

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МЕТАЛУ В ЕЛЕКТРОПРОВІДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

On the analysis of phenomenological model of a metal with insulating coverage in a electroconductivity environment it is built equivalent chart. The device for measuring of direct and variable electric fields is developed. New method of polarization potential determination is experimentally shown for control of electrochemical corrosion protection of underground metals.

Keywords: *polarization, metal coated, corrosion protection, model measuring, device.*

На основі аналізу феноменологічної моделі межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі побудовано заступну електричну схему. Розроблено пристрій вимірювань постійних і змінних електричних напруг. Експериментально показано придатність нового методу визначення поляризаційного потенціалу для контролю електрохімічного захисту від корозії підземних конструкцій.

Ключові слова: *поляризація, метал з покриттям, протикорозійний захист, модель вимірювання, пристрій.*

Поляризаційний потенціал, як різниця потенціалів на межі метал–середовище, є основним показником стану електрохімічного захисту (ЕХЗ) від корозії [1, 2]. Практично вимірюють різницю потенціалів між поверхнею металу і електродом порівняння (ЕП), розміщеним у електропровідному середовищі. За такого прямого міряння поляризації неминуха похибка, спричинена омичним спадом напруги в електроліті.

Для зменшення похибки міряння поляризаційного потенціалу намагаються по можливості максимально наблизити ЕП до поверхні металу. Проте в реальних умовах це не завжди прийнятно. Можна розрахувати омичний спад напруги в електроліті, та для цього необхідно знати питому електропровідність і просторові характеристики структури [3, 4]. Крім цього, слід враховувати й опір плівки, що покриває метал.

В умовах ЕХЗ металевих конструкцій струмом поляризації поляризаційний потенціал визначають як суму стаціонарного потенціалу металу в середовищі – потенціалу корозії $E_{кор}$ і наведеної стороннім джерелом поляризаційної складової $\Delta E_{пол}$:

$$E_{пол} = E_{кор} + \Delta E_{пол} \quad (1)$$

Вимірюваний же потенціал, крім цієї суми, містить й омичне падіння напруги $\Delta E_{ом}$

$$E = E_{кор} + \Delta E_{пол} + \Delta E_{ом} \quad (2)$$

Для вилучення омичного падіння потенціалу відомі компенсаційні і релаксаційні методи, огляд і аналіз яких наведено у праці [5]. За компенсаційним методом між металом споруди і додатковим електродом подають струм, силу і полярність якого регулюють, домагаючись відсутності струму через вимірювальний електрод порівняння. За компенсації струму поляризації омичне падіння напруги виключається. Але компенсуючий струм може змінювати значення потенціалу поверхні металу, який контролюють. Крім цього, недоліками компенсаційних методів є складність вимірювальних схем та копітка процедура регулювання.

Релаксаційні методи (вимкнення, переключення, комутації) потребують обладнання кожної установки ЕХЗ спеціальними переривачами – комутаторами та їх синхронізації, що ускладнює процедуру вимірювань. Їм властиві похибки, спричинені затримками моменту міряння, вирівнювальними струмами, гетерогенністю системи метал-ізоляція-грунт, блукаючими струмами, які неможливо ви-

ключати. Тому методом вимкнення доцільно визначати поляризаційну складову потенціалу лише на локальних об'єктах чи на достатньо короткому і добре ізольованому трубопроводі з малим витіканням струму.

Ці недоліки відомих методів усувають з використанням запропонованого [6] методу визначення поляризаційного потенціалу за вимірами постійних і змінних електричних напруг.

Постава завдання. У цій статті на основі аналізу феноменологічної моделі [7] будуємо заступну електричну схему межі металу з електролітом для експериментальних досліджень процедури опрацювання вимірюваних сигналів за новим методом визначення поляризаційного потенціалу.

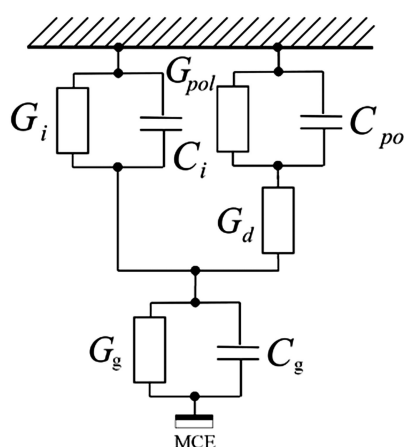


Рис. 1. Феноменологічна електрична схема межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі.

Теорія. Феноменологічну схему межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі зображено на рис. 1, де G_i , G_{pol} , G_d , G_g – електричні провідності ізоляції, поляризації, дефекту ізоляції, ґрунту, а C_i , C_{pol} , C_g – ємності відповідних складників; MSE – мідно-сульфатний ЕП.

Як свідчать проведені дослідження, зокрема для підземних трубопроводів [7], на постійному струмі загальна провідність межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі складається з поляризаційної і омичної компонент. Для доброї ізоляції виконується нерівність $G_i \ll G_p$. Отже, виміряне у постійному струмі падіння напруги між металом і ЕП матиме поляризаційну і омичну компоненти.

У випадку ж змінного з частотою ω струму ємнісна провідність ізоляції набагато менша її активної провідності, тобто

$$G_i \gg |\omega C_i|. \quad (3)$$

На частотах 100 Гц і більше в провідності, зумовленій дефектами ізоляції, заповненими ґрунтом з електропровідністю $10^{-1} \div 10^{-3} (\Omega \cdot \text{m})^{-1}$, за наявності помітних дефектів на метрі довжини трубопроводу, ємнісна складова поляризаційної провідності ωC_p набагато перевищує її активну складову. Отже, на змінному струмі ємнісна провідність подвійного електричного шару на межі металу з ґрунтовим електролітом у місці наскрізного дефекту ізоляції шунтує його активну поляризаційну провідність, тобто

$$G_p \ll |\omega C_p|. \quad (4)$$

Тому на змінному струмі падіння напруги між металом і ЕП матиме лише омичну компоненту. Ця компонента відповідатиме омичній компоненті, вимірній у постійному струмі, якщо частота ω задовольняє нерівності (4) і (3), тобто коли вже не проявляється поляризаційний опір границі метал–середовище і ще не проявляється ємнісна (реактивна) складова провідності ізоляційного шару порівняно з його омичною (активною) складовою провідності.

Отже, за різницею напруг між металом і ЕП, виміряних у постійному U_{MG} і змінному V_{MG} струмі, можна визначити поляризаційний потенціал

$$U_p = U_{MG} - k^{-1} V_{MG}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт гармоніки змінного струму.

Експеримент. Експериментальну перевірку запропонованого методу визначення поляризаційного потенціалу в лабораторних умовах проведено на електрофізичній моделі, реалізованій у вигляді заступної електричної схеми межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі (рис. 2). Відповідно до реальних значень параметрів феноменологічної схеми було вибрано такі значення елементів заступної

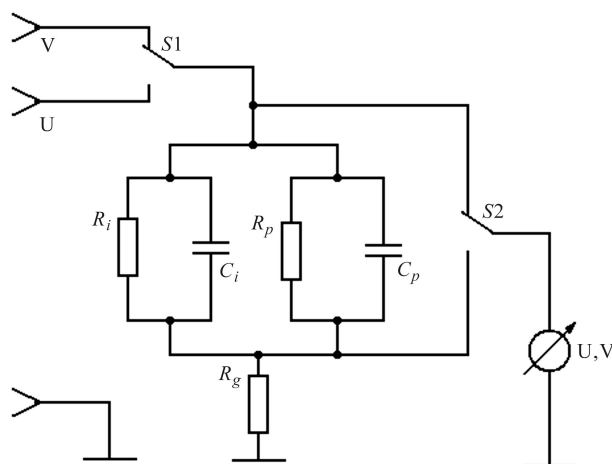


Рис. 2. Заступна електрична схема межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі.

схеми: опір ізоляційного покриття було прийнято рівним $R_i = 100 \text{ k}\Omega$, активний поляризаційний опір $R_p = 22 \text{ k}\Omega$, опір дефекту $R_D = 1 \text{ k}\Omega$, опір ґрунту $R_g = 10 \text{ }\Omega$, ємність ізоляційного покриття $C_i = 0,7 \text{ }\mu\text{F}$. Вимірювання проводили для двох значень ємності подвійного електричного шару $C_p = 10,7 \text{ }\mu\text{F}$ і $C_p = 23,7 \text{ }\mu\text{F}$. Зазначимо, що в реальних умовах ці ємність набагато більша: так у розрахунках для сталевих

магістральних трубопроводів значення ємності подвійного електричного шару приймають у межах $0,25 \dots 0,6 \text{ F/m}^2$ [7].

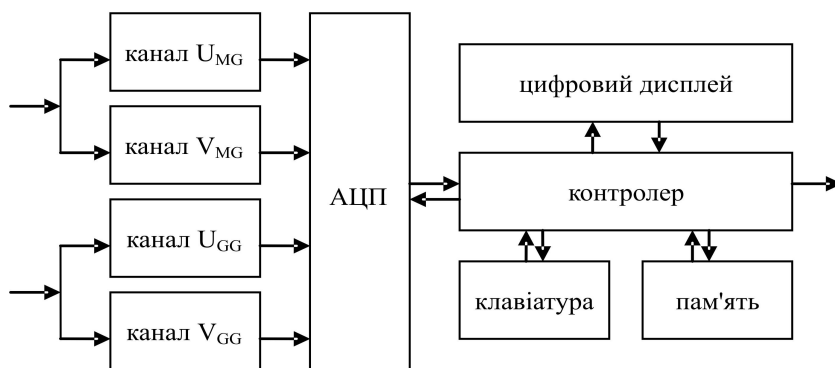


Рис. 3. Функціональна блок-схема пристрою вимірювань постійних і змінних напруг та визначення поляризаційного потенціалу.

Для реалізації запропонованого методу розроблено пристрій, схема якого зображена на рис. 3. Функціонально прилад складається з чотирьох вимірювальних каналів. Для вимірювання постійних напруг застосовано підсилювач з високим входним опором і малим зміщенням вихідної напруги та детектор полярності. Для міряння змінних напруг уведено попередні підсилювачі з високим входним опором і масштабні підсилювачі. Для виділення корисного сигналу від завад уведено смугові фільтри. Для випрямлення змінного сигналу введено випростовувач. Сигнали подають на входи аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

Роботою пристрою керує мікроконтролер, до якого підключені клавіатура, цифровий дисплей, на якому виводяться виміряні значення потенціалів, пам'ять для зберігання даних, блок живлення з перетворювачем напруги, а також інтерфейс для

передачі даних на персональний комп'ютер для подальшого протоколювання.

Отримані результати визначення поляризаційного потенціалу за вимірами постійних і змінних електричних напруг на змонтованій заступній схемі (рис. 2) показані графічно на рис. 4. залежно від частоти змінного струму.

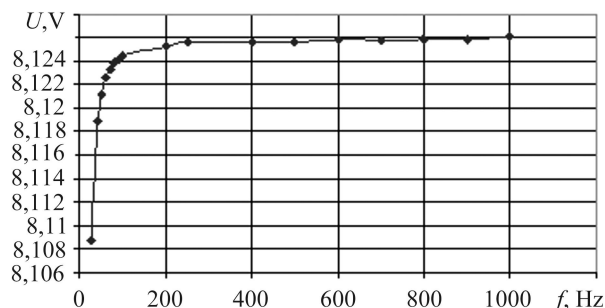


Рис. 4. Залежність U_p від частоти змінного струму за вимірами на макеті заступної схеми при $C_i = 0,7 \mu\text{F}$ і $C_p = 23,7 \mu\text{F}$.

З рис. 4 видно, що за умов, коли ємність подвійного шару набагато більша за ємність ізоляційного покриття, то за частот змінного струму 100 Hz і більше отримане значення поляризаційного потенціалу практично не залежить від частоти змінного струму і приблизно дорівнює різниці потенціалів, безпосередньо вимірній на R_p (рис. 3) при постійному струмі.

Враховуючи, що в реальних умовах значення ємності C_p набагато більше, ніж використане у заступній схемі під час експерименту, можна стверджувати, що умова (4) виконуватиметься і для менших частот змінного струму. Це підтверджує придатність запропонованого методу для практичних вимірювань поляризаційного потенціалу металу в електропровідному середовищі.

ВИСНОВКИ

На основі співвідношень феноменологічної моделі межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі, з використанням заступної електричної схеми обґрунтовано новий метод визначення поляризаційного потенціалу.

Розроблено пристрій для вимірювань постійних і змінних електричних напруг та визначення поляризаційного потенціалу, простежено його придатність для обстежень і контролю електрохімічного захисту підземних металевих конструкцій, трубопроводів.

1. Глазов Н. П. Повышение эффективности противокоррозионной защиты стальных трубопроводов // Защита металлов. – 2001. – 37, № 5. – С. 264–270.
2. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии / Пер. с нем; под ред. И. В. Стрижевского. – М.: Металлургия, 1984. – 495 с.
3. Расчет и измерение потенциалов трубопроводов / В. Ф. Забара, А. С. Соколов, А. В. Забара. – Х.: Вид-во “Харків”, 1992. – 131 с.
4. Джала Р. М. Електричне поле підземного трубопроводу. Похибки електрометрії // Відбір і обробка інформації. – 2001. – Вип. 16(92). – С. 5–8
5. Джала Р. М., Мельник М. І. Методи визначення потенціалу поляризації металевої споруди в електропровідному середовищі // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – 2009. – Вип. 14. – С. 125–128.
6. Патент на винахід 43130А. Україна. G01R19/00, C23F13/00. Спосіб визначення поляризаційного потенціалу підземної споруди / Р. М. Джала. – Опубл. 15.11.2001; Бюл. 10.
7. Джала Р. М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. – Т. 5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Т. Назарчука. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАН України. – 2001. – С. 263–330.