

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

ПОЛІВКІН СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.371.3

**РАДІОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ НА ОСНОВІ
ГОМОДИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ДИСКРЕТНИМ ЗМІНЕННЯМ
ФАЗИ ОПОРНОГО СИГНАЛУ**

05.12.17 — радіотехнічні та телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків — 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Севастопольському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Широков Ігор Борисович
Севастопольський національний технічний університет Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
доцент кафедри радіотехніки та телекомунікацій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Антіпов Іван Євгенійович
Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
завідувач кафедри Радіоелектронних пристроїв

доктор технічних наук, професор
Яненко Олексій Пилипович
Національний технічний університет України «КПІ» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,
професор кафедри Радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Захист відбудеться "12" березня 2013 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 66061, м. Харків, просп. Леніна, 14, ауд. 13.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 66061, м. Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розіслано “ ____ ” лютого 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Створення засобів вимірювання кількісних та якісних параметрів речовин та їх потоків у технологічних процесах — це актуальна наукова та технічна задача. Її вирішення здатне забезпечити істотне підвищення якості продукції та високий ступень автоматизації виробництва. Ця задача виникає при розробці систем неруйнівного контролю у хімічній, харчовій, будівельній галузях промисловості, при створенні систем моніторингу навколишнього середовища і тому подібне.

Існуючі в даний час системи неруйнівного контролю кількісних та якісних параметрів речовини частіше за все базуються на мікрохвильових амплітудних методах отримання інформації про об'єкт, параметри якого визначаються. Разом з тим відомо, що використання фазових методів отримання інформації дозволяє більш повно визначити вказані характеристики об'єкту. Головними недоліками існуючих мікрохвильових вимірювальних приладів є складність, значні габарити та маса, що пов'язано в тому числі з необхідністю використання в їх складі кількох високостабільних мікрохвильових генераторів. Це обмежує їх застосування лабораторними дослідженнями і практично виключає можливість експлуатації у складі промислового обладнання.

Тому розробка радіотехнічних систем вимірювання параметрів речовини, матеріалів, об'єктів та середовищ з використанням гомодинних перетворювачів з дискретним змінням фази опорного сигналу є актуальною задачею. Вирішення цієї задачі дозволяє створити засоби для дистанційного вимірювання товщини шару матеріалу, швидкості потоку речовини, та положення межі розподілу рідин, а також реалізувати засоби контролю складу речовини по змінню її діелектричної проникності.

В дисертації пропонується підхід до вирішення завдання створення мікрохвильових вимірювальних приладів на основі гомодинних перетворювачів з дискретним змінням фази опорного сигналу. Цей метод забезпечує можливість переносу інформації про модуль та аргумент коефіцієнту передачі матеріалу, який досліджується, в область низьких частот, що істотно спрощує процес подальших вимірів.

Таким чином, актуальною є тема дисертаційних досліджень, спрямованих на вивчення та розробку радіотехнічних вимірювачів параметрів речовин, матеріалів, об'єктів та середовищ з використанням гомодинних перетворювачів з дискретним змінням фази опорного сигналу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Результати, отримані в дисертації, відбиті у наступних науково-дослідних роботах: НДР «Розробка методів контролю вмісту вологи в багатокомпонентній суміші, яка загрузається в змішувальну камеру в технологічній лінії виробництва цегли», № ДР 0105U004340 — 2006 р., держбюджетна НДР «Мікрохвильові методи і засоби контролю параметрів радіотехнічних систем, технологічних

процесів і матеріалів», шифр Перетворювач, № ДР 0105U007565 — 2006-2008 р.; держбюджетна НДР «Розробка методів побудови радіометричних аналізаторів параметрів електричних кіл і технологічних процесів», шифр Мікран, № ДР 0109U001701 — 2009-2011 р.; держбюджетна НДР «Дослідження амплітудно-фазових флуктуацій мікрохвильових електромагнітних полів в нижніх шарах атмосфери і методів дистанційного зондування», шифр Метеор, № ДР 0112U001247. — 2011—2012 р. У цих НДР дисертант був виконавцем.

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є розробка математичних моделей та методів побудови вимірювачів витрат речовини, товщини шару матеріалу, швидкості переміщення об'єктів на основі гомодинного методу перетворення частоти з дискретним змінням фази опорного сигналу.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз методів та засобів вимірювання параметрів матеріалів мікрохвильовими засобами;
- розробка математичної моделі та дослідження гомодинного перетворення частоти з дискретним змінням фази опорного сигналу;
- розробка методів побудови мікрохвильових вимірювачів параметрів матеріалів на основі гомодинного перетворення частоти з дискретним змінням фази опорного сигналу;
- Проектування та виготовлення гомодинних вимірювальних перетворювачів, розробка і виготовлення вимірювальної установки для дослідження гомодинних вимірювальних перетворювачів, експериментальні дослідження характеристик гомодинних вимірювальних перетворювачів.

Об'єкт дослідження: процес отримання інформації про кількісні і якісні параметри речовини при використанні гомодинного методу перетворення частоти з дискретним змінням фази опорного сигналу.

Предмет дослідження: моделі та методи побудови мікрохвильових вимірювачів на основі гомодинного методу перетворення частоти.

Методи дослідження базуються на основних положеннях теорії радіотехнічних вимірів, функціонального моделювання, теорії вірогідності, чисельних методів аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1. Вперше розроблена математична модель гомодинного вимірювального перетворювача з дискретним змінням фази опорного сигналу та отримані співвідношення, які дозволяють розрахувати амплітуди спектральних складових вихідного низькочастотного сигналу і доведено що амплітуди усіх складових спектру пропорційні амплітуді вхідного високочастотного сигналу, а також встановлено, що при будь-якому значенні числа станів фазообертача максимальну амплітуду має перша гармоніка, що робить доцільним її використання в вимірювальних цілях.

2. Вперше проведений аналіз метрологічних можливостей гомодинного вимірювального перетворювача з дискретним змінням фази опорного сигналу та встановлено, що при використанні трьохсекційного дискретного фазообертача з числом станів, рівним восьми, при допустимому зниженні амплітуди першої гармоніки вихідного сигналу на 1% погрішність фазообертача не повинна перевищувати 18° , а для чотирьохсекційного дискретного фазообертача з числом станів, рівним шістнадцяти, ця погрішність не повинна перевищувати 9° .

3. Вперше запропоновані структурні схеми одночастотного та двочастотного вимірювачів товщини матеріалів, вимірника положення межі розділу рідин, а також витратомірів (отримано два патенти України) на основі гомодинного перетворення частоти з дискретною зміною фази опорного сигналу і виведені аналітичні співвідношення, що дозволяють визначити вимірювані параметри через значення амплітуди і початкової фази першої гармоніки вихідного сигналу перетворювача.

3. Вперше створена експериментальна установка для виміру параметрів гомодинних вимірювальних перетворювачів з дискретною зміною фази опорного сигналу, проведена її метрологічна атестація, а також здійснена серія експериментальних досліджень розробленого гомодинного перетворювача.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Застосування отриманих теоретичних результатів на стадії проектування гомодинних вимірювальних перетворювачів дозволяє здійснювати модельну оптимізацію параметрів цих перетворювачів.

2. Запропоновані вимірювачі товщини матеріалів, положення межі розділу рідин, а також витратоміри речовини змінного складу можуть бути використані для здійснення неруйнівного контролю у харчовій, хімічній, металургійній та інших галузях промисловості.

3. Створена лабораторна установка дозволяє здійснювати технічний контроль параметрів гомодинних перетворювачів, що має велике значення при серійному виробництві цих перетворювачів.

4. Запатентовані метод та пристрій вимірювання швидкості потоку неоднорідної речовини з компенсацією похибки, пов'язаної зі зміною її складу дозволяють суттєво підвищити точність виміру втрат матеріалів змінного складу, що має велике практичне значення при створенні контрольно-вимірювального обладнання різноманітних продуктопроводів.

5. Результати роботи впроваджені на приватному підприємстві «Агрегат» при створенні установки для контролю вмісту вологи в багатокомпонентній суміші, а також в Севастопольському національному технічному університеті при викладенні лекційного матеріалу і проведенні лабораторного практикуму з дисциплін «Пристрої мікрохвильового та оптичного діапазонів», «Радіовимірювання» та «Цифрові пристрої».

Обґрунтованість та достовірність результатів.

Достовірність теоретичних досліджень обумовлена коректним використанням відомих методів структурного аналізу та засобів розрахунку параметрів мікрохвильових пристроїв при теоретичних дослідженнях, а також узгодженням результатів цих досліджень з експериментальними даними. Достовірність експериментальних досліджень обумовлена застосуванням високоточних вимірювальних приладів та зразкових мір, які пройшли перевірку в органах Держстандарту та були використані для метрологічної атестації установки.

Особистий внесок здобувача.

Автор самостійно отримав основні результати дисертаційної роботи. У роботах, виконаних в співавторстві, авторові належать наступні результати: у роботі [1] здобувачем виведені співвідношення, які дозволяють розрахувати амплітуду першої гармоніки вихідного сигналу гомодинного перетворювача з довільним числом станів дискретного фазообертача та проведені відповідні розрахунки; у роботі [2] здобувачем запропоновано спосіб зниження похибки виміру швидкості потоку речовини шляхом врахування її електрофізичних параметрів та отримані співвідношення для розрахунку систематичних погрешностей; у роботі [3] здобувачем проведений аналіз математичної моделі та обробка експериментальних даних; у роботі [5] здобувачем виконаний аналіз математичної моделі гомодинного перетворювача частоти; у роботі [6] здобувачем розраховано, виготовлено та експериментально досліджено параметри секції дискретного фазообертача гомодинного перетворювача; у роботі [7] здобувачем запропонований метод контролю якості продукції харчовій промисловості; у патенті [9] здобувачем запропоновано спосіб визначення якісного складу речовини в потоці; у патенті [10] здобувачем запропонований метод компенсації похибки, яка виникає при відхиленні якісного складу речовини від стандартного; у роботі [11] здобувачем проведені розрахунки змінення пропускної здатності каналів зв'язку в залежності від стану атмосфери; у роботі [12] здобувачем запропонована методика та з її допомогою проведений аналіз експериментальних даних флуктуації каналу атмосферного зв'язку; у роботі [13] здобувачем проведена розробка та експериментальна перевірка параметрів спрямованого відгалужувача; у роботі [14] здобувачем проведений розрахунок залежності похибки виміру швидкості потоку речовини від зміни її діелектричної проникності; у роботі [15] здобувачем запропонована схема фазового маніпулятора; у роботі [16] здобувачем проведений розрахунок високочастотного фазообертача на основі квадратурного модулятора; у роботі [20] здобувачем розроблена схема комутації секцій дискретних фазообертачів; у роботі [21] здобувачем виконано аналіз впливу компонентів ФАПЧ на вихідний сигнал генератору; у роботі [22] здобувачем представлені результати розробки калібратора для низькочастотного фазометра; у роботі [23] здобувачем розроблена структурна схема вимірювальної системи для вивчення параметрів гомодинних перетворювачів; у роботі [24] здобувачем проведений аналіз існуючих на теперішній час вимірювальних систем на основі гомодинних перетворювачів та перспектив їх розвитку; у роботі

[25] здобувачем проведений розрахунків зменшення похибки виміру параметрів потоку речовини шляхом використання інформації про його електрофізичні параметри; у роботі [26] автором запропонований метод виміру вологості багатокомпонентної суміші на основі гомодинного перетворення частоти; у роботі [27] автором запропонований спосіб врахування змінення параметрів дискретного фазообертача.

Апробація результатів дисертації.

Основні результати досліджень представлялися й обговорювалися на: 10-му, 11-му и 12-му, та 15-му міжнародних форумах «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (м. Харків, 2006, 2007 и 2008, 2011 роки); 13-й, 14-й, 15-й, 16-й, 17-й, 19, 21-й, 22-й міжнародних конференціях «СВЧ — техника і телекомунікаційні технології» (м. Севастополь, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011, 2012); *IGARSS'2003* (м. Тулуза, Франція), *IGARSS2007* (м. Барселона, Іспанія), *25th Convention Of Electrical And Electronics Engineers 2008* (м. Ейлат, Ізраїль), 1-й, 2й та 7-й міжнародних молодіжних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій» (м. Севастополь, 2005, 2006, 2011); наукових семінарах професорсько-викладацького состава кафедри радіотехніки Севастопольського національного технічного університету.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 25 друкованих робіт, з них: 8 робіт — статті в спеціалізованих фахових виданнях; 3 роботи — статті в збірниках наукових праць *IEEE*; 9 робіт — тези доповідей на міжнародних наукових конференціях; 2 роботи — патенти України.

Структура дисертаційної роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку літератури, що містить 116 робіт вітчизняних і зарубіжних авторів. У додаток включені акти впровадження результатів роботи. Основний зміст дисертації викладений на 132 сторінках, містить 76 малюнків і 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень. Визначено наукову новизну роботи та її практичне значення. Наведено дані про особистий внесок автора у роботах, виконаних в співавторстві, апробацію результатів дисертації та відомості про публікації за темою дисертації.

У **першому розділі** проведений аналітичний огляд методів побудови вимірників електрофізичних параметрів матеріалів та виробів. Показано, що у існуючих мікрохвильових вимірників є серйозні недоліки, усунення яких дозволить істотно розширити сферу їх застосування. На основі проведеного аналізу була поставлена мета та означені задачі дисертаційної роботи.

Розглянуті класифікація радіотехнічних систем, принципи отримання вимірювальної інформації про параметри матеріалів за допомогою мікрохвильо-

вих методів, проаналізовані методи виміру геометричних розмірів та швидкості руху об'єктів, а також фізико-хімічних параметрів матеріалів та наявність неоднорідності в них.

Представлений в першому розділі аналіз дозволив зробити наступні висновки:

- на основі мікрохвильових методів можуть бути створені засоби вимірювання та неруйнівного контролю з високими технічними характеристиками;
- серед мікрохвильових методів виміру параметрів об'єктів і середовищ найбільш універсальними є амплітудно-фазові методи, засновані на вимірюванні амплітуд та фаз падаючої та відбитої хвиль, або модуля і аргументу коефіцієнтів відбиття та передачі;
- проаналізовані переваги та недоліки методів виміру параметрів мікрохвильових сигналів та показані переваги гомодинного методу у порівнянні з іншими методами переносу частоти, оскільки для його реалізації достатньо одного високочастотного генератора, що виключає внесення фазового шуму у спектрі вихідного сигналу перетворювача.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячений дослідженню математичної моделі гомодинного перетворювача частоти.

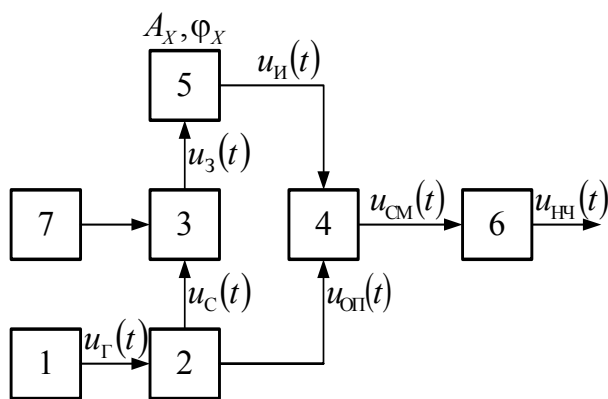


Рис. 1. Структурна схема гомодинного перетворювача

тичної моделі гомодинного перетворювача частоти. Оцінені похибки, пов'язані з неточністю установки фазових зсувів, а також визначені гранично допустимі значення цих похибок. На рис. 1 зображена структурна схема гомодинного перетворювача частоти з керованим фазообертачем. Сигнал $u_T(t)$ з виходу мікрохвильового генератора 1 поступає на дільник потужності 2, з одного виходу якого сигнал подається на керований фазообертач 3, який вносить в нього фазовий зсув $\Theta(t)$. Вихідний сигнал фазообертача використовується як зондуєчий $u_3(t)$ і подається на досліджуваний об'єкт 5, модуль і аргумент коефіцієнту передачі котрого визначається. Сигнал $u_{OP}(t)$ з другого виходу дільника потужності 2 подається на вхід змішувача 4. Вважаючи вихідні сигнали дільника потужності 2 такими що мають однакові амплітуди $U_{m1} = U_{m2} = U_m$ та фази $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_0$, зондуєчий сигнал можна записати у вигляді

$$u_3(t) = K_{\Phi B} U_m \cos[\omega_0 t + \varphi_0 + \Theta(t)] = K_{\Phi} U_m \cos \psi_3(t),$$

де $K_{\Phi B}$, $\Theta(t)$ — коефіцієнт передачі та фазовий зсув керованого фазообертача, $\psi_3(t) = \omega_0 t + \varphi_0 + \Theta(t)$ — миттєва фаза зондуєчого сигналу.

Вимірювальний сигнал $u_H(t)$, що пройшов через досліджуваний об'єкт 2,

або відбився від нього, буде мати вигляд

$$u_{II}(t) = A_X K_\Phi U_m \cos[\omega_0 t + \varphi_0 + \Theta(t) + \varphi_X] = A_X K_\Phi U_m \cos[\psi_{II}(t)],$$

де A_X , φ_X — коефіцієнт послаблення та фазовий зсув, що вносяться досліджуваним об'єктом $\psi_{II}(t)$ — миттєва фаза вимірювального сигналу. Вимірювальний сигнал $u_{II}(t)$ подається на другий вхід змішувача 4. Сигнал на виході цього змішувача має вид

$$u_{CM}(t) = K_{CM} K_{\Phi B} U_m^2 A_X \cos[\psi_{OII}(t)] \cos[\psi_{II}(t)] = k A_X \{ \cos[\theta(t) + \varphi_X] + \cos[2\omega_0 t + \Theta(t) + 2\varphi_0 + \varphi_X] \},$$

де K_{CM} — коефіцієнт передачі змішувача, k — масштабний коефіцієнт.

Фільтр 6 виділяє низькочастотну складову вихідного сигналу змішувача $u_{нч}(t)$, яка використовується для подальшої обробки.

Безперервне змінення фазового зсуву $\Theta(t)$, який вноситься фазообертачем, викликає зсув частоти зонduючого сигналу, значення якого дорівнює швидкості зміни фази. При лінійній зміні фазового зрушення частота вихідного сигналу гомодинного перетворювача буде постійною. Представляє інтерес детальніший аналіз роботи гомодинного перетворювача при якому фазове зрушення, що вноситься фазообертачем, змінюється дискретно, зберігаючи постійне значення протягом інтервалу дискретизації.

При дискретній зміні фазового зсуву в гомодинному перетворювачі частоти використовується дискретний фазообертач, який має m станів та вносить фазовий зсув, який змінюється в часі по періодичному закону (рис. 2, б), який на інтервалі часу T визначається як

$$\Theta(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq t \leq T_d; \\ \dots & \dots \\ (i-1)\varphi_\Phi, & \text{при } (i-1)T_d \leq t \leq iT_d; \\ \dots & \dots \\ (m-1)\varphi_\Phi, & \text{при } (m-1)T_d \leq t \leq T, \end{cases}$$

де $i = 1 \dots m$, T_d — інтервал дискретизації, $\varphi_\Phi = 2\pi/m$ — приріст фазового зсуву.

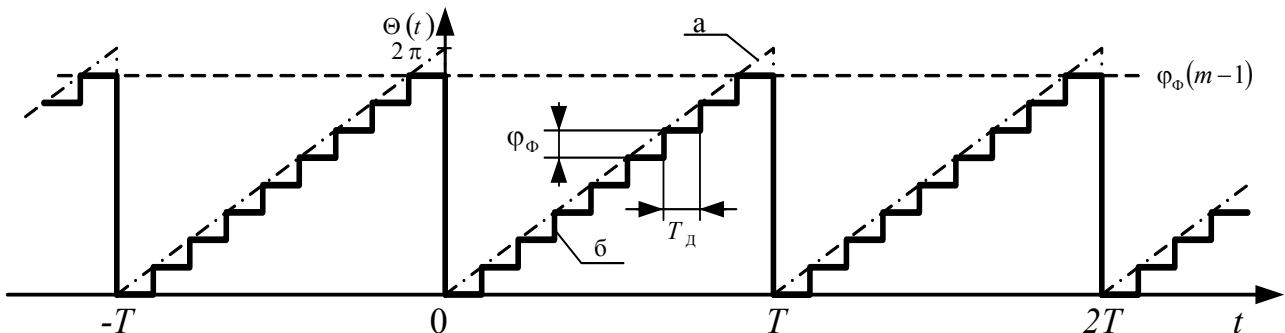


Рис. 2. Діаграма фазового зсуву, який вноситься фазообертачем: а — з безперервним законом внесення фазового зсуву; б — з дискретним

У цьому випадку вихідний сигнал гомодинного перетворювача з керованим дискретним фазообертачем можна записати у вигляді

$$u_{\text{нч}}(t) = \begin{cases} kK_X U_m \cos \varphi_X, & \text{при } 0 \leq t \leq T_{\text{д}}; \\ \dots \\ kK_X U_m \cos \left[\frac{2\pi(i-1)}{m} + \varphi_X \right], & \text{при } (i-1)T_{\text{д}} \leq t \leq iT_{\text{д}}; \\ \dots \\ kK_X U_m \cos \left[\frac{2\pi(m-1)}{i} + \varphi_X \right], & \text{при } (m-1)T_{\text{д}} \leq t \leq T. \end{cases}$$

Результати аналізу амплітудного спектру сигналу $u_{\text{нч}}(t)$ при різному числі станів дискретного фазообертача m приведені в табл. 1.

Таблиця 1 — Амплітуди гармонік сигналу $u_{\text{нч}}(t)$ при різних значеннях m

гарм. дискр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,821	0,411	0	0,205	0,164	0	0,117	0,103	0	0,082
4	0,900	0	0,300	0	0,180	0	0,129	0	0,100	0
5	0,932	0,005	0,003	0,233	0	0,155	0,001	0,001	0,103	0
8	0,975	0	0	0	0	0	0,139	0	0,108	0
16	0,994	0	0	0	0	0	0	0	0	0

При збільшенні числа станів дискретного фазообертача з 3-х до 4-х приріст амплітуди першої гармоніки $u_{\text{нч}}(t)$ складає 8%. При подальшому збільшенні числа станів фазообертача до восьми амплітуда першої гармоніки збільшиться вже на 5%, а з восьми до шістнадцяти — на 1%. Водночас з зростанням m зростає складність фазообертача. Тому, для практичного використання достатнім слід вважати число станів дискретного фазоврацателя, від 8 до 16. Для врахування впливу похибки секцій дискретного фазообертача на вихідний сигнал гомодинного перетворювача був проведений чисельний аналіз. Його результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2 — Статистичні характеристики вихідного сигналу гомодинного перетворювача частоти з неідеальним дискретним фазообертачем

Число розрядів фазообертача	Математичне очікування першої гармоніки вихідного сигналу	Дисперсія амплітуди першої гармоніки вихідного сигналу	СКВ амплітуди вихідного сигналу
2	0,752	$3,66 \cdot 10^{-3}$	$6,05 \cdot 10^{-2}$
3	0,933	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4	0,983	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$

Розрахунок і наступний аналіз показали, що поява погрішності в значеннях фазових зсувів, що вносяться секціями дискретного фазообертача, призводить до зниження рівня першої гармоніки вихідного сигналу, а, отже, і до розширення його спектру.

Третій розділ присвячений розробці та дослідженню структурних схем мікрохвильових вимірників товщини матеріалів, відстані до межі розділу середовищ, а також витрати і швидкості потоку речовини на основі гомодинного

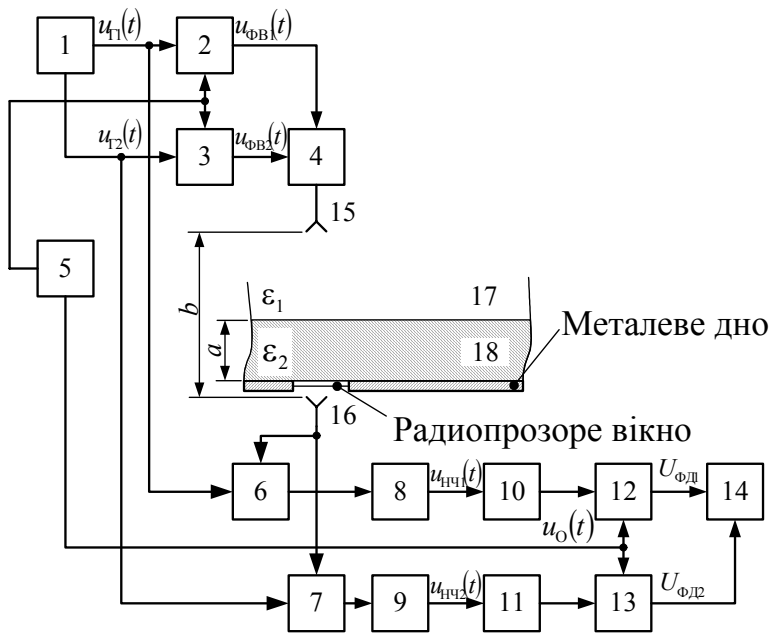


Рис. 3. Структурна схема двочастотного гомодинного вимірювача товщини шару діелектричного матеріалу

перетворення частоти. На рис. 3 приведена структурна схема гомодинного вимірювача товщини шару матеріалу, що перевищує довжину хвилі у ньому. Синтезатор частоти 1 формує два високочастотних сигнали

$$u_{Г1}(t) = U_{Г1} \cos(\omega_1 t + \varphi_{Г1});$$

$$u_{Г2}(t) = U_{Г2} \cos(\omega_2 t + \varphi_{Г2}),$$

де $U_{Г1}$, ω_1 , $\varphi_{Г1}$ та $U_{Г2}$, ω_2 , $\varphi_{Г2}$ — амплітуда, частота та початкова фаза сигналів.

Різниця між ω_1 та ω_2 повинна відповідати умові:

$$|\omega_2 - \omega_1|_{MAX} \leq \frac{2\pi c}{a_{MAX} \sqrt{\epsilon_2}},$$

де a_{MAX} — максимальне значення товщини шару матеріалу.

Сигнали $u_{Г1}(t)$ і $u_{Г2}(t)$ проходять через керовані фазообертачі 2 і 3, котрі вносять в них фазовий зсув, що періодично змінюється від 0 до 2π радіан і потрапляють на суматор 4 та випромінюються антеною 15. Електромагнітні коливання з частотами $\omega_1 + \Omega$ та $\omega_2 + \Omega$, які проходять відстань b отримують набіги фази $\varphi_{Х1}$ і $\varphi_{Х2}$, потрапляють до антени 16. З виходу антени 16 прийняті сигнали потрапляють на сигнальні входи змішувачів 6 і 7, на опорні входи яких подаються сигнали $u_{Г1}(t)$ та $u_{Г2}(t)$ відповідно. Вихідні сигнали змішувачів проходять через фільтри 8 та 9 і підсилювачі-обмежувачі 10 та 11, після чого подаються на вимірювальні входи фазових детекторів 12 і 13. На опорні входи цих детекторів подається низькочастотний опорний сигнал $u_o(t)$, який виробляється блоком керування 5. З виходів фазових детекторів 12 та 13 сигнали потрапляють до блоку обробки та індикації, котрий розраховує товщину матеріалу по формулі

$$a = \begin{cases} \frac{(U_{\text{ФД2}} - U_{\text{ФД1}})c}{K_{\text{ФД}}(\omega_2 - \omega_1)(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1})}, & \text{при } U_{\text{ФД2}} \geq U_{\text{ФД1}}; \\ \frac{(U_{\text{ФД2}} - U_{\text{ФД1}} + 2\pi K_{\text{ФД}})c}{K_{\text{ФД}}(\omega_2 - \omega_1)(\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1})}, & \text{при } U_{\text{ФД2}} < U_{\text{ФД1}}, \end{cases}$$

$$\text{де } |\omega_2 - \omega_1|_{\text{max}} \leq \frac{2\pi c}{b\sqrt{\varepsilon_2}}.$$

На рис. 4 показана структурна схема гомодинного вимірювача швидкості неоднорідного потоку речовини з компенсацією погрішності, обумовленою зміною складу речовини. Мікрохвильовий генератор 9 формує високочастотний сигнал, який поступає в два вимірювальних канали. В першому вимірювальному каналі сигнал проходить через циркулятор 5 і випромінюється антеною 4 у напрямі антени 3. При цьому, проекція швидкості потоку речовини 1 на напрям поширення електромагнітної хвилі спрямована назустріч цьому напрямку. В результаті, частота сигналу, прийнятого антеною 3 отримає позитивне доплерівське зрушення. У другому вимірювальному каналі сигнал проходить крізь циркулятор 8 і потрапляє в керований фазообертач 7, який вносить до високочастотного сигналі фазове

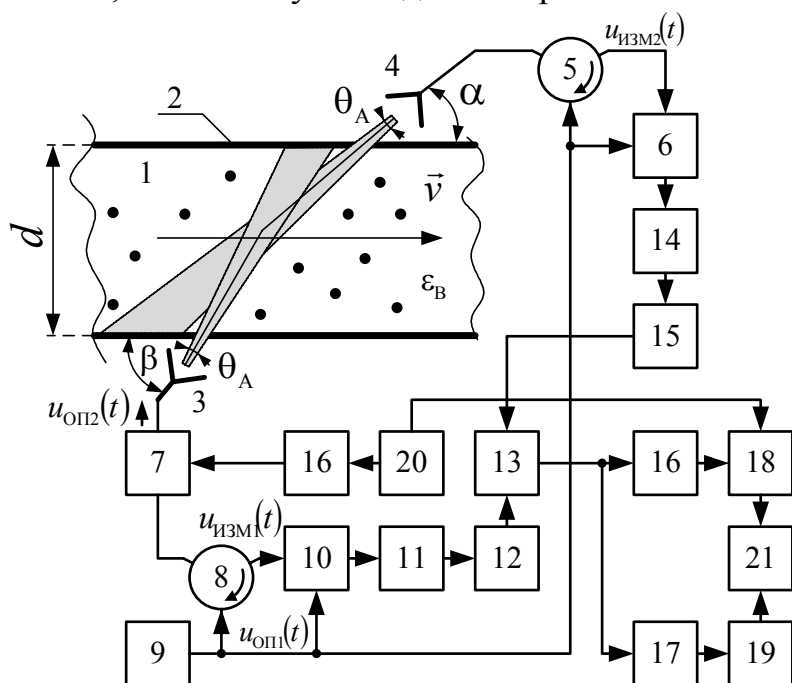


Рис. 4. Структурна схема гомодинного вимірювача швидкості потоку речовини

зрушення Ωt , еквівалентне зрушенню частоти цього сигналу на величину $\Omega \ll \omega_0$. Вихідний сигнал фазообертача подається до антени 3 і випромінюється у бік антени 4. Оскільки в даному випадку проекція вектору швидкості потоку речовини на напрям поширення електромагнітної хвилі співпадає із швидкістю поширення хвилі, частота сигналу, прийнятого антеною 4 отримає негативне доплерівське зрушення. З виходу антени 4 прийнятий сигнал проходить через циркулятор 5 і подається на перший вхід змішувача 6, на другий вхід якого подається сигнал з виходу генератора 9.

З виходу антени 3 прийнятий сигнал проходить через фазообертач 7 та отримує фазове зрушення Ωt , після чого через циркулятор 8 подається на перший вхід змішувача 10, на другий вхід якого подається сигнал з виходу генератора 9. Сигнали з виходів змішувачів 6 і 10 проходять через фільтри 11 і 14, пі-

сля чого подаються до вимірювального пристрою. Сигнали з виходів фільтрів 11 і 14 проходять через фільтри 12 і 13, після чого подаються до вимірювального пристрою. Сигнали з виходів фільтрів 12 і 13 проходять через фільтри 16 і 18, після чого подаються до вимірювального пристрою. Сигнали з виходів фільтрів 16 і 18 проходять через фільтри 19 і 21, після чого подаються до вимірювального пристрою.

ся чого подаються на підсилювачі-обмежувачі 12 і 15. Їх вихідні сигнали подаються на помножувач 13, на виході якого утворюється сигнал

$$u_{\text{ОГР}}(t) = K_{\Pi} U_{\text{ОГР}}^2 \text{sign} \{ \cos[2(\Omega t + \varphi_X + \Delta\varphi) + \Delta\varphi_{\Pi}] + \cos(2\Omega_{\text{Д}} t + \Delta\varphi_{\Pi}) \},$$

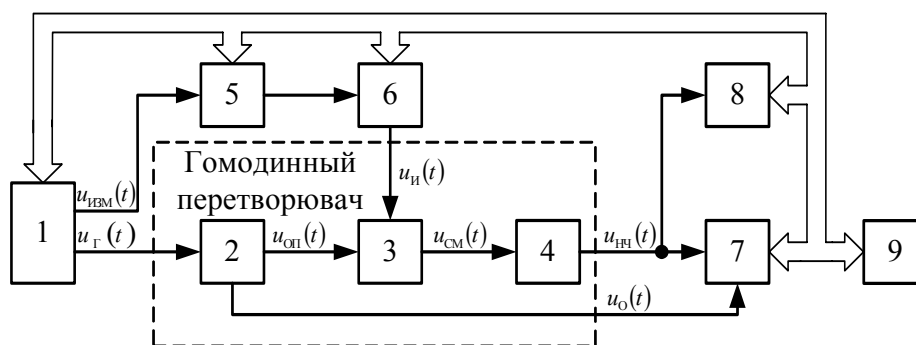
де K_{Π} , $\Delta\varphi_{\Pi}$ — модуль і фаза коефіцієнту перетворення помножувача.

Аргумент сигналу на виході помножувача має дві складові, частота однієї з яких 2Ω — дорівнює подвоєному значенню зрушення частоти, що вноситься керованим фазообертачем 7, а інша — подвоєному значенню доплерівської частоти $2\Omega_{\text{Д}}$. Ці складові розділяються фільтрами 16 та 17. З виходу фільтра 16 сигнал поступає на вимірювальний вхід фазометра 18, на опорний вхід якого поступає сигнал від блоку керування фазообертачем 20. Вихідний сигнал фазометра подається у блок обробки та індикації 21. З виходу фільтра 17 сигнал подається на вхід частотоміра 19, з виходу якого дані про поточне значення подвоєної доплерівської частоти також поступають в блок обробки та індикації 21. Останній по виміряним значенням $2\varphi_X$ і $2\Omega_{\text{Д}}$ обчислює поточну швидкість потоку речовини, а також відхилення діелектричної проникності від номінального значення за допомогою виразів

$$v_{\text{В}} = K_{\text{КОР}} v_{\text{Н}} = \frac{\omega_{\text{Д}} c}{\omega_0 \sqrt{\varepsilon_{\text{В}}} \cos \alpha} \left(1 + \frac{\Delta U_{\text{ФД}} c \cos \alpha}{\omega_0 d K_{\text{ФД}}} \right); \Delta \varepsilon_{\text{В}} = \varepsilon_{\text{В}} \left[\left(1 + \frac{\Delta U_{\text{ФД}} c \cos \alpha}{\omega_0 d K_{\text{ФД}}} \right)^2 - 1 \right],$$

де $v_{\text{Н}} = \frac{\omega_{\text{Д}} c}{\omega_0 \sqrt{\varepsilon_{\text{В}}} \cos \alpha}$ — швидкість потоку речовини з номінальною діелектричною проникністю.

У **четвертому розділі** дисертаційної роботи приведені результати розробки приладів і вузлів, що входять до складу установки для дослідження параметрів гомодинних перетворювачів. Приведені результати дослідження параметрів розробленого гомодинного перетворювача отримані з її допомогою. Виміри проводилися з використанням еталонних мір повного опору, що підтверджує їх достовірність. На рис. 5 показана структурна схема лабораторної установки.



1 — НВЧ генератор; 2, 6 — керовані фазообертачі; 3 — змішувач; 4 — фільтр; 5 — керований атенуатор; 7 — фазометр; 8 — вольтметр; 9 — блок керування

Рис. 5. Структурна схема лабораторної установки

За допомогою лабораторної установки було досліджено характеристики виготовленого гомодинного вимірювального перетворювача. На рис. 6 показані результати вимірів залежності рівня вихідного сигналу гомодинного перетворювача від потужності сигналів опорного та вимірювального каналів на частоті 1,6 ГГц. Аналіз залежностей, приведених на цьому рисунку показує, що при малих значеннях потужності вимірювального сигналу спостерігається обмеження вихідного сигналу гомодинного перетворювача. При потужності 10 мВт і більше залежність вихідного сигналу гомодинного перетворювача від рівнів вхідних сигналів стає практично лінійною.

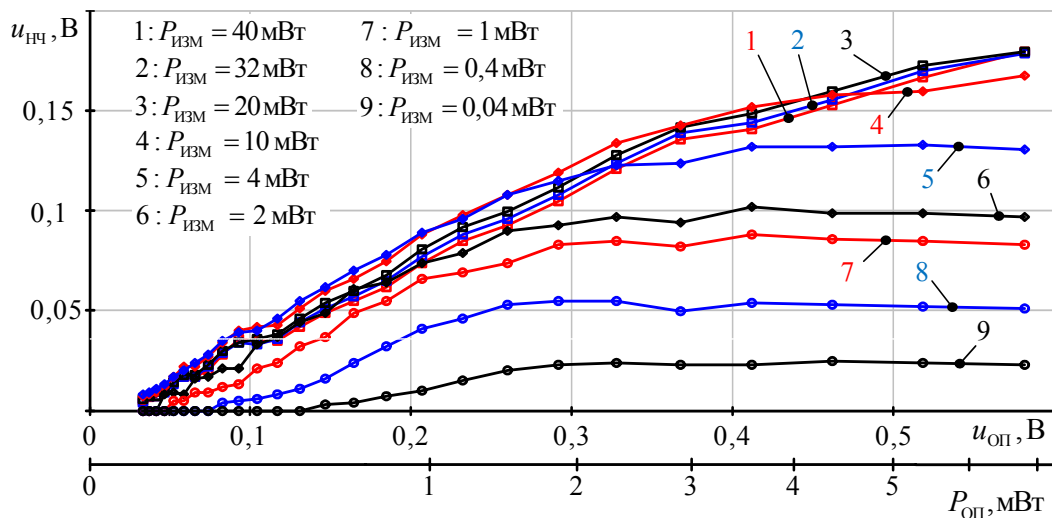


Рис. 6. Залежності рівня вихідного сигналу гомодинного перетворювача від потужності сигналів опорного та вимірювального каналів

На рис. 7 показана залежність фазової похибки гомодинного перетворювача від частоти опорного та вимірювального сигналів. Аналіз отриманих результатів показує, що фазова погрішність досліджуваного гомодинного перетворювача не перевищує 8° в межах діапазону частот від 1,55 до 1,61 ГГц.

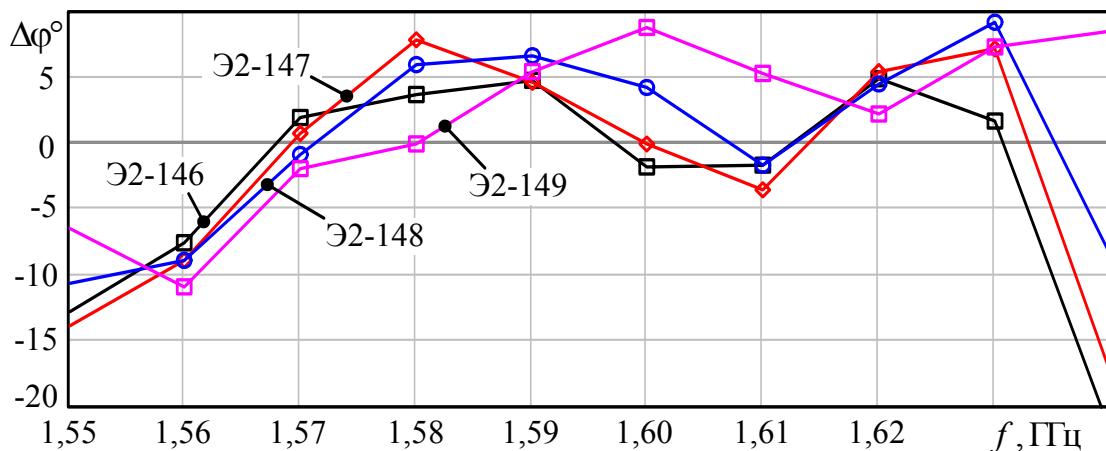


Рис. 7. Залежність фазової погрішності гомодинного перетворювача від частоти вхідних сигналів

Таким чином, розроблена та виготовлена експериментальна установка, призначена для визначення технічних характеристик гомодинних вимірювальних перетворювачів. Встановлено, що якщо потужність у опорному та вимірювальному каналах знаходиться в межах від 0 дБм до 16 дБм максимальна похибка переносу фази знаходиться в межах 5° , що робить доцільним використання системи АРП для утримання рівнів опорного і вимірювального сигналів у зазначених межах.

Експериментально встановлено, що при використанні двохсекційного дискретного фазообертача систематична похибка визначення фазового зсуву не перевищує 8° , трьохсекційного — 6° , чотирьохсекційного 4° . Слід зазначити, що СКВ результатів вимірів фази вихідного сигналу в усіх випадках було практично постійним і не перевищувало $0,4^\circ$.

Експериментально встановлено, що частотна погрішність гомодинного перетворювача в діапазоні частот від 1,57 ГГц до 1,61 ГГц складає для коефіцієнту перетворення 4%, а фазова погрішність — не більше 8° .

Експериментально встановлено, що при девіації частоти опорного і вимірювального сигналів в межах ± 2 МГц досліджуваній гомодинній перетворювач практично не вносить додаткової погрішності до фази сигналу. При подальшому збільшенні девіації частоти вхідного сигналу, СКВ вимірюваної різниці фаз починає збільшуватися. Вказана особливість дозволяє використовувати в гомодинних перетворювачах частоти в якості опорних сигнали з кутовою модуляцією, якщо значення їх девіації не перевищує встановленого значення. При перевищенні цього значення спостерігається різке зростання СКВ вимірюваної різниці фаз.

ВИСНОВКИ

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень вирішено актуальне науково-прикладне завдання створення радіотехнічних вимірників параметрів матеріалів на основі гомодинних перетворювачів частоти з дискретною зміною фази опорного сигналу, які мають покращені метрологічні, конструктивно-технологічні і економічні характеристики. Також досягнута поставлена мета дослідження, яка полягала в розробці гомодинних вимірників витрати речовини, товщини шару матеріалу та положення межі розподілу рідин.

При цьому отримані наукові результати:

1. Розроблена математична модель гомодинного перетворювача частоти з дискретною зміною фази опорного сигналу, яка базується на спектральному аналізі вихідного низькочастотного сигналу та отримані співвідношення для розрахунку амплітуд складових спектру цього сигналу. При цьому доведено, що амплітуди усіх складових спектру вихідного сигналу гомодинного перетворювача пропорційні амплітуді вхідного інформаційного сигналу, а максимальну амплітуду має перша гармоніка, що робить доцільним її використання для вимірювальних цілей.

2. Встановлено, що при використанні в гомодинному вимірювальному пе-

ретворювачі трьохсекційного дискретного фазообертача, число станів якого дорівнює восьми, при допустимому зниженні рівня першої гармоніки вихідного сигналу на 1% та 5% погрішність фазообертача не повинна перевершувати 18° та 36° відповідно, а для чотирьохсекційного дискретного фазообертача, число станів якого дорівнює шістнадцяти, ця похибка не повинна перевищувати 9° та 22° відповідно.

3. Запропоновані структурні схеми одночастотного та двочастотного вимірювачів товщини матеріалів, вимірювача положення межі розділу рідин, а також витратомірів, які відрізняються від відомих тим, що в них використовується гомодинне перетворення частоти з дискретною зміною фази опорного сигналу, що дає можливість спростити їх конструкцію та підвищити метрологічні характеристики. Отримані співвідношення, які дозволяють визначити вимірювані параметри через значення амплітуди та початкової фази першої гармоніки вихідного сигналу перетворювача.

4. Розроблена та виготовлена експериментальна установка, яка призначена для визначення технічних характеристик гомодинних вимірювальних перетворювачів і проведена метрологічна атестація цієї установки за допомогою розробленого і виготовленого цифрового калібратора фазового зсуву з погрішністю, менш ніж $0,02^\circ$ і цифрового вольтметра *UNI-T UTM 133C*, з погрішністю 0,5%. В результаті атестації встановлено, що погрішності експериментальної установки не перевищували при вимірі різниці фаз — $0,1^\circ$, а при вимірі амплітуди — 1%.

5. Розроблений і виготовлений зразок гомодинного перетворювача з дискретною зміною фази опорного сигналу і проведені експериментальні дослідження цього перетворювача за допомогою набору відрізків коаксіальних ліній передачі, які входять до комплекту зразкових мір першого розряду ЕК9-140.

6. Експериментально встановлено, що:

— при зміні потужності опорного і вимірювального сигналів в діапазоні від 0 дБм до 16 дБм погрішність перенесення фази виготовленим зразком гомодинного перетворювача не перевищує 5° ;

— при використанні двосекційного дискретного фазообертача систематична погрішність визначення фазового зрушення не перевищує 8° , трисекційного — 6° , чотирьохсекційного — 4° ;

— в діапазоні частот від 1,57 ГГц до 1,61 ГГц амплітудна погрішність розробленого гомодинного перетворювача не перевищує 4%, а фазова погрішність — 8° ;

— при девіації частоти опорного і вимірювального сигналів в межах ± 2 МГц досліджуваний гомодинний перетворювач практично не вносить додаткової погрішності до фази сигналу.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Поливкин С.Н. Выбор разрядности дискретного фазовращателя в задачах исследования характеристик канала связи гомодинными методами/ С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Радиотехника: Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник. 2004. Вып. 137 с. 36 — 43.

2. Поливкин С.Н. Устранение погрешности измерения скорости потока вещества путем учета изменения его электрофизических параметров/ С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», Зб. наук. праць. Хмельницький: Вид-во ХНУ, 2004. — с. 155 — 158.

3. Поливкин С.Н. К вопросу повышения стабильности частоты микроволнового генератора при исследованиях флуктуаций набега фазы сигналов на трассе распространения микроволн/ С.Н. Поливкин, Д.В. Сеницын, И.Б. Широков// Вестник СевГТУ. Вып. 68: Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. — с. 159 — 165.

4. Поливкин С.Н. Гомодинный измеритель влажности многокомпонентной смеси/ С.Р. Зиборов, С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Вестник СевГТУ. Вып. 74: Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. — С. 154 — 162.

5. Поливкин С.Н. Обобщенная математическая модель гомодинного преобразователя частоты при дискретном изменении фазы зондирующего сигнала/ Ю.Б. Гимпилевич, С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2010. Вып. 161 с. 119-125.

6. Поливкин С.Н. Исследование и сравнение характеристик микрополоскового дискретного фазовращателя в пакетах «Microwave Office» и «HFSS» / С.Н. Поливкин, И.В.Сердюк, И.Б. Широков // Вестник СевГТУ. Вып. №82: Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. — С. 117 — 120.

7. Поливкин С.Н. Контроль параметров вещества в пищевой промышленности радиоволновыми гомодинными методами/ С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Инженерный вестник 1(23)/3. Научно-технический журнал объединения «Белорусская инженерная академия». Минск. 2006. — с. 296 – 298.

8. Поливкин С.Н. Исследование влияния погрешности дискретного фазовращателя на амплитуду проходящего через него сигнала/ С.Н. Поливкин// Вестник СевНТУ. Вып.101: Информатика, электроника, связь: Сб. науч. тр. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2010. — с. 165 — 168.

9. Пат. 76182 України, МПК G01N 22/00. Спосіб визначення швидкості і якісного складу речовини в потоці// Широков І.Б., Полівкін С.М.; заявник Широков І.Б. заяв. 26.02.2004; опубл. 17.06.2006, Бюл. №7.

10. Пат. 82190 України, МПК G01F 1/66. Пристрій для визначенні швидкості і якісного складу речовини// Широков І.Б., Полівкін С.М.; заявник Севастопольський національний технічний університет. заяв. 05.11.2004; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

11. Поливкин С.Н. К вопросу увеличения пропускной способности цифровых наземных микроволновых каналов связи с многопозиционной фазовой манипуляцией/ Т.Н. Нарытник, С.Н. Поливкин, Д.В. Синицин С.А. Шабан, И.Б. Широков// Матер. 13-ой международной Крымской микроволновой конференции КрыМиКо – 2003 «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2003. — с. 383 — 385.

12. Polivkin S.N. Investigations of Amplitude and Phase Progression Fluctuations on Microwave Line-of-Sight Links in Relation with Natural Medium Condition/ S.N. Polivkin, D.V. Sinitsin, S.A. Shaban, I.B. Shirokov// IGARSS 2003. Centre de Congres Pierre Baudis Toulouse France 21-25 July 2003, pp 4177 — 4179.

13. Поливкин С.Н. Направленный полосковый ответвитель для калибруемых измерительных устройств/ С.Н. Поливкин, Ю.Я. Смаилов, И.Б. Широков// Матер. 14-ой международной Крымской микроволновой конференции КрыМиКо – 2004 «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2004. — с. 661 — 662.

14. Поливкин С.Н. Компенсация погрешности измерения скорости потока вещества путем учета его физических параметров/ С.Н. Поливкин, И.В. Сердюк, И.Б. Широков// Матер. 15-ой международной Крымской микроволновой конференции КрыМиКо – 2005 «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2005. — с. 813 — 814.

15. Поливкин С.Н. Фазовый манипулятор для цифровых систем передачи данных микроволнового диапазона/ С.Н. Поливкин, Д.В. Синицын, И.Б. Широков// Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2005»: Материалы 1-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., 24-29 апреля 2005 г. — Севастополь: СевНТУ, 2005. — С. 35.

16. Поливкин С.Н. ВЧ фазовращатель на базе квадратурного модулятора/ М.А. Дурманов, С.Н. Поливкин, А.М. Сербин, И.Б. Широков// Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2006»: Материалы 2-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., 17-21 апреля 2006 г. — Севастополь: СевНТУ, 2006. — С. 239.

17. Поливкин С.Н. Устройство сдвига частоты на базе квадратурного модулятора/ М.А. Дурманов, С.Н. Поливкин, А.М. Сербин, И.Б. Широков// Матер. 10-го юбилейного международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». — Харьков: ХНУРЕ, 2006. — С. 54.

18. Поливкин С.Н. Применение гомодинных измерителей параметров вещества в пищевой промышленности/ С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Матер. 16-й международной Крымской микроволновой конференции КрыМиКо – 2006 «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2006. — с. 859 — 860.

19. Поливкин С.Н. Определение положения границы раздела диэлектрических жидкостей радиоволновым методом/ С.Н. Поливкин// Матер. 17-й международной Крымской микроволновой конференции КрыМиКо – 2007 «СВЧ

техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2007. — с. 737 — 738.

20. Поливкин С.Н. Применение управляемых источников тока в электронно-коммутируемых СВЧ устройствах/ С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2005»: Материалы 1-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., 24-29 апреля 2005 г. — Севастополь: СевНТУ, 2005. — С. 11.

21. Поливкин С.Н. Исследование влияния петли фазовой автоподстройки частоты на параметры выходного сигнала генератора косвенного синтеза/ Н.М. Данилина, С.Н. Поливкин// Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2011»: Материалы 7-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., 11-15 апреля 2011 г. — Севастополь: СевНТУ, 2005. — С. 105.

22. Поливкин С.Н. Микроконтроллерный калибратор для низкочастотного прецизионного фазометра/ О.В. Кульман, С.Н. Поливкин, И.В. Сердюк// Матер. 15-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». — Харьков: ХНУРЕ, 2011. — С. 115 — 116.

23. Поливкин С.Н. Измерительная система для исследования параметров гомодинных измерительных преобразователей/ Ю.Б. Гимпилевич, С.Н. Поливкин// Матер. 21-ой международной Крымской микроволновой конференции КрыМиКо – 2011 «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2011. — с. 891 — 892.

24. Поливкин С.Н. Радиоволновые гомодинные измерительные преобразователи в системах контроля параметров технологических процессов/ Ю.Б. Гимпилевич, С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2011»: Материалы 7-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., 11-15 апреля 2011 г. — Севастополь: СевНТУ, 2005. — С. 35 — 37.

25. Polivkin S.N. The Elimination of Error of Measurement of Substance Flow Speed by the Accounting of Variation of its Electrophysical Parameters/ Yu.B. Gimpilevich, S.N. Polivkin, I.V. Serduk, I.B. Shirokov// IEEE Proc. of 25th Convention Of Electrical And Electronics Engineers In Israel, 2008, December 2-5, Eilat, Israel, pp. 475-478.

26. Поливкин С.Н. Гомодинный микроволновый измеритель влажности многокомпонентной смеси/ М. Исаченко, С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Матер. 19-ой международной Крымской микроволновой конференции КрыМиКо – 2009 «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2009. — с. 847 — 848.

27. Поливкин С.Н. Учет динамического изменения параметров дискретного фазовращателя/ С.Н. Поливкин, И.Б. Широков// Матер. 11-го международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». — Харьков: ХНУРЕ, 2007. — С. 40.

АНОТАЦІЯ

Полівкин С.М. Радіотехнічні системи вимірювання на основі гомодинних перетворювачів з дискретним зміненням фази опорного сигналу. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 — Радіотехнічні та телевізійні системи. — Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2013.

Дисертація є дослідженням, в якому запропонований підхід до рішення задачі створення мікрохвильових вимірювальних приладів на основі гомодинних перетворювачів з дискретною зміною фази опорного сигналу. Цей метод відрізняється від відомих тим, що перенесення інформації про модуль і аргумент коефіцієнта передачі матеріалу, який досліджується, в область низьких частот, виконується без використання гетеродинного перетворення частоти, що дає можливість істотно спростити процес подальших вимірів.

Основний результат дисертаційної роботи полягає в розробці математичної моделі гомодинного вимірювального перетворювача з дискретною зміною фази опорного сигналу і отриманні співвідношень, які дозволяють розраховувати амплітуди спектральних складових вихідного низькочастотного сигналу. Крім того, у роботі доведено, що амплітуди усіх складових спектру пропорційні амплітуді вхідного високочастотного сигналу, а також встановлено, що при будь-якому значенні числа станів фазообертача максимальну амплітуду має перша гармоніка вихідного сигналу, що робить доцільним її використання у вимірювальних цілях.

Практична цінність роботи полягає в можливості модельної оптимізації параметрів перетворювачів на етапі проектування вимірювальних систем на їх основі. Створена експериментальна установка, яка дозволяє здійснити технічний контроль параметрів гомодинних перетворювачів.

Ключові слова: гомодинний метод, дискретний фазообертач, набіг фази, вимір параметрів матеріалу, неруйнівний контроль.

АННОТАЦИЯ

Поливкин С. Н. Радиотехнические системы измерения на основе гомодинных преобразователей частоты с дискретным изменением фазы опорного сигнала. — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 — Радиотехнические и телевизионные системы. — Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2013.

Диссертация является исследованием, в котором предложен подход к решению задачи создания микроволновых измерительных приборов на основе гомодинных преобразователей с дискретным изменением фазы опорного сигнала. Этот метод отличается от известных тем, что перенос информации о модуле и аргументе коэффициента передачи материала, который исследуется, в

область низких частот, происходит без гетеродинного преобразования частоты, что дает возможность существенно упростить процесс дальнейших измерений.

Основной результат диссертационной работы заключается в разработке математической модели гомодинного измерительного преобразователя с дискретным изменением фазы опорного сигнала и получении соотношений, которые позволяют рассчитывать амплитуды спектральных составляющих выходного низкочастотного сигнала. Кроме того, доказано, что амплитуды всех составляющих спектра пропорциональны амплитуде входного высокочастотного сигнала, а также установлено, что при любом значении числа состояний фазовращателя максимальную амплитуду имеет первая гармоника выходного сигнала, что делает целесообразным ее использование в измерительных целях. Впервые проведен анализ метрологических возможностей гомодинного измерительного преобразователя с дискретным изменением фазового сдвига опорного сигнала. Установлено, что при использовании трехсекционного дискретного фазовращателя, при допустимом снижении уровня первой гармоники выходного сигнала на 1% погрешность фазовращателя не должна превышать 18° , а для четырехсекционного дискретного фазовращателя эта погрешность не должна превышать 9° .

Практическая ценность работы заключается в возможности модельной оптимизации параметров преобразователей на этапе проектирования измерительных систем на их основе. Предложенные структурные схемы микроволновых измерителей толщины материалов, положения границы раздела жидкостей, а также расходомеров для веществ с изменяющимся составом, могут быть использованы в различных отраслях промышленности. Создана экспериментальная установка, которая позволяет осуществить технический контроль параметров гомодинных преобразователей. Результаты работы использованы при выполнении научно-исследовательских и хозяйственных работ, а также внедрены в учебный процесс.

Ключевые слова: гомодинный метод, дискретный фазовращатель, набег фазы, измерение параметров материала, неразрушающий контроль.

ABSTRACT

Polivkin S. N. Radio engineering systems of measuring on the basis of homodyne frequency converters with discrete change of phase support signal. — The Manuscript.

Candidate science degree thesis by speciality 05.12.17 – radio engineering and television systems. – Kharkov national university of radio electronics, Kharkov, 2013.

Dissertation is research based on a new approach of a microwave measuring devices building using homodyne converters with the discrete changed phase of a reference signal. The method provides the possibility of a transfer in the low frequency band the information about the module and argument of transmission coefficient in a volume with the investigated

material. The use of the homodyne conversion method simplifies the process of the further measurements strongly.

The result of the dissertation work is a developed mathematical model of homodyne measuring converter with the discrete changed phase of the reference signal. The mathematical model contains the relations which make it possible to find amplitudes of spectral components of an output low frequency signal. In addition, it is well-proven that amplitudes of all components of spectrum are proportional to the amplitude of an input high-frequency signal, and also it is shown that the first component of an output signal spectrum has maximum amplitude for any number of phase shifter states. For the first time, the analysis of metrology possibilities of homodyne measuring converter with the discrete changed phase of a reference signal was done. It is shown, that if a three-sectional discrete phase shifter is used and the possible decline level of the first component of output signal spectrum is 1%, the error of phase shifter must not exceed 18° . In case of four sectional discrete phase shifter, the error must not exceed 9° .

The Keywords: homodyne measurement, discrete phase shifter, phase incursion, measurement of materials' parameters, non destructive control.

Підп. до друку 15.01.13.
Умов. друк. арк. 1,2
Зам. № 2-1024

Формат 60x84 ¹/₁₆
Тираж 120 прим.
Ціна договірна.

Спосіб друку — ризографія

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано у навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.
Харків, просп. Леніна, 14