

Удк 620.1:621.317:621.6

Р. Джала, Б. Вербенець, В. Джала, О. Сенюк  
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

## АПАРАТУРА БІТ-КВП З КОМП'ЮТЕРНОЮ ОБРОБКОЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ОБСТЕЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ КОМУНІКАЦІЙ

© Джала Р., Вербенець Б., Джала В., Сенюк О., 2001

**Наведено цифрову частину безконтактного вимірювача струму для обстежень підземних трубопроводів, кабелів та програму контролю протикорозійного ізоляційного покриття.**

Підземні струмопровідні комунікації (трубопроводи, кабелі) періодично обстежують для виявлення пошкоджень з метою запобігання аварій, забезпечення надійної експлуатації. Велика протяжність комунікацій потребує мобільних засобів, до яких належать безконтактні вимірювачі струмів [1,2]. Апаратура безконтактних вимірювань струму з корекцією відстані між давачами поля і струмопроводом (БІТ-К) призначена для корозійних обстежень підземних трубопроводів (магістральних нафто-, газо-, водопроводів), а також кабелів тощо металевих інженерних комунікацій без їх розкриття. БІТ-К дає змогу виміряти значення електричного струму, що протікає по трубопроводу, без підключень до труби і землі [3]. Одночасно визначають місце і глибину залягання трубопроводу. Це дає можливість, відтворюючи діаграму розподілу струму, оцінювати стан ізоляційного покриття і витрати струму станції катодного захисту (СКЗ) на різних ділянках і в різних нитках трубопроводів, визначати місця пошкоджень ізоляції і ймовірні місця корозії [4, 5].

Для розширення можливостей вимірювань та усунення помилок записування даних апаратура БІТ-КВП додатково оснащена вольтметром і електронною пам'яттю.

### Будова апаратури БІТ-КВП

Вимірювальний прилад БІТ-КВП складається з антенної системи і електронного вимірювального блока, які з'єднують гнучким кабелем. Антенна система БІТ-К містить три однокомпонентні первинні перетворювачі (сприймачі магнітного поля – давачі сигналів). Давачі встановлені на штанзі – базі 1 м. Два давачі взаємно ортогональні і жорстко прикріплені до одного кінця штанги. На другому кінці штанги встановлений третій давач на шарнірі з шкалою відстані. На шарнірі встановлено також давач відстані для управління функціональним підсилювачем [3].

Блок електронний вимірювальний (БЕВ) БІТ-КВП містить аналогову частину з підсилювачами сигналів, цифрову частину з пам'яттю та блок живлення з перетворювачем напруги. У цифрову частину входять аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), блоки управління і вводу-виводу інформації, оперативна пам'ять, блок відображення інформації. Функціональна схема цифрової частини наведена на рис. 1.

### Принцип дії БІТ-КВП

Електричний струм, що протікає по трубопроводу, створює навколо нього магнітне поле. Давачі сприймають магнітне поле і видають електричні сигнали (напруги), за характеристиками яких визначаються розміщення струмопроводу і значення струму [1, 3].

Наведемо короткий опис роботи цифрової частини БІТ-КВП. Перетворювач напруги в частоту 1 стабілізований кварцовим генератором 2, який синхронізує роботу всієї схеми (рис.1). Блок управління 7 керує синхронною роботою пристрою вводу-виводу інформації, роботою пам'яті і блока відображення інформації відповідно у режимах запису струму (чи вимірюваної напруги) і відтворення – виводу «вперед», «назад». Оперативна пам'ять 12, побудована на мікросхемах типу K537PY10, дає змогу записати 20480 біт інформації з малим енергоспоживанням, що необхідно для роботи в польових умовах. У АЦП входить перетворювач напруга-частота і пристрій вводу-виводу; перетворює частоту в двійковий код, формує адресу комірки пам'яті і номер вимірювання. Блок відображення інформації перетворює двійковий код від АЦП або з пам'яті в коди керування цифровим індикатором. Цифрова схема працює в автоматичному режимі після команди "Пуск". Передбачена робота як за командами оператора, так і від комп'ютера, що дає можливість автоматизувати вивід інформації для подальшої обробки.

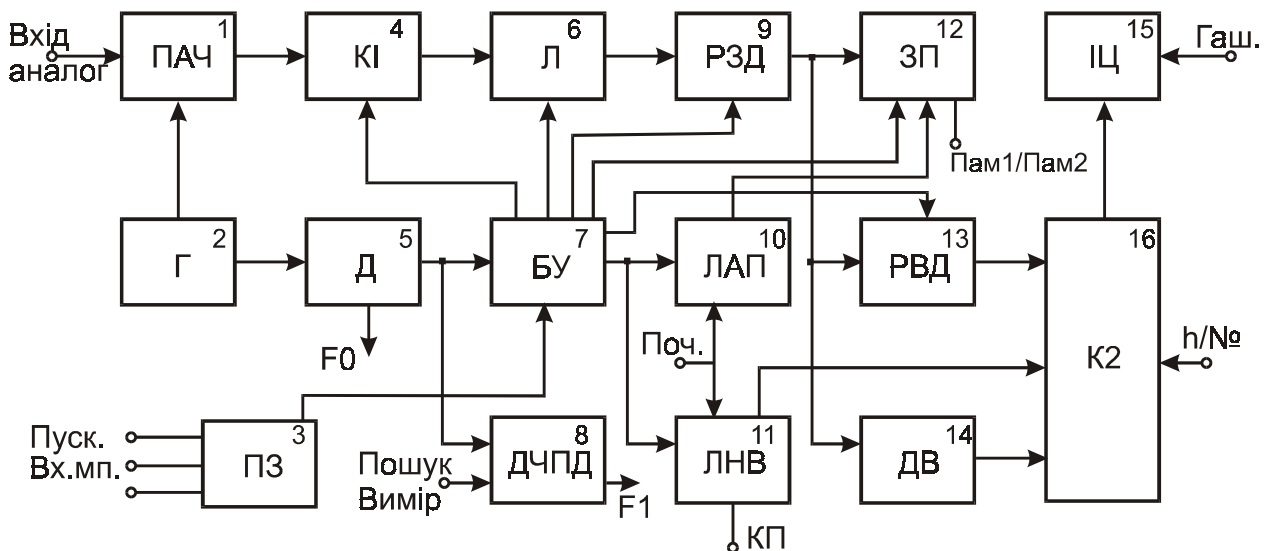


Рис.1. Схема функціональна цифрової частини БІТ-КВП:

- 1– перетворювач аналог-частота; 2– кварцовий генератор; 3– пристрій запуску;  
 4– ключ лічильника АЦП; 5– подільник частоти генератора; 6– лічильник АЦП;  
 7– блок управління; 8– подільник тактової частоти автоматичного перемикача діапазонів;  
 9– регістр запису даних; 10– лічильник адреси пам'яті; 11– лічильник номера вимірювання;  
 12– запам'ятовуючий пристрій; 13– регістр відтворення даних; 14– дешифратор  
 індикації відстані; 15– індикатор цифровий; 16– ключ виводу даних на індикатор

Напругу вимірюють у режимі "Вольтметр" після підключення електродів через з'єднувач на "вхід" вимірювального блока БІТ-КВП. Вхідна напруга ділиться в 10 разів, що дає змогу вимірювати напругу до 100 В. Спеціальний вхідний підсилювач забезпечує високий вхідний опір вольтметра. Подальше підсилення і фільтрація здійснюються в основному вимірювальному каналі.

У режимі вольтметра виміряна величина подається на цифрові індикатори періодично через 0,3 с; зчитувати можна неперервно (з рідкокристалевого індикатора). За командою оператора (при натисканні кнопки "Запис") значення виміряної напруги фіксується у пам'яті приладу. Кожному наступному вимірюванню присвоюється черговий номер. При бажанні будь-якому вимірюванню оператор може присвоїти мітку.

Для полегшення роботи з приладом додатково введена схема автоматичного вибору діапазону вимірювань, що дає змогу обходитись без відповідного перемикача. Внутрішні керування режимами роботи апаратури, перемикання діапазонів вимірювань струму і напруги здійснюються цифровими схемами. Це зменшило кількість механічних з'єднань і комутацій, що підвищує надійність апаратури.

У комітках пам'яті БІТ-КВП фіксуються виміри струму та відстані від антени до осі струмопроводу або напруга, а також порядковий номер виміру і може бути мітка. Для зручності запису чи відтворення результатів вимірювань пам'ять розбита на дві автономні частини. Вводять вміст пам'яті у послідовності збільшення або зменшення номера вимірювання (вперед або назад) для обидвох частин пам'яті.

### **Безконтактні вимірювання струму із записом у пам'ять**

Оператор орієнтує антену перпендикулярно до струмопроводу за мінімальними показами індикаторів "Вісь" та "Відстань" і натискає кнопку на штанзі антенної системи (вона дублює кнопку "Запис" на БЕВ БІТ-КВП). При цьому фіксуються вимірні значення струму  $I$  та відстані  $h$ .

Значення струму висвічується на цифровому індикаторі. Результати вимірювань струму  $I$  (А) та відстані  $h$  (м) автоматично заносяться в пам'ять з присвоєнням вимірюванню чергового номера. При натисканні кнопки "Відстань" на індикатор виводиться її значення, а при натисканні кнопки "Номер" на індикатор виводиться номер записаного виміру. При бажанні відмітити будь-який з вимірів перед записом вмикають перемикач "Мітка"; після вимірювання його вимикають. Результат останнього вимірювання можна стерти з пам'яті натисканням кнопки "Перезапис".

Якщо заповнюються всі 512 комірок першої частини пам'яті, подальший запис в пам'ять блокується (на це вказує мигання першого сегмента цифрового індикатора). Для подальшої роботи слід перейти у другу частину пам'яті відповідним перемикачем. Запис автоматично почнеться з першого номера. Після заповнення другої частини пам'яті запис необхідно зупинити. БІТ-КВП може працювати в аналоговому режимі незалежно від вмісту пам'яті. Вимкнення приладу не впливає на вміст пам'яті, – результати зберігаються.

### **Вивід даних та передача в комп'ютер**

Виводити записану інформацію на цифровий індикатор можна безпосередньо на трасі або в камеральних умовах. Переводять дані у комп'ютер через інтерфейс спеціальною програмою.

Інтерфейсні пристрої розроблені для передачі результатів вимірювань з пам'яті апаратури БІТ-КВП у персональний комп'ютер типу Spectrum або IBM PC. Паралельний інтерфейс організований на основі стандартного порту типу «Centronix», що було передбачено внутрішніми засобами БЕВ БІТ-КВП. Додатково розроблено інтерфейс для передачі даних з паралельного виходу БІТ-КВП на стандартний послідовний порт RS-232 з відповідними програмами зчитування даних [6].

Програма обробки даних передбачає їх перегляд у спеціальній таблиці, обчислення за розробленими алгоритмами [5] та подання у графічному вигляді (рис.2). При передачі даних у комп'ютер формується етикетка з необхідними відомостями про трубопровід, який обстежується, та орієнтирами вздовж траси. Ці відомості у файл обстеження за вибраною формою вводять оператор. Числові результати вимірювань зчитуються з пам'яті БІТ-КВП і розміщуються у таблиці автоматично. Розраховуються витрати струму СКЗ на кожному

інтервалі трубопроводу між двома послідовними вимірами  $dI$  (мА), відносні натікання струму на одиницю довжини трубопроводу  $dI/dx$  (%/м), які є показником пошкодженості ізоляції (пропорційним до електропровідності «труба-земля») та перехідний опір «труба-земля»  $R_p$  (Ом·м<sup>2</sup>) на кожному інтервалі [2,5]. Забезпечена можливість виводу графіків як загалом для всієї обстеженої ділянки трубопроводу, так і для її частин, а також «віконечка» числових даних для кожної з точок ділянки траси (рис. 2).

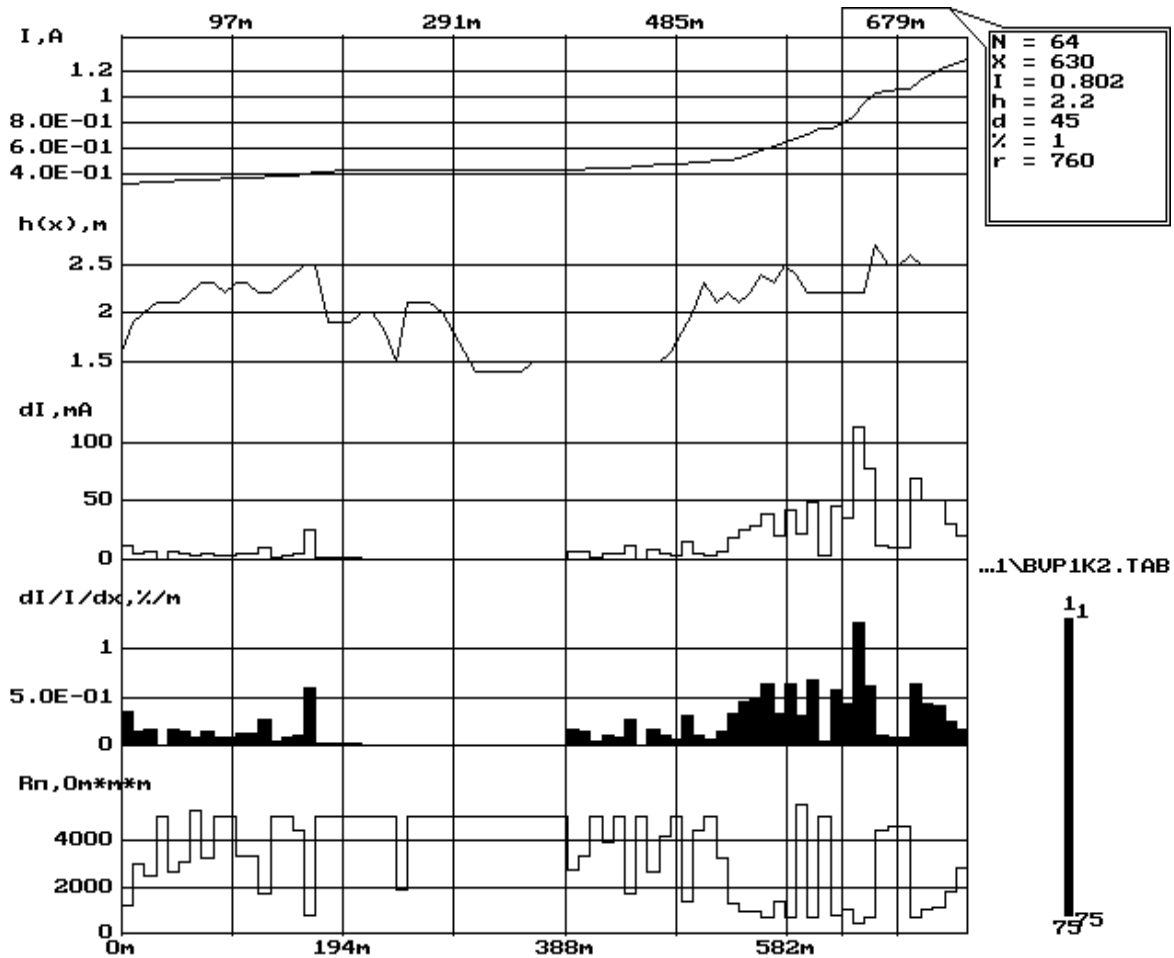


Рис. 2. Комп'ютерне представлення результатів обстежень підземного трубопроводу апаратурою БІТ-КВП

Як видно з рис. 2, струм у трубопроводі монотонно збільшується з наближенням до СКЗ. Глибина залягання осі трубопроводу на даній ділянці знаходиться в межах від 1,4 до 2,7 м, тобто відповідає нормативним вимогам. Натікання струму катодного захисту на трубопровід розподілено нерівномірно вздовж траси; підвищені витрати струму спостерігаються на ділянці від 0 до 180 м, та особливо, на ділянці від 500 до 650 м, що показує місця зниження опору захисних покриттів трубопроводу. Найнаочнішим є відносно натікання струму на одиницю довжини трубопроводу – висота стовпчиків на діаграмі  $dI/I$  пропорційна до провідності «труба-земля». На значній частині останньої ділянки перехідний опір  $R_p$  зменшений до 1000 Ом·м<sup>2</sup> і нижче, тобто не відповідає нормативним вимогам. У цих місцях можлива відсутність достатнього захисного потенціалу (у пошкодженнях ізоляції), що вимагає особливої уваги при обстеженнях і експлуатації (це найімовірніші місця корозії).

Стан ізоляції і витрати струму СКЗ на різних ділянках трубопроводів можна оцінювати за вимірами струму на початку і в кінці ділянки [2,5,7]; при цьому нема потреби

переміщувати прилад поблизу вздовж траси. Це дає можливість контролювати стан протикорозійного захисту трубопроводу на важкодоступних ділянках (на переходах по дну річки, через болота, лісові зарослі тощо) і незалежно від стану поверхні землі (сухі чи вологі ґрунти, пісок, асфальт, сніговий покрив тощо).

Апаратура БІТ-КВП призначена для роботи в польових умовах (на трасах магістральних трубопроводів); живлення автономне від внутрішніх акумуляторів. БІТ-КВП обслуговується і переноситься вздовж траси одним оператором.

Записана в пам'яті інформація може зберігатись практично необмежений час і виводиться за командою оператора на цифровий індикатор приладу. Але продуктивність обстежень значно зростає внаслідок підключення приладу до комп'ютера, що суттєво зменшує час необхідної камеральної обробки результатів вимірювань.

### **Висновки**

Створено апаратуру для безконтактних вимірювань струму з електронною пам'яттю, що відкриває якісно нові можливості обстежень стану протикорозійного захисту підземних трубопроводів та інших струмопровідних комунікацій.

Розроблено програми комп'ютерної обробки суттєво полегшують аналіз результатів вимірювань розподілу струму вздовж траси, вони практично важливі для вірогідного документування і зберігання результатів обстежень з метою їх використання в системі експлуатації і діагностики технічного стану магістральних трубопроводів.

1. Джала Р.М. *Методи безконтактних вимірювань струмів при корозійних обстеженнях підземних трубопроводів // Протикорозійний захист підземних споруд та методи неруйнівного контролю, КСП-97. Львів, 1997. С.15-36.* 2. Джала Р.М. *Електромагнітний метод і апаратура оперативного контролю протикорозійного захисту трубопроводів // Нафта і газ України-2000. Зб.наук. праць: Мат. 6-ї Міжн. наук.-практ. конф. Ів.-Франківськ, 2000. Т.3. С.226-229.* 3. Пат. 250 G01R19/00. Україна. *Безконтактний вимірювач струму в трубопроводі / Р.М. Джала, Б.Я. Вербенець // Открытия. Изобрет. № 1. 1993.* 4. Dzhala R., Verbenets B., Senyuk O. *"BIT" apparatus for monitoring underground pipe-lines // Intern. Symp. Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE). Proc. Vol.2. Berlin, Germany, 1995 P.1099-1105.* 5. Джала Р.М. *Експрес-контроль ПКЗ методом безконтактних вимірювань струмів. Методика обстежень трубопроводів апаратурою БІТ-КВП // Протикорозійний захист трубопроводів і споруд та методи контролю, КТС-99. Львів, 1999. С.154-156.* 6. Джала Р.М., Вербенець Б.Я., Лозинський А.Б., Сенюк О.І., Трохим Г.Р. *Програми і апаратура контролю ізоляції та ЕХЗ підземних трубопроводів / Друга Укр. конф. "Автоматика-95", Праці, Т.3. Львів, 1995. С.106.* 7. Джала Р., Дикмарова Л., Вербенець Б. та ін. *Контроль ізоляції підземних трубопроводів за зниканням струму // Проблеми корозії і протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: У 2-х т. / Спецвипуск журналу «Фізико-хімічна механіка матеріалів». Львів, 2000. Т.2. С.633-638.*