



УКРАЇНА

(19) UA (11) 48641 (13) A

(51) G 01 R 25/00, G 01 R 25/04, G 01 R 27/28

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

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ФАЗОВОГО ЗСУВУ

1

2

(21) 2001107413

(22) 31 10 2001

(24) 15 08 2002

(46) 15 08 2002, Бюл. № 8, 2002 р.

(72) Огороднічук Леонід Дмитрович

(73) Огороднічук Леонід Дмитрович

(57) Спосіб вимірювання фазового зсуву, у відповідності з яким генерують першу і другу напруги неоднакових і некрatних частот, їх розгалужують відповідно на третю і четверту, п'яту і шосту напруги, перший і другий порівнювальні сигнали, частоту яких вибирають в одному з високочастотних діапазонів, модулюють відповідно третьою і шостою напругами, формують складений сигнал, здійснюють перетворення частот і виділяють вимірювальну напругу, формують опорну напругу і

вимірюють фазовий зсув, який відрізняється тим, що з складеного сигналу формують другий складений сигнал і перетворюють частоти його компонент, додатково виділяють $(n-1) \geq 1$ вимірювальних напруг, четверту і п'яту напруги комутують синхронно таким чином, що в один інтервал часу комутації одержують відповідно сьому і восьму напруги і з них формують опорну напругу, а в другий інтервал часу комутації забезпечують відсутність сьомої і восьмої напруг, а фазовий зсув вимірюють по опорній і вимірювальних напругах, частоти яких дорівнюють комбінаційним частотам першої і другої напруг, причому перший і другий сигнали модулюють переважно за допомогою амплітудної або/і балансної модуляції

Винахід відноситься до фазової радіотехніки і може бути використаний для вимірювання фазових зсувів між сигналами та фазових характеристик багатополісників у високочастотних (ВЧ) діапазонах

Відомі способи вимірювання фазового зсуву. Вони описані, наприклад, в такій науково-технічній (НТ) літературі:

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

2 Ларкин Ю.Ф. Двукратное серродинирование в измерителях коэффициента передачи и отражения на СВЧ - Известия ВУЗов СССР Радиотехника, 1965, №6, с 715 - 718

3 Огороднічук Л.Д. СВЧ фазометр с двумя фазовыми модуляторами - Известия ВУЗов СССР Радиотехника, 1968, №4, с 370 - 373

Загальною особливістю відомих способів є використання односмугової модуляції (ОМ), одержання складеного ВЧ сигналу, формування вимірювальної та опорної напруг і вимірювання фазового зсуву

Найближчим до запропонованого є спосіб, що описаний в [3]. У відповідності з ним генерують першу і другу напруги неоднакових і некрatних частот, їх розгалужують відповідно на третю і чет-

верту, п'яту і шосту напруги. Перший і другий сигнали, частоти яких вибирають в одному з ВЧ діапазонів і між якими вимірюють фазовий зсув, модулюють відповідно третьою і шостою напругами, формують складений сигнал, здійснюють перетворення частот, виділяють вимірювальну напругу, формують опорну напругу і вимірюють фазовий зсув. Цей спосіб прийнято за прототип

Недоліком способу-прототипу є наявність великої похибки вимірювань, зумовленої недостатньою розв'язкою між колами сигналів і моделюючих напруг, а також низькою роздільною здатністю індикації фазового зсуву

Метою винаходу є підвищення точності вимірювань

В основу винаходу поставлена складна задача такого удосконалення способу, в якому, шляхом введення нових операцій і відповідної послідовності операцій, забезпечується значне підвищення точності

За допомогою прототипу такі результати одержати неможливо, оскільки він не має тих нових суттєвих ознак, які входять в сукупність суттєвих ознак винаходу

В запропонованому способі вимірювання фазового зсуву, у відповідності з яким генерують першу і другу напруги неоднакових і некрatних час-

(13) A

(11) 48641

(19) UA

тот, їх розгалужують відповідно на третю і четверту, п'яту і шосту напруги. Перший і другий порівнювальні сигнали, частоти яких вибирають в одному з ВЧ діапазонів і між якими вимірюють фазовий зсув, модулюють відповідно третьою і шостою напругами, формують складений сигнал, здійснюють перетворення частот, виділяють вимірювальну напругу, формують опорну напругу і вимірюють фазовий зсув, поставленої мети досягають тим, що з складеного сигналу формують другий складений сигнал і перетворюють частоти його компонент, додатково виділяють $(n - 1) \geq 1$ вимірювальних напруг, четверту і п'яту напруги комутують синхронно таким чином, що в один інтервал часу комутації одержують відповідно сьому і восьму напруги і з них формують опорну напругу, а в другий інтервал часу комутації забезпечують відсутність сьомої і восьмої напруг, а фазовий зсув вимірюють по опорній і вимірювальних напругах, частоти яких дорівнюють комбінаційним частотам першої і другої напруг, причому, порівнювальні сигнали модулюють переважно по амплітуді.

Суть способу полягає в наступному. Приймають два сигнали, фазовий зсув ϕ між якими потрібно вимірювати. Сигнали мають одну частоту f , яку вибирають в одному з ВЧ діапазонів. Сигнали модулюють напругами неоднакових і некрatних частот F_1 і F_2 відповідно. Ці частоти фіксовані або можуть змінюватися, їх значення вибирають значно меншими частоти сигналів

$$f \gg F_1, f \gg F_2, (1)$$

Після незалежної модуляції одержують модульовані сигнали у загальному випадку з двосмуговим спектром. Спектр може бути симетричним відносно несучої частоти чи несиметричним. Його можна забезпечити за допомогою амплітудної модуляції (АМ), балансної модуляції (БМ), або, наприклад, односмугової модуляції (ОМ).

Модульовані сигнали підсумовують і одержують складений сигнал. З нього формують другий складений сигнал, наприклад, за допомогою фільтрів, підсилювачів, тощо. Його структура відповідає значенню загальної складової похибки вимірювань. Частоти другого складеного сигналу перетворюють і одержують $n \geq 2$ вимірювальних напруг проміжних частот (ПЧ), які і несуть інформацію про фазовий зсув $\pm k\phi$, де ціле число $k \geq 1$.

Значення ПЧ в загальному випадку визначається формулою

$$F_{ПЧ} = l \pm qF_1 \pm cF_2, (2)$$

де q і c - цілі числа

В окремому випадку

$$F_{ПЧ1,2} = l \pm F_1 \pm F_2, (3)$$

Для модуляції сигналів генерують першу і другу напруги неоднакових і некрatних частот F_1 і F_2 . Їх розгалужують відповідно на третю і четверту, п'яту і шосту напруги. За допомогою третьої і шостої напруг здійснюють модуляцію відповідно першого і другого сигналів. Четверту і п'яту напруги синхронно комутують. Завдяки цьому одержують відповідно сьому і восьму напруги, які являються перервними. Назвемо відрізки часу періодів комутації відповідно першими і другими. З сьомої і восьмої напруг формують опорну напругу. В перші відрізки часу вона є, а в другі - відсутня.

Вимірювання фазового зсуву здійснюють по

вимірювальних напругах в другі відрізки часу. Наприклад, при $k = 1$ одержують фазовий зсув 2ϕ , при $k = 2$ одержують 4ϕ , тощо. Коефіцієнти перед ϕ означають, що роздільна здатність при вимірюванні збільшується у відповідне число разів. Це дає змогу підвищити точність вимірювань, але при цьому виникає невизначеність вимірювань. Для того, щоб уникнути цього недопiku, формують шкалу $0 \dots 360^\circ$ за допомогою опорної напруги і однієї з вимірювальних напруг, наприклад, яка характеризується коефіцієнтом $k = 1$. Така шкала допомагає "грубо" виміряти фазовий зсув і розкрити невизначеність вимірювань. А точні вимірювання здійснюють по вимірювальних напругах.

Особливістю цього способу вимірювання фазового зсуву є те, що точні вимірювання здійснюють в других інтервалах часу комутації, коли відсутні сьомі, восьмі, а отже і опорна напруги. А це означає, що кола між сигналами і четвертою та п'ятою напругами розірвані. Це дає змогу уникнути паразитних пролазів і анулювати відповідні похибки вимірювань, які є великими в прототипі.

В перші інтервали часу комутації має місце опорна напруга. Забезпечується однозначність вимірювань. При цьому забезпечується лише розкриття невизначеності в межах $0 \dots 360^\circ$, на що згадана похибка не впливає.

Оскільки розкриття невизначеності - також вимірювання, то це означає, що його здійснюють по опорній і вимірювальних напругах.

Розглянемо способи модуляції при вимірюваннях. Для першого прикладу будемо вважати, що (як виняток) $n = 1$, $k = 1$ і є опорна напруга. Вимірювання здійснюють між опорною і першою вимірювальною напругами. В цьому прикладі для формування першої вимірювальної напруги можна використати АМ, БМ, ОМ. Цими видами модуляції можна забезпечити формування однакової структури другого складеного сигналу, а, отже, і однакокий результат при вимірюванні фазового зсуву. Тому всі методи з цими різними видами модуляції слід вважати еквівалентними.

Розглянемо другий приклад $n = 2$, $k = \pm 1$. Для вимірювання потрібно формувати опорну напругу і дві вимірювальні напруги. Один із варіантів формування двох вимірювальних напруг є формування двосмугового другого складеного сигналу. Для цього слід використати двосмугову модуляцію АМ, або/і БМ, а також ОМ з відносно малим ослабленням бічних паразитних компонент. Можна також використати комбінацію цих методів формування вимірювальних напруг. Всі методи формування другого складеного сигналу, які забезпечують однакові результати вимірювання фазового зсуву, є рівноточними. Але вони відрізняються від методів, які характеризують способи, описані в першому прикладі. Таким чином, для кожної реалізації способу є варіанти формування другого складеного сигналу, які можна вважати еквівалентними.

З вищезгаданих пояснень способу витикає, що вимірювання незалежні від зв'язків між сигналами і моделюючими напругами.

Розглянемо три можливих варіанти здійснення способу при інших співвідношеннях між частотами.

Перший варіант. Він характеризується тим, що $f \approx F_1$, $F_2 = 0$, $F_{ПЧ} = l f - F_1$ (4)

Для здійснення умов (4), необхідно міжканалове коло фазометра будувати по схемі, в якій з'єднані перший комутатор, розгалужувач, другий комутатор. До входу розгалужувача підключений генератор частоти F_1 , до управляючих входів комутаторів підімкнуті виходи синхронізатора, виходи комутаторів підключені до управляючих входів модуляторів (змішувачів).

Робота схеми полягає в наступному. За допомогою комутаторів комутують по черзі напругу генератора. Завдяки цьому модуляцію (перетворення частоти) сигналів здійснюють по черзі першого, другого, першого, другого і т.д. При індикації фазового зсуву по вимірювальних напругах ПЧ (4в) потрібно одну з вимірювальних напруг затримати на інтервал часу, який дорівнює інтервалові комутації другого сигналу (положенню комутатора "виключено").

Другий варіант. Він характеризується тим, що $f \approx F_1$, $f \approx F_2$, (5)

$$F_{ПЧ1} = |f - F_1|, F_{ПЧ2} = |f - F_2| \quad (6)$$

$$F_{ПЧ0} = |F_1 - F_2| \quad (7)$$

Для здійснення умов (5), (6), (7) необхідно міжканалове коло фазометра будувати по схемі, в якій з'єднані перший розгалужувач, перший комутатор, третій змішувач, другий комутатор і другий розгалужувач. До входів розгалужувачів підключені відповідно перший генератор частоти F_1 і другий генератор частоти F_2 . До управляючих входів комутаторів підімкнуті відповідні виходи синхронізатора. Перший вихід першого розгалужувача підімкнутий до управляючого входу першого модулятора (змішувача), а другий вихід другого розгалужувача — до управляючого входу другого модулятора (змішувача).

Робота схеми полягає в наступному. Перший і другий сигнали поступають на сигнальні входи відповідних модуляторів. В них за допомогою модулюючих напруг першого і другого генераторів здійснюють модуляцію (перетворення частот) сигналів. На виходах модуляторів одержують першу і другу вимірювальні напруги відповідно проміжних частот (6а), (6б). Окрім цього модулюючі напруги надходять через комутатори на входи третього змішувача. В ньому здійснюють перетворення час-

тот і на виході одержують опорну напругу ПЧ (7). Комутатори - двопозиційні, працюють в синхронному режимі. При включених комутаторах має місце опорна напруга, при виключених - її немає.

Для забезпечення вимірювання фазового зсуву в індикаторі потрібно

- затримати опорну напругу на інтервал часу комутації,

- привести шляхом перетворення три проміжні частоти (6), (7) до одного значення і відповідно до двох вимірювальних напруг.

Третій варіант. Він відрізняється тим, що в міжканаловому колі ввімкнуті чотири комутатори. В схему послідовно ввімкнуті такі вузли: перший комутатор, перший розгалужувач, другий комутатор, третій змішувач, третій комутатор, другий розгалужувач і четвертий комутатор.

До входів розгалужувачів підімкнуті генератори відповідно частот F_1 і F_2 , а виходи першого і четвертого комутаторів підімкнуті до управляючих входів модуляторів (змішувачів) відповідних каналів. Перший і четвертий комутатори і відповідно другий і третій комутатори в парах працюють синхронно, а між парами - протифазно. В індикаторі також потрібно використовувати затримку і напруги приводити до однієї частоти.

В розглянутих варіантах загальною особливістю є комутація напруг в міжканаловому колі таким чином, щоб напруги ПЧ формувалися в різні відрізки часу, і введення затримки однієї з напруг ПЧ для суміщення в часі її з іншою напругою ПЧ.

Завдяки комутації забезпечується розрив міжканалового кола в цей проміжок часу і теоретично зникає похибка вимірювання фазового зсуву, зумовлена розв'язкою по міжканаловому колу.

Таким чином, в варіантах, які забезпечують виконання умов (4) - (7), підвищення точності вимірювання фазового зсуву забезпечують комутацією моделюючих напруг і з одночасною затримкою напруги (напруг) ПЧ.

Використання запропонованого способу забезпечує значне підвищення точності вимірювань в діапазонах ВЧ.

Це забезпечує великий науково-технічний та економічний ефекти.