

### **БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА З ДИФЕРЕНЦІЙНИМИ КАНАЛАМИ ВІДБОРУ СИГНАЛІВ**

The system, that realizes determination of the underground pipeline axis and laying depth, the amplitude of the pipeline current and difference of the current amplitudes per length unit by non-contact induction method, performs measuring potential difference between a pipe and the ground surface or between two points on the ground surface, and also carries out search of insulation damages by non-contact method with the rod antenna, is described.

Описано систему, яка забезпечує визначення безконтактним індукційним методом осі та глибини залягання підземного трубопроводу, амплітуди струму в ньому та різниці амплітуд струму на одиниці його довжини, здійснює вимірювання різниці потенціалів між трубою і поверхнею ґрунту або між двома точками на поверхні ґрунту, а також забезпечує пошук безконтактним методом за допомогою штирної антени місць пошкодження ізоляції.

**Постановка задачі.** Інтенсивно зростаюча кількість протяжних підземних струмопровідних комунікацій, зокрема, різноманітних трубопроводів, зумовлює потребу в ефективних інформаційно-вимірювальних системах для їх оперативного пошуку й обстеження. Оскільки комунікації під час експлуатації випромінюють електромагнітні хвилі, які виникають у процесі протікання в них робочих струмів або струмів від приєднаних до них спеціалізованих генераторів, то для розв'язання вказаних задач на практиці широко застосовують електромагнітні методи і засоби дослідження [2, 3, 7, 8].

Сучасні електромагнітні інформаційно-вимірювальні системи (ЕМІВС) повинні забезпечувати оперативний пошук і визначення координат підземних комунікацій (нафто-, газо- та продуктопроводів, силових мереж обслуговування різноманітних хімічних, біологічних та інших об'єктів) та виявлення місць пошкодження їх ізоляції для оцінки можливих аварійних ситуацій. Це ставить підвищені вимоги до завадостійкості та надійності ЕМІВС, а також потребує розширення їхніх функціональних можливостей.

Для розв'язання першої задачі в Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України розроблені ефективні алгоритми виділення та статистичної обробки інформативних складових сигналу, що спостерігається на фоні регулярних і високочастотних випадкових завад з використанням різницевого методу відбору сигналу [5, 6] і рекурентних алгоритмів оцінки та функціонального перетворення параметрів інформативного сигналу [4].

**Особливості роботи і структура розробленої ЕМІВС.** Розширення функціональних можливостей забезпечується шляхом визначення параметрів як магнітної, так і електричної складових випромінюваних комунікацією електромагнітних полів.

Визначення безконтактним методом параметрів електричної складової електромагнітних коливань дає змогу суттєво прискорити виявлення місць пошкодження ізоляції комунікацій на важкодоступних ділянках (під асфальтом, залізничними коліями, автострадами тощо).

Зменшити вплив завад, особливо від сусідніх комунікацій, можна різницеви-ми методами вимірювання за допомогою трикотушкової системи з паралельними осями [6, 8].

Структурна схема багатофункціональної ЕМІВС, яка дає можливість розв'язувати вказані задачі, показана на рис. 1.

Вона складається з калібрувальних 1, 2 і 3 та вимірювальних 4, 5 і 6 обмоток, намотаних на феритові стержні, штирової антени 7, генератора калібрувальних сигналів 8, віднімачів напруги 9 і 10, формувача різниці потенціалів 11, вибірних підсилювачів 12 і 13, керованих підсилювачів 14, 15 і 18, мультиплексорів 16 і 17, аналого-цифрових перетворювачів 19, 20, мікрокомп'ютера 21, дисплея 22 і має два високоомні входи 23 і 24 для приєднання електродів, що не поляризуються.

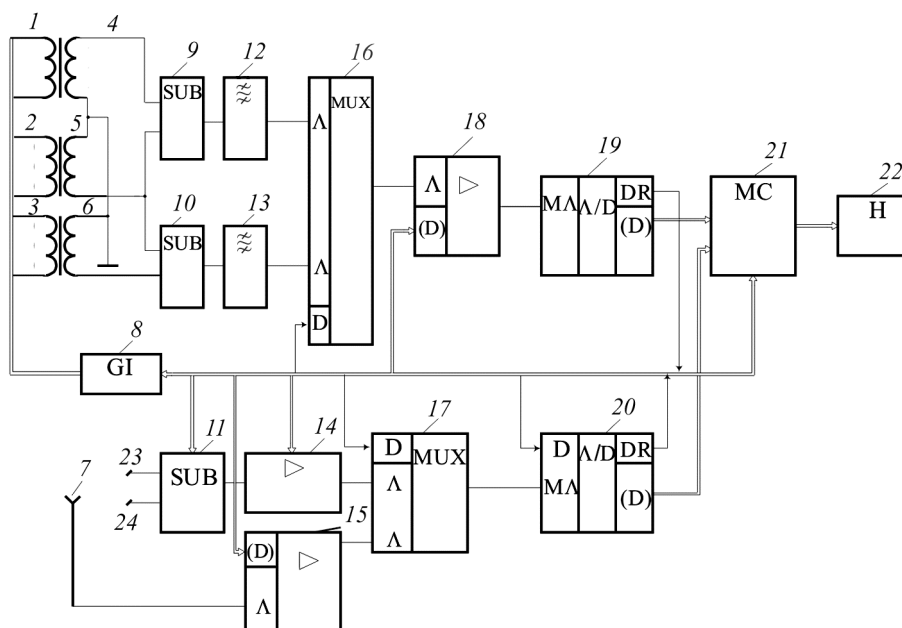


Рис. 1. Багатофункціональна мікрокомп'ютерна електромагнітна інформаційно-вимірювальна система.

Мікрокомп'ютерна система забезпечує визначення безконтактним індукційним методом осі та глибини залягання підземної комунікації, а також амплітуди струму, що по ній протікає, і різниці амплітуд струму на одиниці довжини комунікації. Крім цього, вона здійснює вимірювання контактним методом різниці електричних потенціалів між трубою і поверхнею ґрунту, або між поверхнею ґрунту безпосередньо над трубою і ділянкою ґрунту дещо віддаленою від труби під прямим кутом до неї, а також різницю потенціалів між двома електродами, розміщеними над трубою на заданій відстані від її осі. Крім цього, за допомогою штирової антени вона забезпечує пошук безконтактним методом місця пошкодження ізоляції.

**Принцип дії мікрокомп'ютерної системи.** Пошук осі трубопроводу і вимірювання глибини його залягання  $h$ , амплітуди  $I_m$  струму  $I(t)$ , що по ньому протікає, та градієнта його зникання вздовж осі труби здійснюється за різницею значеннями електрорушійних сил, наведених в ближній, середній і дальній відносно осі комунікації вимірювальних котушках горизонтальною складовою магнітного поля, що випромінюється комунікацією в процесі протікання по ній змінного струму  $I(t)$ . Для одержання максимальних значень електрорушійних сил розміщені на штанзі котушки орієнтуються так, що їх осі паралельні і розміщені перпендикулярно до осі комунікації. Конструкція приймальної системи з котушками, що складаються з калібрувальних та вимірювальних обмоток, намотаних на феритові стержні, показана на рис. 2.

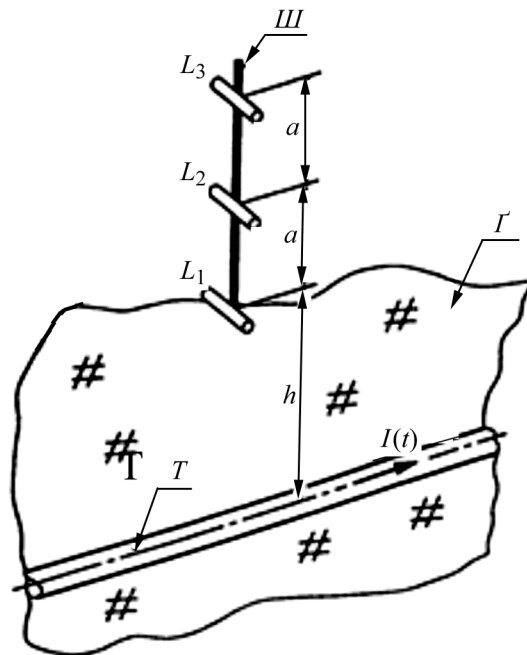


Рис. 2. Трикошкова приймальна система: Г – ґрунт; Т – труба; III – штанга з ближньою  $L_1$ , середньою  $L_2$  та дальньою  $L_3$  котушками;  $h$  – відстань між віссю ближньої котушки та віссю трубопроводу;  $a$  – відстань між осями котушок.

У цьому випадку в ближній, дальній і середній вимірювальних обмотках 4, 5 і 6 котушок наводяться електрорушійні сили  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  і  $e_3(t)$ , які подаються на входи віднімачів напруг 9 і 10. На входи 23 і 24 подаються потенціали  $E_1(t)$  і  $E_2(t)$  від розміщених над комунікацією електродів.

Прийнятий штирною антеною 7 високочастотний сигнал, що випромінюється підземною комунікацією під час подання в неї високочастотного струму із спеціалізованого генератора, надходить на вхід третього керованого підсилювача 15.

Напруги  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  і  $e_3(t)$ , зв'язані з горизонтальними складовими напруженостей магнітного поля в точках розміщення котушок

$$H_1(t) = I(t) / 2\pi h,$$

$$H_2(t) = I(t) / 2\pi(h + a),$$

$$H_3(t) = I(t) / 2\pi(h + 2a),$$

визначають такими співвідношеннями:

$$e_1 = \mu_0 \mu_{K_1} f W_1 S_1 \frac{I(t)}{h},$$

$$e_2 = \mu_0 \mu_{K_2} f W_2 S_2 \frac{I(t)}{h + a},$$

$$e_3 = \mu_0 \mu_{K_3} f W_3 S_3 \frac{I(t)}{h + 2a},$$

де  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнітна проникність повітря;  $\mu_{K_1}$ ,  $\mu_{K_2}$ ,  $\mu_{K_3}$  – відносні магнітні проникності котушок з феритовими осерддями;  $W_1$ ,  $W_2$  і  $W_3$  – кількість витків в котушках;  $S_1$ ,  $S_2$  і  $S_3$  – площі поперечного перерізу осердь;  $f$  – частота струму  $I(t)$ . Математичний вираз для визначення  $\mu_K$  наведений в [1].

За умови ідентичності котушок, тобто коли  $\mu_{K_1} = \mu_{K_2} = \mu_{K_3} = \mu_K$ ;  $W_1 = W_2 = W_3 = W$  і  $S_1 = S_2 = S_3 = S$ , а також збалансованості фаз напруг  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  і  $e_3(t)$ , що забезпечується фазовими регуляторами на входах віднімачів напруг 9 і 10 (на рис. 1 вони не показані), на виходах диференційних підсилювачів змінних напруг 9 і 10 утворюються різниці напруги

$$\Delta e_1(t) = k_1[e_1(t) - e_2(t)]$$

та

$$\Delta e_2(t) = k_1[e_2(t) - e_3(t)],$$

де  $k_1$  – коефіцієнт підсилення за напругою віднімачів 9 і 10. Утворені на виходах віднімачів 9 і 10 напруги через вибірні підсилювачі 12 і 13, налаштовані на частоту  $f$  вхідних сигналів, подаються на аналогові входи мультимплектора 16, керованого мікрокомп'ютером 21. На виході мультимплектора 16 по чергово протягом інтервалів часу  $T_0 = N_0 f^{-1}$  ( $N_0$  – кількість періодів коливань вхідних сигналів) утворюються “вирізки” напруг

$$\Delta U_1(t) = k_2 k_3 \Delta e_1(t)$$

та

$$\Delta U_2(t) = k_2 k_3 \Delta e_2(t),$$

де  $k_2$  – коефіцієнт підсилення за напругою підсилювачів 12 і 13, а  $k_3$  – підсилювача 18.

Ці напруги надходять на вхід автоматично керованого мікрокомп'ютером 21 підсилювача 18. Для забезпечення високої точності обчислення заданих у програмі мікрокомп'ютера 21 параметрів інформативних сигналів, характеристик трубопроводу та ґрунту амплітуда сигналу  $\Delta U_1(t)$  на виході підсилювача 18 автоматично підтримується на рівні  $\approx 2$  В. На вході аналого-цифрового перетворювача 19 міститься схема вибірки-зберігання, яка запам'ятовує амплітудні значення сигналів  $\Delta U_1(t)$  та  $\Delta U_2(t)$  і подає команду перетворення в цифровий код вказаних значень. Після закінчення кожного перетворення на виході аналого-цифрового перетворювача 19 утворюється цифровий код амплітудних значень напруг  $\Delta U_1(t)$  та  $\Delta U_2(t)$ , а на виході DR – сигнал закінчення перетворення. Вказані сигнали надходять відповідно на першу вхідну шину даних та шину керування мікрокомп'ютера, який після одержання даних виробляє цифровий код коефіцієнта підсилення  $k_3$ .

Одночасно з обробкою сигналів  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  та  $e_3(t)$  здійснюється підсилення та перетворення сигналу  $e_{\text{ш}}(t)$  з штирової антени 7 та потенціалів  $\varphi_1(t)$  і  $\varphi_2(t)$ , що надходять на входи 23 і 24 від електродів, що не поляризуються. Для цього використовуються формувач різниці потенціалів 11, керовані підсилювачі 14 і 15, другий мультимплексор 17 та другий аналого-цифровий перетворювач 20.

Обробка і перетворення сигналів  $e_{\text{ш}}(t)$  та  $\varphi_1(t)$  і  $\varphi_2(t)$  здійснюється таким чином. Змінні потенціали  $\varphi_1(t)$  і  $\varphi_2(t)$  надходять на входи формувача різниці 11 із смуговим фільтром на вході. На виході формувача 11 утворюється різниця змінних потенціалів  $\Delta\varphi(t)$ , яка через підсилювач 14 з коефіцієнтом підсилення  $k_4$  подається на один із входів мультимплектора 17. На другий вхід мультимплектора 17 надходить з виходу підсилювача 15 підсилений в  $k_5$  разів змінний сигнал  $e_{\text{ш}}(t)$ . Коефіцієнти підсилення  $k_4$  і  $k_5$  підсилювачів 14 та 15 задаються мікрокомп'ютером 21, за допомогою якого здійснюється управління мультимплексором 17. Коли відкритий перший канал мультимплектора 17, на аналоговий вхід подається підсилена в  $k_4$  рази різниця потенціалів  $\Delta\varphi(t)$ , а коли командою з мікрокомп'ютера 21 відкривається другий канал мультимплектора 17, на аналоговий вхід аналого-циф-

рового перетворювача 20 надходить змінна напруга  $k_5 e_{ш}(t)$ . Аналого-цифровий перетворювач 20 теж містить на вході схему вибірки-зберігання і в ньому відбуваються процеси, аналогічні до тих, що проходять у перетворювачі 19. Двійкові коди напруг, пропорційних до  $\Delta\varphi(t)$  або  $e_{ш}(t)$ , надходять на другу шину даних мікрокомп'ютера 20, а сигнал закінчення перетворення перетворювача 20 з виходу DR подається на шину керування мікрокомп'ютера 21.

Якщо на клеми 23 і 24 подаються постійні потенціали, формувач різниці потенціалів командою мікрокомп'ютера 21 переводиться в режим роботи за постійним струмом, а аналого-цифровий перетворювач 20 – в режим автоматичного запуску або в режим запуску сигналом від мікрокомп'ютера.

У мікрокомп'ютері 21 закладена PROM-програма для виконання обчислень з визначення глибини залягання трубопроводу, амплітуди змінного струму, що по ньому протікає, та коефіцієнта його згасання на одиниці довжини трубопроводу. За визначеними значеннями перелічених параметрів роблять висновок про якість ізоляційного покриття труби.

Обчислення глибини  $h$  залягання комунікації здійснюється за формулою [6]

$$h = 2a \frac{\Delta U_{2m}}{\Delta U_{1m} - \Delta U_{2m}}.$$

Амплітуда струму  $I_m$  визначається за співвідношенням

$$I_m = h(h + a) \frac{\Delta U_{1m}}{K_0},$$

де  $K_0 = ak_1k_2k_3\mu_0\mu_\epsilon fWS$ .

Коефіцієнт згасання на одиниці довжини трубопроводу обчислюють за виразом [8]

$$\alpha = \frac{1}{d} 20 \cdot \log \frac{I_{1m}}{I_{2m}},$$

де  $d$  – відстань вздовж трубопроводу між двома положеннями трикутшкового перетворювача, в яких вимірюються амплітуди  $I_{1m}$  та  $I_{2m}$  струму в комунікації.

Крім того, комп'ютер керує роботою калібратора, що складається з генератора калібрувальних сигналів 8 та калібрувальних обмоток 1, 2, 3, намотаних на вимірювальні обмотки 4, 5, 6.

Під час калібрування трикутшкова система повинна бути орієнтована на мінімум поля трубопроводу, тобто розвернута на приймання вертикальної складової поля і розміщена вздовж осі трубопроводу. Можливість калібрування дає змогу оперативно контролювати характеристики ЕМІВС у польових умовах.

За градієнтом зміни значення наведеного на штитову антену змінного потенціалу  $e_{ш}(t)$  визначають безконтактним методом місця пошкодження ізоляції підземної струмопровідної комунікації.

У мікрокомп'ютері передбачений теж режим накопичення даних при низькому рівні вхідних сигналів  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  та  $e_3(t)$ , сумірному з власними шумами підсилювального тракту, або в процесі накладання на них інтенсивних адитивних високочастотних завад. Число накопичень від  $10^2$  до  $10^4$ .

## ВИСНОВКИ

Описана мікрокомп'ютерна система, забезпечуючи високу завадостійкість вимірювань, має ширші функціональні можливості, оскільки здійснює пошук і обстеження підземних комунікацій шляхом вимірювання параметрів магнітної та електричної складових випромінюваного обстежуваною комунікацією електро-

магнітного поля. Це забезпечує їй широке практичне використання в процесі пошуку та обстеження таких комунікацій, як підземні тепло-, нафто-, газо- продуктопроводи, лінії електропередач та електрозв'язку, телекомунікаційні мережі тощо.

1. *Аппаратура аэрогеофизической разведки с магнитным и электромагнитным информационными каналами* / А. А. Вакульский, Л. Я. Мизюк, Р. В. Проць, Ю. Ю. Сикачевский. – К.: Наук. думка, 1985. – 256 с.
2. *Гордиенко В. И., Убогий В. П., Ярошевский Е. В.* Электромагнитное оборудование инженерных коммуникаций и локальных аномалий – К.: Наук. думка, 1981. – 227 с.
3. *Григоревич К. К., Ягола Г. К.* Методы и средства оценки состояния изоляционных покрытий подземных трубопроводов // Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. – 1979. – № 9. – С. 17–20.
4. *Драбич П. П.* Синтез цифровых стохастических устройств для обчислення та функціонального перетворення оцінок параметрів випадкових сигналів // Відбір і обробка інформ. – 1999. – Вип. 13 (89). – С. 96–100.
5. *Драбич П. П.* Структура та обробка стохастичних сигналів під час електромагнітних досліджень // Відбір і обробка інформ. – 2001. – Вип. 15 (91). – С. 123–131.
6. *Драбич П. П., Драбич О. П.* Электромагнітний локалізатор підземних комунікацій з різницею каналами обробки сигналів // Відбір і обробка інформ. – 2003. – Вип. 18 (94). – С. 74–78.
7. *Улич Г. Г., Ревы Р. У.* Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / Пер. с англ. / Под ред. А. М. Сухотина. – Л.: Химия, 1989. – 456 с.
8. *Pat. 2070783 INT CL G01R19/00.* Measuring current in a conductor / M. I. Howell and A. D. S. Chalmers. – Application published 9 Sept. 1981.

*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка  
НАН України, Львів*

*Одержано  
28.10.2008*