічність пристрою, особливо при використанні простих в схемному відношенні модуляторів.

Використання запропонованих винаходів забезпечує досягнення поставленої мети, що в свою чергу, забезпечує ВЕЛИКИЙ науковий, науково-технічний і економічний ефекти.

Додаток до опису

Похибка, зумовлена паразитними компонентами спектру модульованого сигналу в способі-прототипі X2], може бути розрахована по формулі

$$\Delta\varphi = \frac{\frac{E_1}{E_2} C_{10} C_{30} (C_{11} C_{31} + C_{1-1} C_{3-1}) \sin\varphi + C_{1-1} C_{3-1} \sin 2\varphi}{1 + \frac{E_1}{E_2} C_{10} C_{30} (C_{11} C_{31} + C_{1-1} C_{3-1}) \cos\varphi + C_{1-1} C_{3-1} \cos 2\varphi}$$

(17)

При $E_1/E_2 \neq 1$, $C_{11}=C_{31}=1$, $C_{10}=C_{30}=-14\text{дБ}$ ($0,2$ раз), $C_{1-1}=C_{3-1}=-20\text{дБ}$ ($0,1$ раз) максимальне значення похибки (17) дорівнює $\approx 2,3^\circ$.

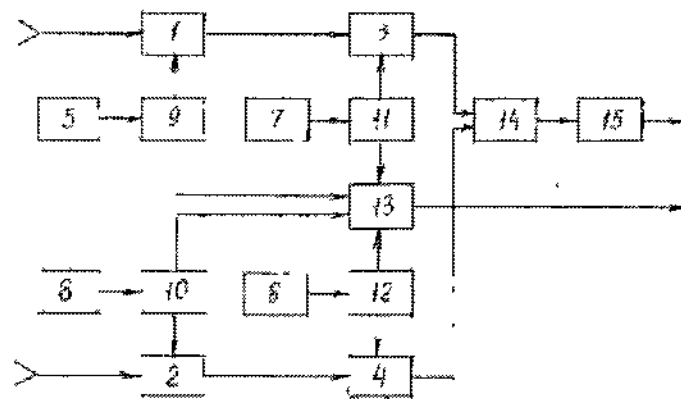


Fig. 1



Fig. 2

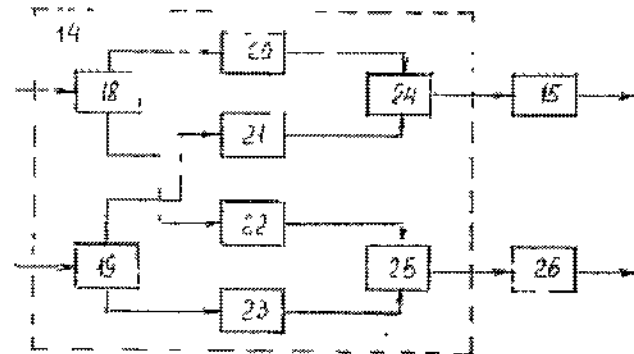


Fig. 3

ДП «Український інститут промислової власності» (Украпатент)
вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна
(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна
(044) 216 – 32 – 71