

УДК 621.317.7

В.П. Куценко^{1,2} (канд. техн. наук, старш. наук. співроб.),
Ю.О. Скрипник³ (д-р техн. наук, проф.), **М.Ф. Трегубов²** (д-р економ. наук, проф.),
О.П. Яненко⁴ (д-р техн. наук, проф.), **В.А. Довгопол¹**

1) ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк

2) Казенне науково-виробниче підприємство „Кварсит”, м. Костянтинівка

3) Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

4) Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

E-mail: donetsk50@mail.ru

РАДІОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРУ ТОВЩИНИ СТІНКИ ОБТІЧНИКІВ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ ПРИ ЇХ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ

В роботі пропонується двоканальна радіометрична система, яка дозволяє вимірювати товщину стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці на основі фазовимірювальної радіометричної системи. Розглянута функціональна схема приладу, принцип і алгоритм обробки сигналу. Дана радіометрична система інваріантна до фазових спотворень у перетворювальних каналах, що забезпечує підвищення точності виміру товщини стінки обтічників. Результат комутаційного перетворення не залежить від амплітудно-фазових спотворень у змішувачах і частотнофазових спотворень у виборчих підсилювачах. Показані технічні характеристики радіометричної системи.

Ключові слова: радіометр, обтічник, контроль, вимірювання, випромінювання.

Вступ

Для неруйнівного контролю якості об'єктів застосовують їхнє зондування електромагнітними коливаннями надзвичайно високих частот (НЗВЧ), що дозволяє використовувати ряд специфічних електрофізичних реакцій, властивих даним об'єктам [1, 2].

Експериментальні дані свідчать про можливість діагностики ряду параметрів об'єктів за зміною фази відбитих коливань НЗВЧ-діапазону від них [3, 4]. Проте ці зміни невеликі, не перевищують одиниці і навіть долів градуса і їхнє вимірювання пов'язане із рядом труднощів. Крім того, нестабільність вхідних НЗВЧ-коливань і коливань гетеродину радіометричних вимірювальних схем викликає велику відносну зміну проміжної частоти; тому її необхідно вибирати достатньо високою (декілька десятків або навіть сотень мегагерц). Вимірювання зсувів фаз на таких частотах в умовах великих нестабільностей частот є не менш складною задачею, ніж на НЗВЧ.

Для вимірювання зсуву фаз у відбитих НЗВЧ-коливаннях застосовують вимірювачі ослаблення і фазового зсуву типу ДК1-14А, ДК1-15А (діапазон частот 37,5-53 ГГц і 53-78 ГГц) [5].

Проте точність виміру фазових зсувів відомим пристроєм невелика через вплив таких факторів: - неминучого розлагодження вузькосмугових підсилювачів проміжної частоти з великою крутизою фазочастотних характеристик; - амплітудно-фазових спотворень у НЗВЧ-змішувачах через нерівність потужностей падаючих і відбитих НЗВЧ-коливань; - додаткових фазових зсувів порівнюваних сигналів через міжканальні зв'язки по ланцюгах гетеродину; - низької частоти зсуву через механічне обертання роторів фазообертувачів, що не дозволяє використовувати високодобротні підсилювачі проміжної частоти.

Тому похибка вимірювання фазових зсувів ДК1-14А, ДК1-15А може складати $\Delta\varphi = \pm 6...10^\circ$ ($\pm 1,0...0,1$ мм), що явно недостатньо для точних вимірів товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці.

Метою даної роботи є запропонувати радіометричну систему інваріантну до фазових спотворень у перетворювальних каналах, в якій результат комутаційного перетворення не залежить від амплітудно-фазових спотворень у змішувачах і частотно-фазових спотворень у виборчих підсилювачах, що забезпечить підвищення точності виміру товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці.

Основна частина

Вимірювачі зсуву фаз у відбитих НЗВЧ-коливаннях мають, як правило, двоканальну структуру [6], до якої входять елементи поділу падаючих і відбитих коливань, два змішувачі, загальний гетеродин, два підсилювачі проміжної частоти, фазовий детектор, підсилювач низької частоти й індикатор. На входах змішувачів сигнали НЗВЧ-гетеродина мають рівні амплітуди і фази. Сигнали з різницевою (проміжною) частотою, пропорційні різниці фаз вхідних НЗВЧ-сигналів, посилюються вузькосмуговими підсилювачами проміжної частоти, а їхня низькочастотна різниця фаз перетворюється фазовим детектором у пропорційну напругу, що вимірюється вихідним індикатором.

Для зменшення впливу нестабільностей застосовують низькі (менше 100 кГц) проміжні частоти. При цьому використовується схема двоканального супергетеродинного приймача з автоматичним настроюванням проміжної частоти на частоту опорного генератора [5, 7]. У перетворювачі частоти використовуються стробоскопічні змішувачі і перестроюваний низькочастотний гетеродин, сигнал якого надходить на формувач-генератор стробуючих імпульсів. На виходах підсилювачів проміжної частоти, включених після змішувачів, одержують сигнали, частота яких являє собою різницю частоти НЗВЧ-коливань і гармоніки частоти, що перестроюваного низькочастотного гетеродина.

Нижче розглядається радіометрична система (рис. 1), у якій забезпечується почергове змішування НЗВЧ-коливань НЗВЧ-сигналами, зміщеними за частотою в протилежних напрямках, що дозволяє виключити частотно-фазові й амплітудно-фазові спотворення в каналах пристрою, а також послабити міжканальні зв'язки. Це дасть можливість значно підвищити точність вимірювання фазових НЗВЧ-коливань, які можна використовувати для виміру товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці [7].

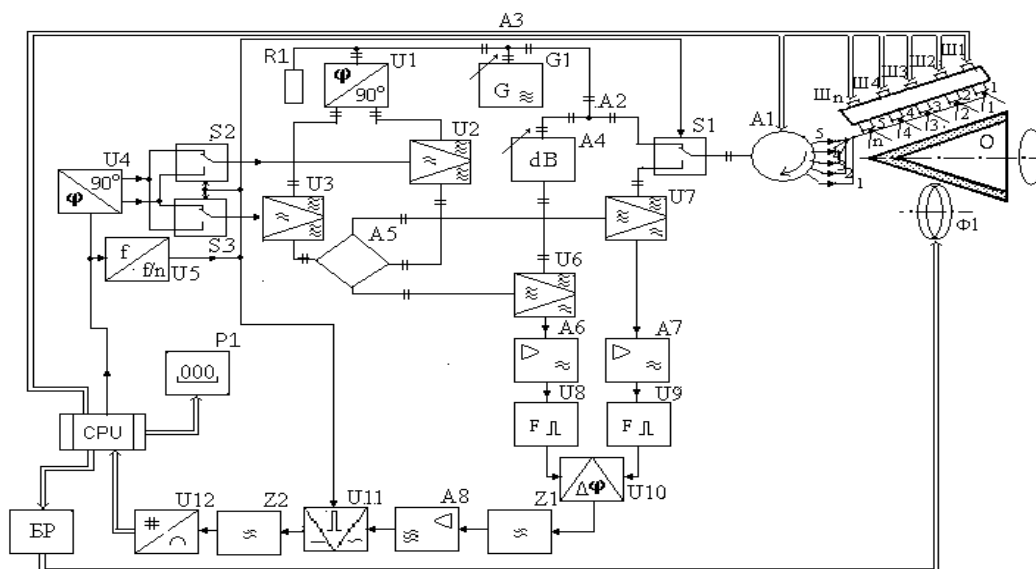


Рисунок 1 – Функціональна схема радіометричної системи для виміру товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці

Пристрій містить генератор G1 гармонійних коливань НЗВЧ-діапазону, дільники потужності A2 і A3, підключені до генератора G1, автоматичний перемикач S1 і циркулятор A1 із під'єднаними приймально-випромінюючими антенами 1 – n, закріплені на відповідних рухливих штоках Ш₁ – Ш_n, розташованих на скобі, що повторює форму обтічника і направлені на нього, узгоджувач атенюатор A4, підключений до другого виходу дільника потужності A2, НЗВЧ балансні змішувачі U6 і U7, до виходів яких підключені послідовно з'єднані підсилювачі проміжної частоти A6 і A7, формувачі коротких імпульсів U8 і U9 та лінійний фазовий детектор U10 на тригерах. До другого виходу дільника потужності A3 підключений НЗВЧ квадратурний фазодільник U1, до виходів якого через НЗВЧ балансні модулятори U2 і U3 підключений подвійний хвилеводний трійник A5, виходи якого з'єднані з другими входами НЗВЧ балансних змішувачів U6 і U7, низькочастотний гетеродин, вбудований в мікроЕОМ сру і з'єднаний з низькочастотним квадратурним фазодільником U4, виходи якого через автоматичні перемикачі S2 і S3 з'єднані з модулюючими входами НЗВЧ-балансних модуляторів U2 і U3. Дільник частоти U5 з'єднує керуючі входи автоматичних перемикачів S2 і S3 і вихід низькочастотного гетеродина, вбудованого в мікроЕОМ сру. До виходу тригерного фазового детектора U10 підключені послідовно з'єднані фільтр верхніх частот Z1, підсилювач низької частоти A8, синхронний детектор U11, фільтр нижніх частот Z2, аналого-цифрової перетворювач U12, мікроЕОМ сру та цифрової індикатор P1. Керуючий вхід синхронного детектора U11 з'єднаний із керуючими входами автоматичних перемикачів S2 і S3. Цифровий вихід мікроЕОМ сру з'єднаний з кодокеруваним блоком керування (БР) режимом механічної обробки обтічника фрезой Ф1.

Прилад для виміру товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці на основі вимірювання зсуву фаз у відбитих НЗВЧ-коливаннях працює таким чином.

Перед початком роботи системи робиться її калібрування, тобто встановлюється в автоматичному режимі за допомогою мікроЕОМ сру однакова відстань від антен 1 – n до поверхні виробу за рахунок регулювання довгі штоків, на яких укріплені антени. Регулювання здійснюється при почерговому підключенні антен до хвилеводного циркулятора A1.

Вихідні гармонійні коливання генератора G1 НЗВЧ-діапазону частоти ω і початкової фази φ ,

$$U_1(t) = U_{m1} \cos(\omega t + \varphi_1), \quad (1)$$

розділяються за допомогою дільників потужності A3 і A2 на рівні частини. Частина потужності коливань (1) із дільника A2 через автоматичний перемикач S1 і хвилеводний циркулятор A1 надходить по програмі мікроЕОМ сру в приймально-випромінювальні антени 1 – n і випромінюється в напрямку контрольованого об'єкта «О». Частина потужності коливань (1) із дільника A2 надходить на узгоджувач атенюатор A4. Відбиті від об'єкта «О» коливання:

$$U_2(t) = U_{m2} \cos(\omega t + \varphi_1) = 0,5\Gamma U_{m1} \cos(\omega t + \varphi_1 + \Delta\varphi), \quad (2)$$

де Γ – коефіцієнт відбиття сигналів від контрольованого об'єкта «О», що приймаються антенами 1 – n і через виходи хвилеводного циркулятора A1 і автоматичного перемикача S1 надходять на вхід НЗВЧ балансного змішувача U7 вимірювального каналу. Ослаблені атенюатором A4 коливання (1):

$$U_3(t) = U_{m3} \cos(\omega t + \varphi_1), \quad (3)$$

надходять на вхід НЗВЧ балансного змішувача U6 опорного каналу. Електричні довжини НЗВЧ вимірювального й опорного каналів вибираються однаковими.

Частина потужності коливань (1) із дільника А3 надходить на НЗВЧ-фазорозщеплювач U1, де розділяється на два рівних квадратурних коливання:

$$U_4(t) = U_{m4} \cos(\omega t + \varphi_1) \text{ і } U_5(t) = U_{m5} \sin(\omega t + \varphi_1), \quad (4)$$

причому $U_{m4} = U_{m5}$. Коливання (4) $U_4(t)$ і $U_5(t)$ надходять на сигнальні входи НЗВЧ балансних модуляторів U2 і U3, на модулюючі входи яких подані низькочастотні квадратурні сигнали:

$$U_6(t) = U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_3) \text{ і } U_7(t) = U_{m7} \sin(\Omega t + \varphi_3), \quad (5)$$

із рівними амплітудами ($U_{m6} = U_{m7}$). Джерелом низькочастотних сигналів є низькочастотний гетеродин, вбудований в мікроЕОМ сри звукової частоти Ω , із початковою фазою φ_3 і низькочастотний квадратурний фазорозщеплювач U4, вихідні сигнали (5) котрого $U_6(t)$ і $U_7(t)$ надходять на модулюючі входи НЗВЧ балансних модуляторів через автоматичні перемикачі S2 і S3.

У результаті перетворення на виходах НЗВЧ-модуляторів U2 і U3 коливань (4) і (5) формуються двочастотні НЗВЧ-сигнали сумарної і різницевої частот:

$$U_8(t) = 0,5S_1U_{m4}U_{m6} \{ \cos[(\omega - \Omega)t + \varphi_1 - \varphi_3] + \cos[(\omega + \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_3] \}, \quad (6)$$

$$U_9(t) = 0,5S_1U_{m5}U_{m7} \{ \cos[(\omega - \Omega)t + \varphi_1 - \varphi_3] - \cos[(\omega + \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_3] \}, \quad (7)$$

де S_1 – крутизна перетворення балансних модуляторів U2 і U3.

Оскільки $U_{m4}U_{m6} = U_{m5}U_{m7}$, то двочастотні сигнали(6) $U_8(t)$ і (7) $U_9(t)$ мають однакові амплітуди, а складова зміщених частот – протилежні знаки.

Двочастотні сигнали (6) і (7) надходять на входи подвійного хвилеводного трійника А5, де вони в плечах трійника підсумовуються і віднімаються. У результаті підсумовування сигналів на одному виході трійника А5 утворюються коливання різницевої частоти:

$$U'_{10}(t) = S_1K_1U_{m4}U_{m6} \cos[(\omega - \Omega)t + \varphi_1 - \varphi_3], \quad (8)$$

а в результаті віднімання на іншому виході трійника – коливання сумарної частоти:

$$U'_{11}(t) = S_1K_1U_{m4}U_{m6} \cos[(\omega + \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_3], \quad (9)$$

де K_1 – коефіцієнт передачі подвійного хвилеводного трійника А5.

Колівання різницевої частоти надходять на другий вхід балансного змішувача U7, а коливання сумарної частоти – на другий вхід балансного змішувача U6. У результаті балансного змішування НЗВЧ-коливань різницевої (8) частоти $U'_{10}(t)$ з НЗВЧ-коливаннями (2) $U_2(t)$ вимірювального каналу утворюються різницеві коливання низької частоти:

$$U'_{12}(t) = S_1K_1S_2U_{m2}U_{m4}U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_2 - \varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4), \quad (10)$$

де S_2 – крутизна балансного змішувача; φ_4 – фазовий зсув, внесений змішувачем U7.

При балансному змішуванні НЗВЧ-коливань сумарної (9) частоти $U'_{11}(t)$ з НЗВЧ-коливаннями (3) $U_3(t)$ також утворюються різницеві коливання низької частоти:

$$U'_{13}(t) = S_1K_1S_2U_{m3}U_{m4}U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_3 + \varphi_5), \quad (11)$$

де φ_5 – фазовий зсув, внесений змішувачем U6.

Оскільки амплітуди потужності коливань U_{m2} і U_{m3} у загальному випадку не рівні через змінність коефіцієнта відбиття Γ від контрольованого об'єкта «О», то $\varphi_4 \neq \varphi_5$.

Сигнали низької частоти (10) $U'_{12}(t)$ і (11) $U'_{13}(t)$ виділяються і посилюються вузькосмуговими виборчими підсилювачами А6 і А7, настроєними на частоту Ω низькочастотного гетеродину, вбудованого в мікроЕОМ сру. Проте через немінучі розлагодження виборчих підсилювачів А6 і А7 в процесі роботи пристрою вихідні посилені сигнали (10) і (11) зсуваються на різні фазові кути:

$$U'_{14}(t) = S_1 K_1 S_2 K_2 U_{m2} U_{m4} U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_2 - \varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4 + \varphi_6), \quad (12)$$

$$U'_{15}(t) = S_1 K_1 S_2 K_3 U_{m3} U_{m4} U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_3 + \varphi_5 + \varphi_7), \quad (13)$$

де φ_6 і φ_7 – фазові зсуви, внесені розлагодженими виборчими підсилювачами А6 і А7 відповідно ($\varphi_6 \neq \varphi_7$) і K_3 – коефіцієнти передачі підсилювачів А6 і А7.

За допомогою формувачів U8 і U9 створюються короткі імпульси в моменти переходу через нуль кривих напруг, що надходять на лінійний фазовий детектор U10.

Вихідна напруга фазового детектора пропорційна різниці фаз вхідних сигналів:

$$U'_{16} = S_3 (\arg U'_{14} - \arg U'_{15}) = S_3 (\varphi_2 - \varphi_1 + \varphi_4 + \varphi_6 - \varphi_5 - \varphi_7), \quad (14)$$

де S_3 – чутливість фазового детектора U10.

Автоматичні перемикачі S1, S2 і S3 управляються прямокутною напругою дільника частоти U5, що збуджується низькочастотною напругою гетеродину, вбудованого в мікроЕОМ сру. При коефіцієнті ділення k дільника частоти U5 через часові інтервали $2\pi k / \Omega$ відбувається зміна положення контактів автоматичних перемикачів S1, S2 і S3. При цьому відбувається взаємне заміщення низькочастотних модулюючих сигналів, зсунутих на 90° . У результаті цього здійснюється взаємне заміщення сумарних і різницевих коливань НЗВЧ-діапазону на виходах подвійного хвилеводного трійника А5:

$$U''_{10}(t) = S_1 K_1 U_{m4} U_{m6} \cos[(\omega + \Omega)t + \varphi_1 + \varphi_3], \quad (15)$$

$$U''_{11}(t) = S_1 K_1 U_{m4} U_{m6} \cos[(\omega - \Omega)t + \varphi_1 - \varphi_3]. \quad (16)$$

Потім НЗВЧ-коливання (2) $U_2(t)$ вимірювального каналу змішуються з НЗВЧ-коливаннями (15) сумарної частоти $U''_{10}(t)$, що утворює різницеві коливання низької частоти виду:

$$U''_{12}(t) = S_1 K_1 S_2 U_{m2} U_{m4} U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4). \quad (17)$$

НЗВЧ-коливання (3) $U_3(t)$ опорного каналу змішуються з НЗВЧ-коливаннями (16) різницевої частоти $U''_{11}(t)$. У результаті перетворення одержуємо різницеве низькочастотне коливання:

$$U''_{13}(t) = S_1 K_1 S_2 U_{m3} U_{m4} U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_3 + \varphi_5). \quad (18)$$

Оскільки виборчі підсилювачі А6 і А7 вносять ті ж самі фазові зсуви в посилені напруги, то:

$$U''_{14}(t) = S_1 K_1 S_2 K_2 U_{m2} U_{m4} U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 + \varphi_6), \quad (19)$$

$$U''_{15}(t) = S_1 K_1 S_2 K_3 U_{m3} U_{m4} U_{m6} \cos(\Omega t + \varphi_3 + \varphi_5 + \varphi_7). \quad (20)$$

Вихідна напруга фазового детектора U10 (14) з урахуванням змінених значень аргументів порівнюваних напруг приймає вигляд:

$$U''_{16} = S_3(\arg U''_{14} - \arg U''_{15}) = S_3(\varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_4 + \varphi_6 - \varphi_5 - \varphi_7). \quad (21)$$

Зі співставлення напруг (14) U'_{16} і (21) U''_{16} видно, що при зміні положення автоматичних перемикачів S2 і S3 змінюється знак різниці фаз, що вимірюється ($\varphi_2 - \varphi_1$ на $\varphi_1 - \varphi_2$), а інші складові залишаються незмінними.

Тому при періодичній роботі автоматичних перемикачів S2 і S3 у вихідній напрузі (14) і (21) фазового детектора U10 виникає змінна складової напруги, що пропорційна тільки різниці фаз, що вимірюється:

$$U_{17} = 0,5(U'_{16} - U''_{16}) = S_3(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (22)$$

Змінна складова (22) U_{17} виділяється фільтром верхніх частот Z1, посилюється підсилювачем частоти комутації A8, випрямляється синхронним детектором U11 і виділяється фільтром нижніх частот Z2. Випрямлена напруга вимірюється індикатором P1:

$$U_{18} = S_0(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (23)$$

де S_0 – результуюча чутливість перетворення різниці фаз у постійну напругу; і подається через блок керування (БР) на фрезу «Ф1», яка механічно обробляє обтічники «О». В залежності від введеної в пам'ять мікроЕОМ сри інформації і випрямленої напруги (23), що порівнюються, виконується обробка обтічників.

Таким чином, з отриманого виразу (23) видно, що результат комутаційного перетворення не залежить від амплітудно-фазових спотворень у змішувачах (φ_4 та φ_5) і частотно-фазових спотворень у виборчих підсилювачах (φ_6 та φ_7). Оскільки гетеродинні входи НЗВЧ-змішувачів розв'язані між собою подвійним хвилеводним трійником, то практично відсутні фазові спотворення від паразитних міжканальних зв'язків.

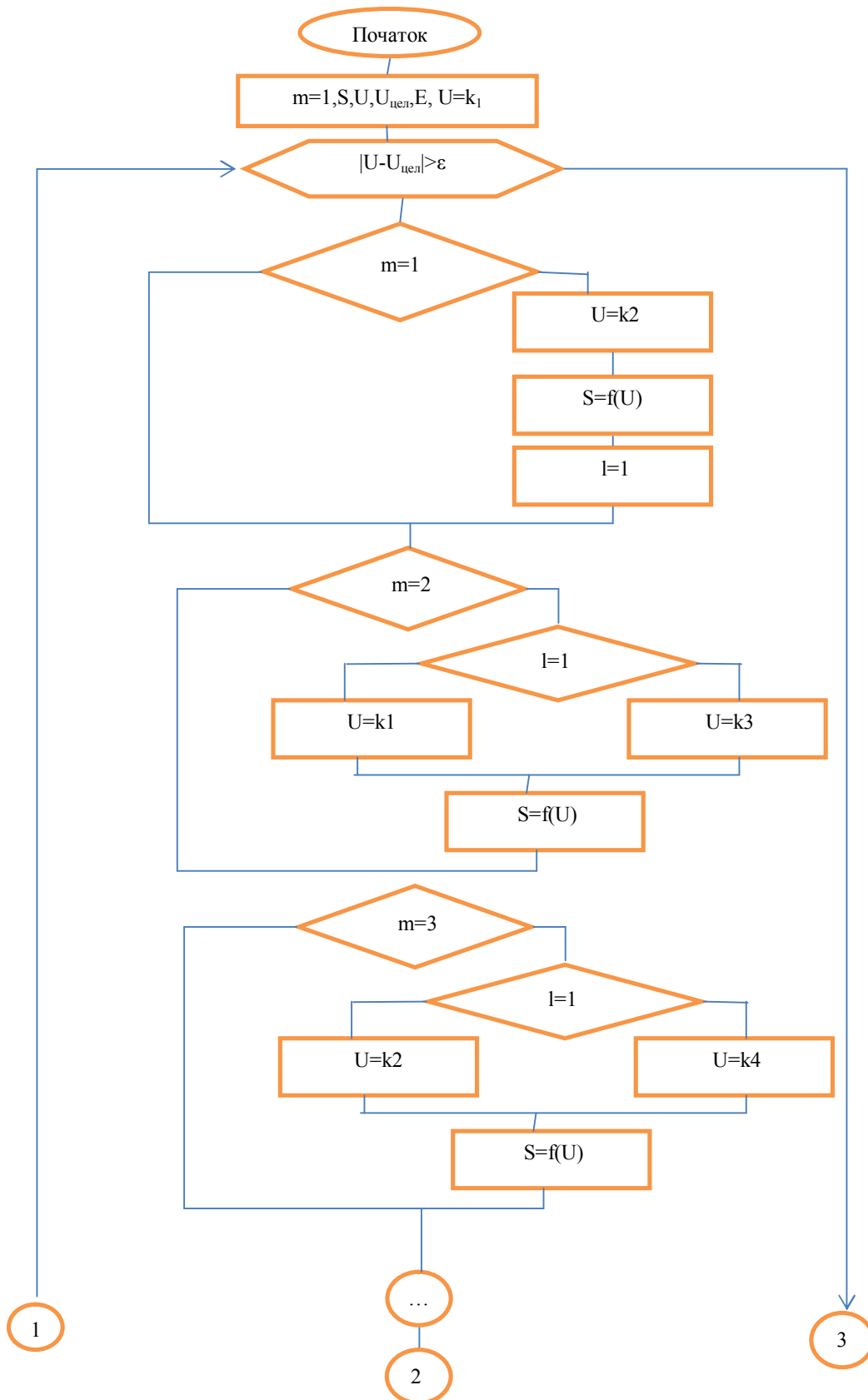
Аналіз роботи радіометричної системи для виміру товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці дозволяє оптимізувати її управління (рис. 2.)

При створенні алгоритму використані умовні позначення: m – положення фрези відносно зони прийому-відображення сигнал; S – глибина подачі фрези; U – поточне значення фази зондуючого сигналу; $U_{\text{цел}}$ – цільове значення фази зондуючого сигналу; ε – допустиме значення різниці фаз зондуючого сигналу, відповідне заданому значенню товщини стінки обтічників (фази); масив k – значення фаз зондуючого сигналу з антен (кількість елементів у масиві дорівнює кількості антен); l – напрямок руху фрези; r – кероване положення фрези відносно антен (1-n).

Вимірювання фази відбитого сигналу проводиться з випередженням (вимірюється перед фрезою). При n кількості випромінюючих антен розіб'ємо обтічник, що оброблюється, на n зон, в яких може перебувати фреза. Поточне положення фрези буде відображатися змінної m , на початку програми фреза розташовується на початку обтічника, відповідно $m = 1$. На початку необхідно вказати цільове значення фази зондуючого сигналу, до якого будемо прагнути при обробці обтічника і допустиме значення різниці фаз, відповідне заданому значенню товщини стінки (фази), воно буде використовуватися для визначення моменту завершення обробки обтічника.

Поки не виконається умова $|U - U_{\text{цел}}| > \varepsilon$, виконується механічна обробка обтічника. Обтічник обробляється згідно з поточним значенням фази зондуючого сигналу U (регулюється глибина подачі фрези S). Поточне значення фази зондуючого сигналу U визначається щодо положення фрези з випередженням.

Коли досягається умова $|U - U_{\text{цел}}| > \varepsilon$, механічна обробка обтічника зупиняється, $S = 0$.



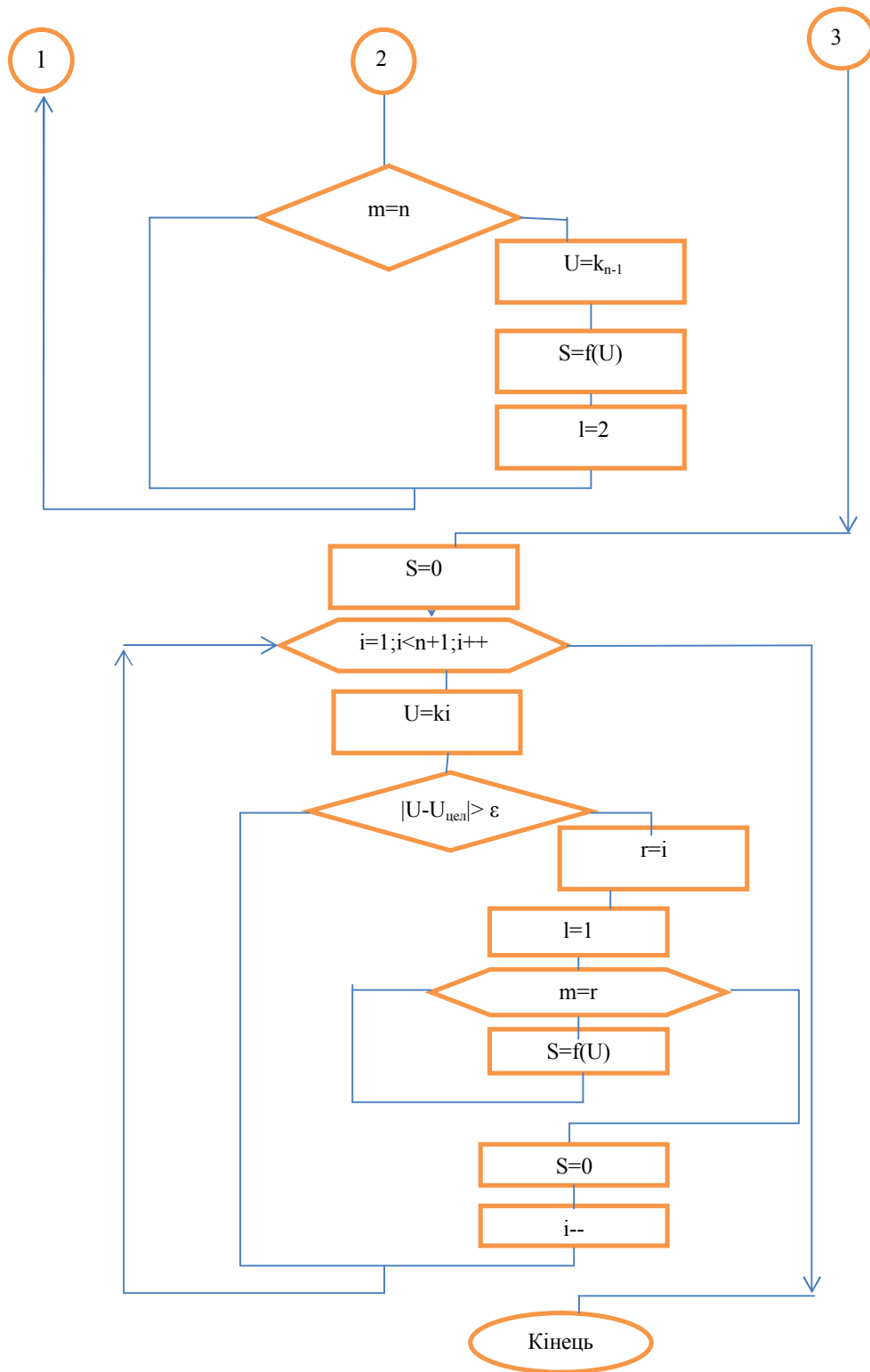


Рисунок 2 – Алгоритм оптимального управління радіометричної системи для виміру товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці

Далі необхідно виконати перевірку, чи в кожній зоні досягнутий бажаний результат, для цього, поки не виконається ця умова $i = 1; i < n + 1; i + +$, проводиться перевірка: поточне значення фази зондуючого сигналу присвоюється антені, відповідної індексу i , $U = k_i$ виконується перевірка $|U - U_{цел}| > \epsilon$, якщо результат порівняння позитивний – задана точність не досягнута, фреза переміщується в початок i -ї зони, $r = i$, напрямок руху фрези встановлюється рівним $l, l = 1$, поки фреза знаходиться в необхідній зоні, $m = r$, визначається глибина подачі фрези $S = f(U)$, коли фреза виходить з заданої зони, вона перестає подаватися, $S = 0$, так як в умови бажаний результат, для цього, поки не виконається ця умова $i = 1; i < n + 1; i + +$, i нарощується, а цільова точність на заданій ділянці може бути ще не досягнута, проводиться зменшення ітератора $i, i -$.

По закінченні алгоритму необхідна точність буде досягнута на всіх n ділянках.

Таким чином, розглянута радіометрична система для виміру товщини стінки обтічників за рахунок вимірювання зсуву фаз відбитих НЗВЧ-коливань інваріантна до фазових спотворень у перетворювальних каналах, що забезпечує підвищення точності виміру товщини стінки обтічника на робочому місці при їх механічній обробці.

Експериментальні дослідження макетного зразка системи в 5-мм-діапазоні підтвердили можливість виміру малих змін фази відбитого сигналу в межах $5-20^\circ$ із похибкою не більш $\pm 0,1^\circ$ при зсуві частоти 10 кГц і коефіцієнті відбиття $\Gamma = 0,7 \dots 0,3$, що відповідає виміру товщини стінки обтічника із похибкою не більш $\pm 0,014$ мм.

Висновки

Розглянута радіометрична система для виміру товщини стінки обтічника інваріантна до фазових спотворень у перетворювальних каналах, що забезпечує підвищення точності виміру товщини стінки обтічників на робочому місці при їх механічній обробці.

Результат комутаційного перетворення не залежить від амплітудно-фазових спотворень у змішувачах і частотно-фазових спотворень у виборчих підсилювачах.

Дослідження системи в 5-мм-діапазоні показали можливість виміру товщини стінки обтічника із похибкою не більш $\pm 0,014$ мм при зсуві частоти 10 кГц і коефіцієнті відбиття $\Gamma = 0,7 \dots 0,3$.

Перелік використаної літератури

1. Куценко В.П. Методы и средства сверхвысокочастотной радиометрии / [В.П. Куценко, Ю.А. Скрипник, Н.Ф. Трегубов, и др.]. – Донецьк: ІПШ «Наука і освіта», 2011. – 324 с.
2. Куценко В.П. Радіометричний НВЧ-контроль властивостей матеріалів / [В.П. Куценко, Ю.О. Скрипник, М.Ф. Трегубов, и др.]. – Донецьк : ІПШ «Наука і освіта», 2012. – 348 с.
3. Головка Д.В. Частотно-дисперсійні аналізатори складу та властивостей матеріалів та речовин / Д.В. Головка, Ю.О. Скрипник, К.Л. Шевченко. – К.: «МП Леся», 2002. – С. 88-125.
4. Чиграй Е.С. Динамика коэффициента отражения мм-волн от кожи при КВЧ-воздействии / Е.С. Чиграй, Ю.Г. Яременко // Сб. докл. 2 Российского симпозиума «Миллиметровые волны в медицине и биологии». – М.: ИРЭ РАН, 1997. – С. 192-193.
5. Измерения в электронике: справочник / под. редакцией В.А. Кузнецова. – М.: Энергоиздат, 1987. – 512 с.
6. Головка Д.Б. Надвисокочастотні методи та засоби вимірювання фізичних величин / Д.Б. Головка, Ю.О. Скрипник, О.П. Яненко. – К.: Либідь, 2003. – 328 с.
7. Скрипник Ю.О. Модуляційні радіометричні пристрої та системи НВЧ - діапазону: навч. посібник / Ю.О. Скрипник, В.П. Манойлов, О.П. Яненко. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 374 с.

Надійшла до редакції:
16.02.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф., Зорі А.А.

В.П. Куценко, Н.Ф. Трегубов, Ю.А. Скрипник, А.Ф. Яненко, В.А. Довгопол
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Казенное научно-производственное предприятие "Кварсит", Киевский национальный университет технологий и дизайна, Национальный технический университет Украины «КПИ»
Радиометрическая система для измерения толщины стенки обтекателей на рабочем месте при их механической обработке. В работе предлагается двухканальная радиометрическая система, позволяющая измерять толщину стенки обтекателей на рабочем месте при их механической обработке на основе фазоизмерительной радиометрической системы. Рассмотрена функциональная схема прибора, принцип и алгоритм обработки сигнала. Показаны технические характеристики радиометрической системы, при которых возможно измерять толщину стенки обтекателей на рабочем месте.

Ключевые слова: радиометр, обтекатель, контроль, измерение, излучение.

V.P. Kutsenko, Y.O. Skripnik, M.F. Tregubov, O.P. Yanenko, V.A. Dovgopol
Donetsk National Technical University, State-owned scientific-production enterprise "KVARISIT", Kyiv National University of Technologies and Design, National Technical University of Ukraine "KPI"

Aerophare System for Measuring the Thickness of the Wall of Cowlings in the Workplace during Their Tooling. The paper considers a two-channel aerophare system, allowing measuring the thickness of the wall of cowlings in the workplace during their tooling on the basis of a phase-measuring aerophare system. The functional diagram of the device, the principle and algorithm of signal processing are discussed. Technical descriptions of the aerophare system, which make possible measuring the thickness of the wall of cowlings are provided. In the aerophare system for measuring the thickness of the wall of cowlings, due to measuring the change of the phases of reflected extremely high-frequency vibrations, extremely high-frequency vibrations alternately mix with extremely high-frequency signals shifted by frequency in opposite directions. The aerophare system is considered invariant to phase distortions in transforming channels, which increases the accuracy of measuring the thickness of the wall of cowling. The result of interconnect transformation does not depend on gain-phase distortions in mixers and frequency-phase distortions in selective amplifiers. Heterodyne inputs of extremely high-frequency mixers are decoupled by a hybrid tee, which prevents almost completely phase distortions from spurious interchannel connections. The system uses N of radiative aeriels, which allow controlling the milling cutter in its conditional n areas. Current position of the milling cutter will be represented with variable m , at the beginning of the program the milling cutter is located at the beginning of the cowling, accordingly $m = 1$. When the system starts working the target value of the sounding signal and the admissible value of phases difference (which corresponds to a given value of the wall (phase) thickness) are stated. The admissible value of phases difference should be used to identify the moment of cowling tooling completion. The current value of sounding signal phase is determined by the data from aerial 1. Cowling tooling is performed under conditions $|U-U_0| > \varepsilon$, where ε is a legitimate value of phases difference corresponding to a set value of wall thickness. The analysis of the aerophare system for measuring the thickness of the wall of cowlings during their tooling has allowed optimizing its control.

Keywords: radiometer, cowling, control, properties, radiation.