

політехніка". Львів, 2004. – 40 с. 4. Измеритель CLR-параметров: А.с. 1061068 СССР, МКИ G 01 R 27/26 / М.А.Гаврилюк, Е.В.Походило, Е.П. Соголовский, В.В.Хома. – №3441685/18-21; Заявлено 18.05.82; Опубл. 15.12.83, Бюл. № 46. – 4 с.ил. 5. Гаврилюк М.О., Походило Є.В., Соголовський Є.П., Хома. В. В. Вимірювачі імтансу з прямим перетворенням // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1996. – Вип. 52. – С.27–29. 6. Походило Є.В. Малогабаритные измерители CLR – параметров прямого преобразования: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.11.05 / ЛПИ. – Львов: 1990. – 17 с.

УДК 620.1:621.317:621.6

Б.Я. Вербенець

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

АНАЛОГОВА ЧАСТИНА ВИМІРЮВАЛЬНОГО БЛОКА АПАРАТУРИ БІТ-КВП ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНИХ ОБСТЕЖЕНЬ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

© Вербенець Б.Я., 2005

Описано аналогову частину схеми безконтактного вимірювача струму з автоматичною корекцією впливу змін відстані між магнітосприймачами та струмопроводом.

The analogue part of the schema of a contact-free meter of a current with automatic correction of influencing of variations of spacing interval between sensors of a magnetic field and conductor is depicted.

Вступ

Наявність великої кількості протяжних підземних комунікацій (трубопроводів, кабелів) потребує періодичного контролю їх стану для запобігання аваріям, забезпечення надійної експлуатації. Відомі, переважно контактні методи і засоби контролю за інформативністю та оперативністю не задовольняють дедалі більших потреб практики. Тому розробка зручної, автоматизованої, достатньо точної апаратури для обстежень підземних комунікацій є актуальною і практично важливою проблемою.

У статті розглядаємо аналогову частину апаратури БІТ-КВП, створеної у Фізико-механічному інституті НАН України для оперативних обстежень підземних трубопроводів методом безконтактних вимірювань струмів (БВС).

Метод БВС з корекцією відстані

Електричний прямолінійний струм створює концентричне магнітне поле (МП) з гіперболічним зменшенням напруженості при віддаленні від осі струмопроводу. Давачі сприймають МП і видають електричні сигнали, за якими визначаємо координати та силу струму. За реалізованим в апаратурі БІТ-КВП методом [1–4] сигнали від давачів 1 і 2 (рис.1) додаються з урахуванням коефіцієнта корекції [3]. У результаті перетворень отримуємо значення вимірюваного струму за формулою

$$J = k_i J_o \left(\frac{1}{h_i + \Delta h} + K \frac{\Delta h \cdot b}{\rho_1 \cdot \rho^2} \right),$$

де $\Delta h = h - h_i$ – відхилення відстані h між давачем 1 та віссю струмопроводу (рис. 1) від вихідного значення h_i ; $\rho = \sqrt{h^2 + b^2}$ – відстань давача 2 від осі струмопроводу (ρ_i – її значення у вихідному положенні); J_o – струм, який вимірюємо; коефіцієнт перетворення $k_i = h_i$ встановлюється при орієнтації антени відносно струмопроводу, яку здійснює оператор за сигналами від давачів 1 і 3. У розробленій антенній системі БІТ-КВП вибрано 8 значень вихідного положення h_i (з відповідними

кутами повороту на шарнірі давача 2), що забезпечує вимірювання струму на відстанях h від 0,8 до 8 м. Для цього діапазону відстаней за експериментальними вимірюваннями вибрано оптимальний коефіцієнт корекції $K=3$, що обґрунтовано теоретичним аналізом [3].

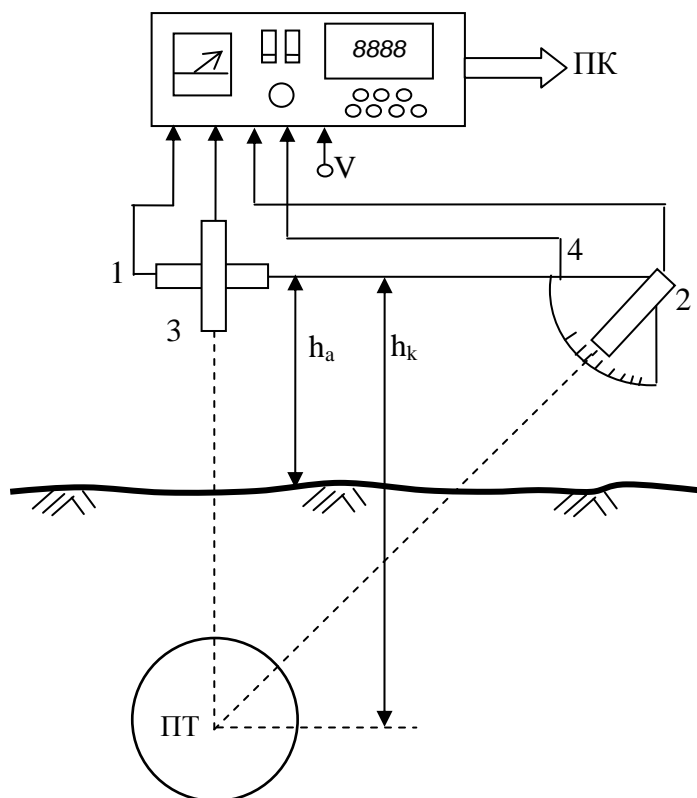


Рис. 1. Схема безконтактних вимірювань струму ПТ апаратурою БІТ-КВП:
 ПТ – підземний трубопровід; 1 – сприймач вимірювальний; 2 – сприймач віддалі; 3 – сприймач осі;
 4 – давач положення сприймача осі

Склад і призначення

Апаратура БІТ-КВП конструктивно складається з антенної системи і електронного вимірювального блока (рис. 1). БІТ-КВП дає змогу безконтактним методом знаходити місце і напрям залягання підземного трубопроводу (ПТ), вимірювати змінний струм, визначити глибину залягання ПТ, а також додатково здійснити вимірювання змінних потенціалів контактним методом. Результати вимірювань автоматично записуються в електронній пам'яті. За діаграмою розподілу струмів ПТ оцінюємо стан ізоляційного покриття, витрати струму станції катодного захисту (СКЗ) на різних ділянках і різних нитках ПТ, визначаємо місця пошкодження ізоляції і найімовірніші місця корозії ПТ.

Апаратура складається з двох частин – аналогової і цифрової. Аналогова частина призначена для орієнтації антенної системи (АС), виконання вимірювань з виводом інформації на стрілковий індикатор і передачі її для подальшої обробки в цифрову частину.

Аналогова частина електронного вимірювального блока БІТ-КВП (рис.2) складається з трьох незалежних каналів: осі, віддалі та вимірювання струму. Всі три канали мають ідентичні узгоджувальні підсилювачі 1, 3, 4, масштабні підсилювачі 5, 7, 8, смугові фільтри 9, 10, 11, 13, випрямлячі 18, 19. 20. Вимірювальний канал додатково містить попередній підсилювач змінної напруги 2, компаратор сигналу корекції 6, підсилювач функціональний 16 з схемою управління 17, згладжувальний каскад 21. Канали осі та віддалі додатково мають логарифмічні підсилювачі 14, 15. Вихідні сигнали всіх каналів подають на стрілкові індикатори 22, 23, 24, а вимірювального каналу

також і на АЦП схеми цифрової обробки. Схема автоматичного вибору діапазону вимірювання 12 є загальною для всіх трьох каналів.

На входи узгоджувальних підсилювачів 1, 3, 4 подають напруги з відповідних індуктивних сприймачів магнітного поля, встановлених на жорсткій базі АС, яку оператор розміщує над підземним трубопроводом за показами індикаторів 24 і 23. Давач відстані 2 (рис.1) встановлений на шарнірі з фіксованими кутами повороту [2], що забезпечує можливість вимірювань струму при різних глибинах залягання трубопроводу.

БІТ-К розрахований на безконтактні вимірювання змінних струмів ПТ від 1 мА до 100 А; загальний динамічний діапазон підсилення становить 100 дБ і розділений на чотири піддіапазони. У вимірювальному блоці БІТ-КВП передбачена також можливість застосування його для контактних вимірювань змінних напруг у діапазоні від 1 мВ до 100 В. Для виділення корисного сигналу за наявності електромагнітних завад промислових частот застосовуємо смуговий фільтр з придупшенням завади частотою 50 Гц на рівні 55 дБ.

Особливістю апаратури БІТ-КВП порівняно з відомими пристроями є те, що для безконтактних вимірювань струму тут використано один вимірювальний канал; два інші використано як індикатори для орієнтації АС. Крім того, у вимірювальному каналі БІТ-К здійснюється корекція вихідного сигналу при змінах Δh відстані між АС і ПТ (сигнал корекції надходить від давача 2). Це підвищує точність вимірювань.

Всі каскади аналогової частини виконані на мікропотужних операційних підсилювачах К140УД1208 та мікросхемах цифрової логіки серії К561.

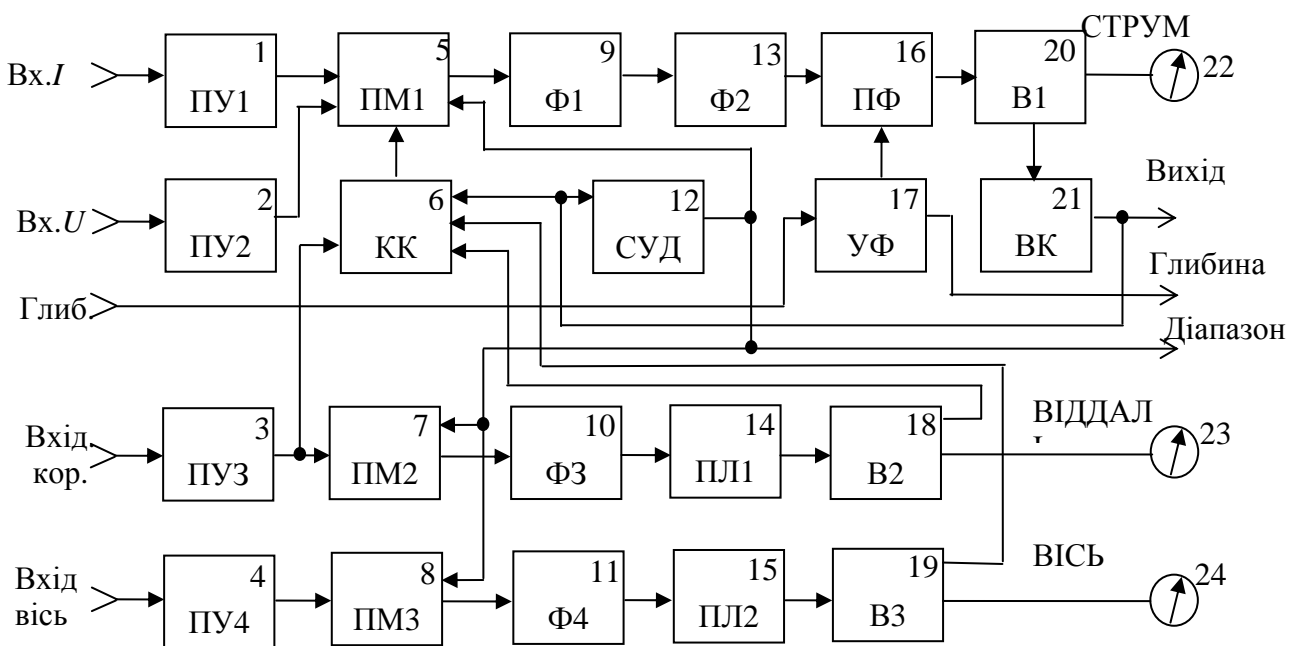


Рис. 2. Схема функціональна аналогової частини БІТ-КВП:

1 – підсилювач узгоджувальний вимірювального каналу ПУ1; 2 – підсилювач узгоджувальний вимірювача напруги ПУ2; 3 – підсилювач узгоджувальний каналу віддалі та корекції ПУ3; 4 – підсилювач узгоджувальний каналу осі ПУ4; 5 – підсилювач масштабний вимірювального каналу ПМ1; 6 – компаратор сигналу корекції КК; 7 – підсилювач масштабний каналу віддалі ПМ2; 8 – підсилювач масштабний каналу осі ПМ3; 9 – фільтр 1 вимірювального каналу Ф1; 10 – фільтр каналу віддалі Ф3; 11 – фільтр каналу осі Ф4; 12 – схема автоматичного вибору діапазону вимірювань СУД; 13 – фільтр 2 вимірювального каналу Ф2; 14 – підсилювач логарифмічний каналу віддалі ПЛ1; 15 – підсилювач логарифмічний каналу осі ПЛ2; 16 – підсилювач функціональний вимірювального каналу ПФ; 17 – схема управління функціонального підсилювача УФП; 18 – випрямляч каналу віддалі В2; 19 – випрямляч каналу осі В3; 20 – випрямляч вимірювального каналу В1; 21 – згладжувальний каскад вихідного сигналу ВК; 22 – стрілковий індикатор струму; 23 – стрілковий індикатор віддалі; 24 – стрілковий індикатор осі

Описання роботи аналогової частини

Робота апаратури БІТ-КВП і, зокрема, аналогової частини передбачена в декількох режимах: "Пошук", "Струм", "Напруга", "Читання даних". У режимі "Пошук" працює тільки вимірювальний канал, який використовується як індикаторний. У режимі "Напруга" до апаратури замість антенної системи підключають контактні електроди.

Для безконтактного вимірювання струму, збудженого у ПТ станцією катодного захисту (СКЗ) або спеціальним автономним генератором, оператор відповідно орієнтує антенну систему над трубопроводом, керуючись показами індикаторів віддалі та осі, і виставляє відповідне положення поворотного сприймача віддалі 2 (рис.1).

При орієнтації на вісь трубопроводу напруга від вертикально розміщеного давача осі 3 подається на узгоджувальний підсилювач 4 (рис.2), підсилюється масштабним підсилювачем 8, коефіцієнт підсилення якого виставляється автоматично схемою вибору діапазону вимірювання 12, фільтрується від завад біквдратним смуговим фільтром 4, потім випрямляється випрямлячем 19 і далі вже однополярний сигнал подається на стрілковий індикатор. Оператор виставляє сприймач осі 3 антенної системи на вісь трубопроводу, орієнтуючись за мінімальним показом індикатора осі. Для підвищення чутливості при мінімальних сигналах застосовується логарифмічний підсилювач 15, що підвищує точність орієнтації. Узгоджувальний підсилювач 4 характеризується широким динамічним діапазоном (100 дБ) та низьким рівнем власних шумів. Коефіцієнт підсилення масштабного підсилювача 8 вибирається електронними ключами і становить відповідно 0.1, 1, 10 і 100. Біквдратний смуговий фільтр 4 настроюється на робочу частоту (100 Гц при роботі від СКЗ, або на частоту автономного генератора) і має добротність 10.

Схема і робота каналу віддалі аналогічні. Тут напруга від сприймача віддалі 2 (рис. 1) подається на узгоджувальний підсилювач 3 (рис.2), підсилюється масштабним підсилювачем 7, фільтрується смуговим фільтром 10, додатково підсилюється на малих рівнях логарифмічним підсилювачем 14, випрямляється випрямлячем 18 і подається на стрілковий індикатор 23. Від встановленого на шарнірі 4 (рис. 1) давача кута повороту сприймача 2 на схему управління функціонального підсилювача 17 надходить кодований сигнал відстані h_i , що дає змогу визначати відстань від АС до осі трубопроводу і виконувати БВС при різних глибинах залягання трубопроводу. Знаючи відстань від антенної системи до землі і діаметр трубопроводу неважко визначити глибину залягання трубопроводу. Передбачено виконання вимірювань при відстанях від 1 м до 8 м.

Вимірювальний канал призначений для вимірювання змінного струму в підземних трубопроводах. Напруга із індуктивного сприймача 1 (рис. 1) магнітного поля в режимах "Пошук" та "Струм" подається на узгоджувальний підсилювач 1 (рис. 2), потім підсилюється масштабним підсилювачем 5 з відповідним коефіцієнтом підсилення, фільтрується від завад смуговим активним фільтром другого порядку 9, 13 і подається на функціональний підсилювач 16. Коефіцієнт передачі підсилювача 16 вибирається схемою управління 17 залежно від положення поворотного сприймача віддалі, тобто залежно від відстані антенної системи до осі трубопроводу. Після підсилення фільтрованого сигналу він випрямляється випрямлячем 20 і подається на стрілковий індикатор. Одночасно цей сигнал проходить через згладжувальний каскад 21 і подається на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) схеми цифрової обробки, де кожний вимір запам'ятовується в цифровому вигляді.

У режимі "Вольтметр" аналогічно проходить вимірювання змінних потенціалів. Змінна напруга з контактних електродів подається на вхід узгоджувального підсилювача 2. Особливістю цього підсилювача є високий вхідний опір (більше ніж 33 МОм), що дає змогу зменшувати похибку вимірювання потенціалів при обстеженнях підземних трубопроводів.

Для підвищення точності вимірювань при малих похибках орієнтації антенної системи призначена схема корекції. Частина напруги із сприймача відстані і підсилювача 3 подається через

компаратор 6 на масштабний підсилювач вимірювального каналу 5, де підсумовується з сигналом вимірювального сприймача 1. Компаратор 6 призначений для відключення системи корекції при високих рівнях завад.

Для розширення діапазону вимірювань передбачено чотири піддіапазони. Вибір робочого піддіапазону здійснюється автоматично схемою управління 12, яка постійно контролює вихідний сигнал.

З аналогової частини апаратури подаються на цифрову частину такі сигнали: значення струму, діапазон вимірювання, відстань від АС до ПТ, режим вимірювання (Струм – Напруга).

Обслуговується апаратура одним оператором і дає змогу оперативно і з високою точністю виконувати обстеження ПТ. Всі виміри (1000 значень) записуються в оперативну пам'ять приладу. Забезпечено можливість передачі даних з пам'яті через інтерфейс у ПК.

Робота цифрової частини апаратури описана в [1]. Апаратура БІТ-КВП розроблена і перевірена в практичній експлуатації [1, 4 – 6] на трасах магістральних трубопроводів.

Висновок

Розроблено і описано функціональну схему аналогової частини апаратури для безконтактних вимірювань струмів підземних трубопроводів з корекцією впливу змін відстані між магніто-сприймачами і струмопроводом.

На цій основі розроблено і реалізовано принципову електричну схему, створено апаратуру типу БІТ-КВП, яка використовується для обстежень стану протикорозійного захисту магістральних підземних нафто- і газопроводів.

1. Джала Р., Вербенець Б., Джала В., Сенюк О. Апаратура БІТ-КВП з комп'ютерною обробкою результатів обстежень підземних комунікацій // Вісн. НУ "Львівська політехніка". – 2001. – № 415. – С. 100–104. 2. Патент 250, Україна. G01R19/00. Безконтактний вимірювач струму в трубопроводі / Р.М. Джала, Б.Я.Вербенець – Бюл. № 1. – 1993. 3. Джала Р.М. Безконтактні вимірювання струмів з корекцією відстані // Український метрологічний журнал. – 2000. – № 4. – С. 38–40. 4. Dzhala R., Verbenets B., Senyuk O. "BIT" apparatus for monitoring underground pipe-line // Intern. Symp. Non-Destructive Testingin Civil Engineering NDT-CE. Proc.V.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. Прилади ОПТ, БІТ, ВП для контролю підземних трубопроводів / Р.М. Джала, Б.Я. Вербенець, О.Й. Винник, В.Р. Джала, С.Ф. Савула, О.І. Сенюк, О.М. Балашов, А.В. Драгілев, С.О. Сухорський // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів (Серія), вип.9: Зб.наук.праць. – Львів, 2004. – С. 167–170.