УДК 621.644.07

РОЗРОБЛЕННЯ АПАРАТУРИ ІЗ ВБУДОВАНИМ КИШЕНЬКОВИМ КОМП'ЮТЕРОМ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ТРУБОПРОВОДІВ

С.М. Мухлинін

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м.Київ, 01056, e-mail: 7up@online.ua

Описаний двочастотний прилад для надтрасової діагностики трубопроводу з вбудованим кишеньковим комп'ютером, який дозволяє здійснювати обробку вимірюваних сигналів і видавати результати обробки на монітор в зручному для оператора вигляді. В результаті створення апаратури був апробований метод визначення технічного стану ізоляційних покрить за допомогою приладу, що базується на портативному комп'ютері типу PocketPC.

Описан двухчастотный прибор для надтрасовой диагностики трубопровода со встроенным карманным компьютером, который позволяет осуществлять обработку измеренных сигналов и выдавать результаты обработки на монитор в удобном для оператора виде. В результате создания аппаратуры был апробирован метод определения технического состояния изоляционных покрытий с помощью прибора, который базируется на портативном компьютере типа PocketPC.

The two frequency device for diagnostics above a route of pipeline with the embedded pocket computer is devoted, which allows to carry out treatment of the measured signals and give out the results of treatment on a monitor in a comfortable for an operator kind. As a result of creation of apparatus the method of determination of the technical state of isolating coverage's was approved by a device which is based on the briefcase computer of type of PocketPC.

На даний час більшість підземних трубопроводів, що використовуються для транспортування нафти і газу, відслужили свій термін, але ще продовжують експлуатуватися.

Одним із способів попередження відмов обладнання, забезпечення працездатності його елементів в процесі експлуатації є контроль технічного стану підземних комунікацій методами та засобами неруйнівного контролю. Оскільки технічний стан підземних нафтогазопроводів в значній мірі залежить від стану їх ізоляційного покриття, то розробка способів і приладів для його контролю є актуальною задачею.

Частіше всього для діагностики стану ізоляційного покриття підземних нафтогазопроводів застосовуються безконтактні методи контролю, які базуються на визначенні заникання струму вздовж трубопроводу, що протікає в стінці труби і витікає в місцях пошкодження ізоляції. Але розробниками недостатньо приділяється уваги діагностиці стану ізоляційного покриття комунікацій, які знаходяться у вологих ґрунтах і під водою.

У своїх дослідженнях Джала Р.М. [1], Дикмарова Л.П. і Корнієнко В.Ю. [2] розглядають електричні моделі трубопроводу з урахуванням ємнісних та індуктивних складових розподілених параметрів, але визначення всіх необхідних коефіцієнтів, які залежать від конкретних електрофізичних параметрів середовища, у якому знаходиться трубопровід, з належною точністю та врахування їх зміни вздовж трубопроводу представляє собою складну практичну задачу при проведенні вимірювань. Невраховування зміни цих параметрів призводить до погіршення точності результатів вимірювань. Також відома спрощена модель [3], але вона може використовуватись тільки для сухих ґрунтів, у яких вплив індуктивності ґрунту значно перевищує вплив ємності ізоляційного покриття. Як відомо із практичних досліджень, у вологих ґрунтах та водних середовищах вплив розподіленої ємності значно перевищує вплив індуктивності ґрунту. Крім того, у роботах [1 – 3] припускається, що всі вимірювання виконуються на частотах 30…100Гц. За

результатами практичних досліджень на таких частотах присутні значні електромагнітні завади, які пов'язані із впливом промислової частоти 50Гц. Наведена електрорушійна сила (ЕРС) у антенах приймача на порядок менша, ніж при використанні частот 1…10кГц.

В результаті аналізу існуючих методик та апаратури для обстеження трубопроводів індукційним методом можна відзначити такі проблеми у питанні дослідження стану ізоляційного покриття трубопроводів:

– апаратура для контролю стану ізоляційного покриття нафтогазопроводів не має у своєму складі програмного комплексу, що базується на переносному комп'ютері і дозволяє оперативно обробити результати експериментальних досліджень якості ізоляції трубопроводів;

– відомі методики вимірювання [4] та відповідна їм апаратура не враховують вплив розподілених параметрів на результати визначення якості ізоляції, які, як відомо [2, 5], при незадовільній якості покриття вносять значну похибку в результати дослідження;

– більшість апаратури надтрасової діагностики у своєму складі не має вузькосмужкового фільтру для усунення впливу електромагнітних вад на результати вимірювання;

– генератори відомої апаратури не мають стабілізаторів струму, а це вносить додаткову похибку у результати вимірювання.

З метою досягнення більшої точності визначення положення трубопроводу та місця пошкодження ізоляції одним із завдань є розробка двочастотного приладу для надтрасової діагностики трубопроводу з вбудованим кишеньковим комп'ютером, який дозволяє здійснювати обробку вимірюваних сигналів і видавати результати обробки на монітор в зручному для оператора вигляді.

Апаратура, яка базується на застосуванні кишенькового комп'ютера, дозволяє враховувати всі поправки для отримання достовірних результатів при визначенні якості та дефектів ізоляційних покрить. Апаратура, що побудована на базі кишенькового комп'ютера, як універсального обчислювача, дозволяє використовувати вузькосмужковий математичний фільтр, здійснювати адаптацію алгоритмів визначення струму в залежності від середовища і автоматичний підбір коефіцієнта підсилення сигналу, враховувати поправки викривлення магнітних силових ліній та поправок на згасання струму внаслідок використання ненульової частоти.

Використання кишенькового комп'ютера дозволяє отримувати всі необхідні параметри в текстовому та графічному вигляді безпосередньо на об'єкті обстеження, а також автоматично складати звіти про технічний стан трубопроводу в реальному часі і проводити моніторинг технічного стану трубопровідних мереж.

Структурна схема запропонованої апаратури зображена на рис. 1.

Двохчастотний генератор змінного струму електрично з'єднується з трубопроводом. Трубопровід виступає у ролі передаючої антени. Сам прилад складається з антенної системи, попереднього підсилювача, комутатора, підсилювачів із змінними коефіцієнтами підсилення, аналого-цифрового перетворювача, формувача інтерфейсу USB, генератора тактової частоти, дешифратора, фільтра, головних телефонів, та комп'ютера, що входить до комплекту апаратури.

Антенна система представляє собою три котушки, дві з яких – паралельні між собою і знаходяться на різній висоті від поверхні землі, а третя – перпендикулярна першим двом.

Амплітуда сигналу, що виникає в антенній системі внаслідок наведення ЕРС на котушки, підсилюється у попередньому підсилювачі у 8 разів. Підсилений сигнал поступає на комутатор. Керуючим сигналом комутатору служить сигнал з дешифратора, який приймає керуючий байт інформації з комп'ютера.

Сигнал з комутатора надходить на підсилювач із змінним коефіцієнтом підсилення. Коефіцієнт підсилення підсилювача залежить від керуючого байту, що надходить з комп'ютера.

З підсилювача сигнал поступає на АЦП, де він перетворюється у 24-х бітний паралельний код, 16 старших біт передаються у комп'ютер. Останні 8 біт коду мало впливають на точність вимірювання і містять у собі похибку перетворення у 3LSB. Крім того, їх передача зменшує швидкість роботи апаратури на 50%. Перетворювач, на який потрапляє сигнал з АЦП, перетворює сигнал у послідовність імпульсів, синхронізованих у часі з імпульсами, що надходять з генератора тактової частоти. Далі сигнал надходить до формувача інтерфейсу USB, а потім – до комп'ютера. Сигнал програмно обробляється і на дисплей посилається готовий результат вимірювання. Паралельно цей результат зберігається у файлі даних на енергонезалежному носії. Програма має зворотний зв'язок з приладом через порт USB.

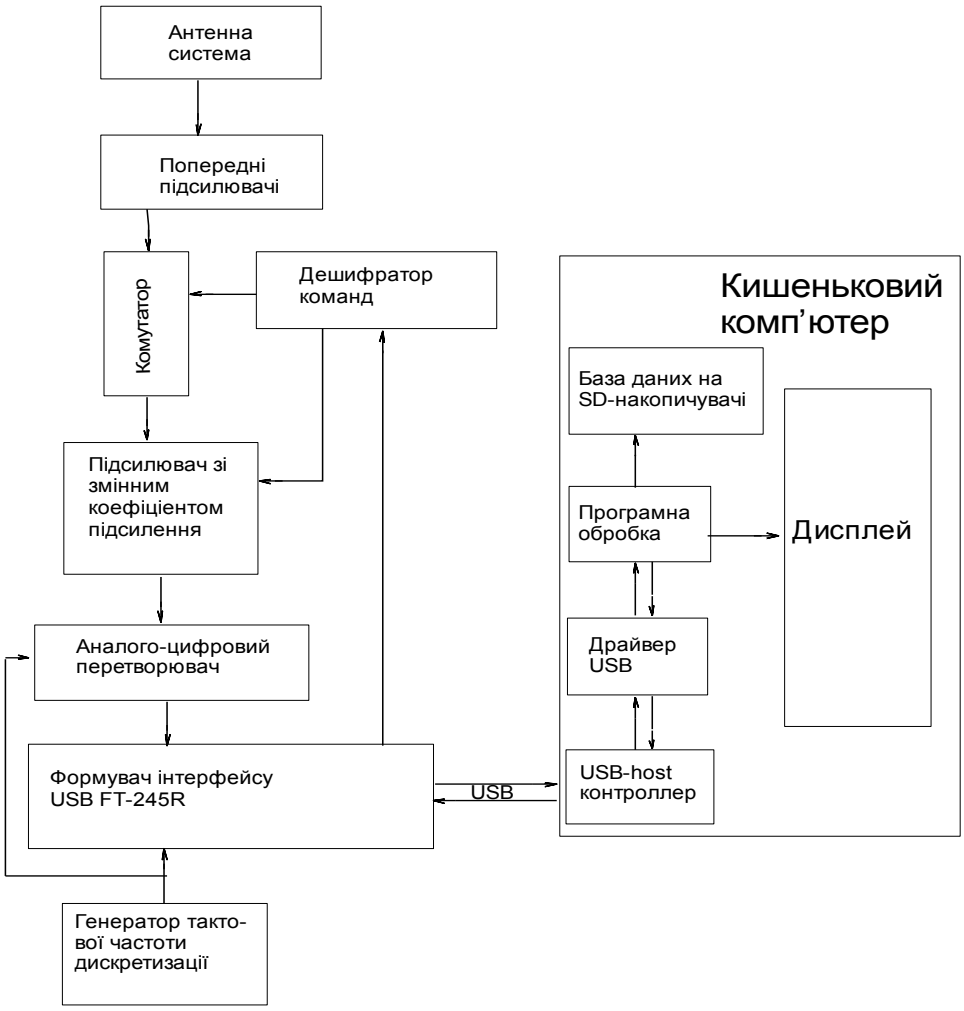


Рисунок 1 – Структурна схема двочастотної портативної апаратури для надтрасової діагностики трубопроводів

Дані, що надходять до приладу, містять таку інформацію: біт вибору верхньої/нижньої антени, декілька бітів, що задають коефіцієнт підсилення підсилювачів, та біт, що керує фізичним фільтром.

Антенна система апаратури може мати дві або три антени. Третя антена використовується для пошуку трубопроводу. Але вона може бути відсутньою, оскільки пошук можна виконувати за допомогою будь-якої з двох інших антен. Якщо використовується модифікація з трьома антенами, то сигнал третьої антени потрапляє лише на звуковий канал, що поліпшує пошук трубопроводу. Кожна антена представляє собою котушку з 10 тис. витків проводу ПЕВ-0,08. В середині антенної системи також встановлені попередні підсилювачі струму для того, щоб зменшити вплив електромагнітних вад на сигнал, що передається з антени на АЦП.

Комутатор надає можливість перемикання сигналу з верхньої або нижньої антени. Комутатор представляє собою аналоговий мультиплекс з цифровим керуванням. Сигнал керування надходить безпосередньо з регістру команд, який знаходиться у дешифраторі команд. Підсилювач зі змінним коефіцієнтом підсилення встановлений для можливості вимірювання з високою точністю як потужних, так і слабких сигналів. Підсилювач і комутатор керуються байтом керування, що надходить з кишенькового комп'ютера і зберігається у регістрі команд.

Прийнятий сигнал обчислювач обробляє наступним чином. Після запуску програми на обчислювачі (рис. 2) задаються початкові дані об'єкту. Далі в неперервному циклі виконується зчитування даних, які надійшли з антенної системи, виконується спектральний аналіз цих

даних (перетворення Фур'є) [6], в результаті якого визначається амплітуда кожної із гармонік сигналу генератора. За отриманими амплітудами гармонік визначається оптимальний коефіцієнт підсилення методом половинного ділення. Якщо значення амплітуди сигналу виходить за встановлені оптимальні рамки, то виконується встановлення нового коефіцієнта підсилення через зворотній зв'язок, після чого знову виконується перевірка оптимальності коефіцієнта підсилення. Після виконання кожного циклу роботи оператору представляється поточне значення ЕРС, наведеної в антенній системі для правильного орієнтування останньої відносно трубопроводу.

Оператор має змогу перервати цикл вимірювання через органи керування в будь-який час. Коли оператор через органи керування дає команду початку вимірювання, то програма проводить зчитування наступного блоку цифрованого сигналу з антенної системи та виконує спектральний аналіз, після чого визначається коефіцієнт заникання струму, за яким визначається стан ізоляційного покриття, використовуючи відому методику та порогові значення критерію оцінки якості ізоляційного покриття [7].

Визначення коефіцієнта заникання струму δ виконується наступним чином [7]:

$$\delta = A\sqrt{1+\sqrt{1+\omega^2 B}}\,, \qquad (1)$$

де ω – частота струму генератора; A, B – невідомі коефіцієнти, які визначаються шляхом регресивного аналізу отриманих даних або теоретично з допомогою додаткових вимірювань за наступними формулами [8]:

$$A = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt[4]{\frac{\rho}{\rho_i t_i t}}\,, \qquad (2)$$

$$B = \varepsilon^2 \rho_i^{\,2}\,, \qquad (3)$$

де t – умовна товщина шару ґрунту навколо трубопроводу, ρ – питомий опір ґрунту, ρ_i – питомий опір ізоляції трубопроводу, ε – діелектрична проникність ізоляції трубопроводу, t_i – товщина ізоляції.

За обчисленими значеннями струму нульової частоти в двох сусідніх точках обстеження, втрати якого відбуваються тільки за рахунок пошкоджень ізоляційного покриття, обчислюють коефіцієнт заникання струму, що і буде визначати якість ізоляційного покриття.

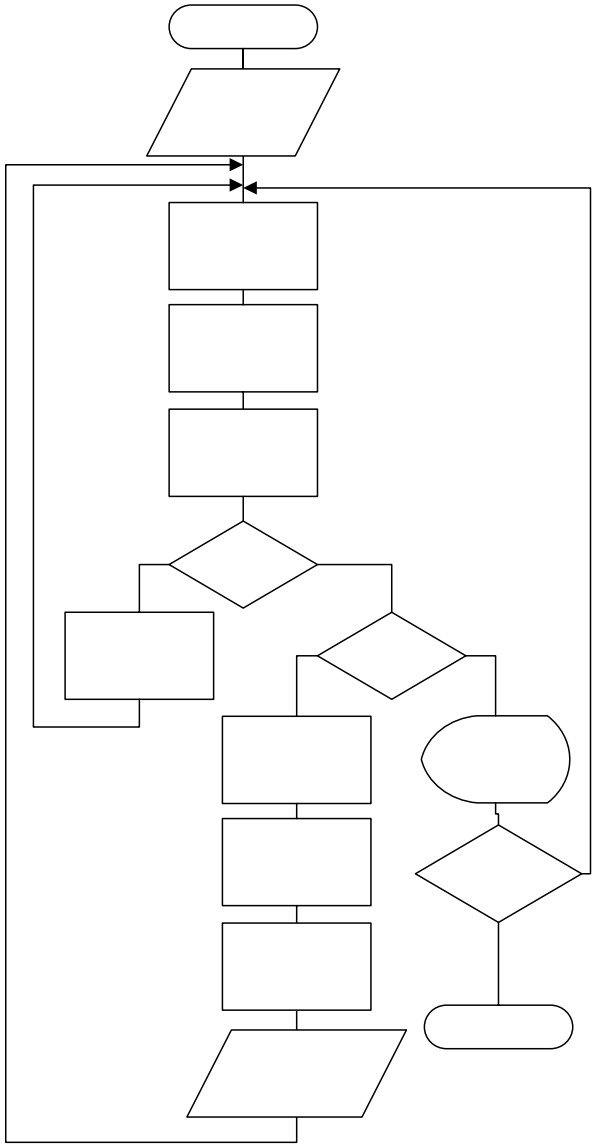


Рисунок 2 – Алгоритм роботи програми кишенькового комп'ютера

АЦП перетворює аналоговий сигнал у цифрові відліки з частотою 104 тис. перетворення за секунду. АЦП працює лише за наявності біту запуску у регістрі команд, що дозволяє значно економити енергію під час виконання обчислень на кишеньковому комп'ютері. Дані з АЦП поступають на формувач інтерфейсу USB, який виконаний на базі мікросхеми, що випущена фірмою Future Technologies LTD й дозволяє перетворювати паралельний код у послідовні коди інтерфейсу USB і навпаки. Зв'язок користувача з апаратурою відбувається шляхом натискання на апаратні кнопки приладу. Кожна кнопка формує

свій код, який можна зчитувати програмно в режимі постійного звернення до клавіатури.

Програмне забезпечення використовує бібліотеку обміну по протоколу USB від підприємства Future Technology Devices Intl. Ltd. разом із їхньою розробкою модуля створення USB-інтерфейсу. Це дозволяє проводити обмін між пристроєм та комп'ютером на швидкості до 12Мбіт/сек.

При запуску програма потребує вводу даних про поточне вимірювання. Далі виконується запуск окремого процесу, в якому виконується зчитування даних з пристрою. Після цього виводиться діалог налаштування положення антени з трьома стовпчиками, що показують поточний коефіцієнт підсилення підсилювачів у пристрої та рівні EPC на верхній та нижній антені. Вимірювання проходить після того, як користувач натисне на кнопку на пристрої. Перевірка натиснення кнопки проходить у режимі програмного опитування. Після вимірювання виводяться графіки струму, глибини залягання та питомого затухання струму. Наступний натиск на кнопку переводить пристрій знову у режим пошуку підземних комунікацій.

Кожне вимірювання (в тому числі і пошукове) проходить наступним чином: виконується перевірка на правильність підбору коефіцієнту підсилення, якщо він не є правильним, то виконується його коригування методом половинного ділення; дані завантажуються на комп'ютер (з фізичним фільтром); дані фільтруються; виводиться результат на екран; перевіряється натиснення кнопки. Після завершення вимірювань програма завершує роботу.

Розроблена апаратура, що містить вбудований кишеньковий комп'ютер, дозволяє:

– враховувати поправки для отримання достовірних результатів при визначенні якості та дефектів ізоляційних покрить;

– використовувати вузькосмужковий математичний фільтр;

– використовувати адаптацію алгоритмів визначення струму в залежності від середовища, автоматичний підбір коефіцієнта підсилення сигналу, урахування поправок викривлення магнітних силових ліній та поправок на заникання струму внаслідок використання ненульової частоти;

– максимально спростити апаратну частину пристрою;

– полегшити вдосконалення програмного забезпечення;

– підвищити достовірність та швидкість отримання результату;

– зменшити вартість апаратури в цілому;

– спростити взаємодію користувача з апаратурою;

– отримувати всі необхідні параметри в текстовому та графічному вигляді безпосередньо на об'єкті обстеження;

– автоматично складати звіти про технічний стан трубопроводу в реальному часі;

– проводити моніторинг технічного стану трубопровідних мереж;

– визначати географічні координати точок вимірів за допомогою вбудованого або окремого модуля GPS.

ВИСНОВКИ

В результаті розроблення і виготовлення описаної вище апаратури був апробований метод визначення технічного стану ізоляційних покрить за допомогою приладу, що базується на портативному комп'ютері типу PocketPC, було розроблено програмне забезпечення для цих комп'ютерів на базі операційної системи Windows CE 5.0+ для функціонування апаратури.

Портативний комп'ютер, який входить до складу апаратури, дозволяє здійснювати обробку вимірюваних сигналів і видавати результати обробки на монітор в зручному для оператора вигляді. Застосований при обробці сигналу метод швидкого перетворення Фур'є разом із методами вузькополосної математичної фільтрації сигналів значно підвищують точність отриманих результатів. Для роботи апаратури в автоматичному режимі розроблено програмне забезпечення в системі програмування Microsoft Visiual Studio 2008.

Література

1. Джала Р.М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Неруйнівний контроль і технічна діагностика: довідник, т.5 / Під ред. З.Т. Назарчука.– Львів: ФМІ НАН України, 2001.– 1138 с.

2. Дикмарова Л.П., Корниенко В.Ю. Сопротивление изоляционного покрытия подземного трубопровода // Нефт. пром-ть.– 1991. – №12.– С.51-56.

3. Джала Р.М., Дікмарова Л.П. Аналіз інформативності коефіцієнта заникання струму в електромагнітному методі контролю ізоляції трубопроводів // Технічна діагностика

та неруйнівний контроль. – 1999. – №3.– С.45-50.

4. Яворський А.В. Розробка методу та системи для безконтактного контролю стану ізоляції промислових нафтогазопроводів: Автореф.дис. – к.т.н. / ІФНТУНГ Івано-Франківськ, 2005.–21 с.

5. Ткаленко М. А., Юхимець П. С., Мухлинін С. М. та ін. Методика та апаратура двочастотних вимірів для перевірки якості ізоляційного покриття трубопроводу у вологих ґрунтах та на підводних переходах // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008.– №1.– С.19-23.

6. Кудрявцев Л.Д. Математический анализ. – Том 2. 8-е узд. – М.: 2003.– 409 с.

7. Бурымский В. К., Гирнык В. А., Дыскин Э.М. и др. Обследование трубопроводов Ахтырского НГДУ // Техническая диагностика и неразрушающий контроль.– 2000.– №4.– С. 18-21.

8. Мухлинін С.М. Визначення технічного стану ізоляційного покриття з використанням двочастотної методики обстеження // Вісник НТУУ «КПІ» / Серія «Приладобудування».– 2008.– №35.– С.61-68.

Рекомендована до друку Оргкомітетом 5-ої Міжнародної н/т конференції „Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання", яка відбулася в ІФНТУНГ 02–05.12.2008р.