

УДК 538.3:620.1:621.6

ВИМІРЮВАННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ З ВИЛУЧЕННЯМ ОМІЧНОГО СКЛАДНИКА

Джала Р. М., Вербенець Б. Я., Мельник М. І.

MEASURING OF POLARIZATION POTENTIAL WITH THE EXCEPTION OF RESISTENCE COMPONENT

Dzhala R. M., Verbenec' B. Ya., Melnyk M. I.

Для контролю електрохімічного захисту від корозії металевих конструкцій у провідному середовищі запропоновано визначати поляризаційний потенціал за вимірами постійних і змінних електричних напруг з вилученням омичного падіння потенціалу між поверхнею металу і електродом порівняння. Дано обґрунтування методу, розроблено пристрій, проведено натурні випробування на трасі підземного трубопроводу. Рис. 4. Табл. 1. Літ. 6.

Ключові слова: поляризаційний потенціал, електрична схема, електрохімічний захист, омичний спад, контроль стану.

Вступ. Для діагностичних обстежень і контролю електрохімічного захисту (ЕХЗ) від корозії металоконструкцій, підземних трубопроводів та інших споруд в електропровідному середовищі і в наукових дослідженнях потрібно вимірювати поляризаційний потенціал (ПП) як різницю електричних потенціалів на межі метал-середовище. Він є сумою стаціонарного потенціалу металу в середовищі (потенціалу корозії) та наведеної стороннім джерелом струму поляризації і вважається основним показником ЕХЗ.

Практично вимірюють різницю потенціалів між поверхнею металу і розміщеним у середовищі електродом порівняння (ЕП). Проте такий вимір містить у собі, крім ПП, ще й омичний спад напруги IR , обумовлений проходженням струму через ефективний опір R між ЕП і металом конструкції. Отже, для точного контролю і регулювання ПП підзахисної конструкції з вимірною різницею потенціалів треба вилучати омичного складника.

Для зменшення омичного падіння потенціалу просте наближення ЕП до поверхні металу часто неприйнятне технологічно та не враховує можливих похибок, обумовлених високим опором покриву металу. Важливість проблеми спричинила низку досліджень і розробок методів та засобів визначення ПП, короткий огляд і аналіз яких наведено у праці [1]. Відомі методи компенсаційні, релаксаційні, допоміжних електродів, розрахункові.

За компенсаційним методом між спорудою і

додатковим електродом подають струм, силу і полярність якого регулюють, добиваючись відсутності струму через вимірювальний ЕП. При компенсації омичне падіння напруги виключається. Недоліками цих методів є складність вимірювальних схем і копітка процедура регулювання. Крім цього компенсуючий струм може змінити потенціал поверхні металу, що контролюють.

Релаксаційні методи (вимкнення, переключення) потребують обладнання кожної катодної установки ЕХЗ (яка діє у зоні контролю) спеціальними комутаторами та їх синхронізації [2], що ускладнює процедуру вимірювань. Розроблено спеціальні пристрої, які використовують при обстеженнях магістральних трубопроводів за методикою так званих "інтенсивних вимірювань". Міряють різницю потенціалів "метал-земля" при діючих установках катодного захисту та через 0,3 сек після їх вимкнення. Вимикачі синхронізують по радіоканалу. Проте не завжди можна бути певним, що вимикачі встановлено на всіх установках, які діють у зоні обстежень. Крім того, релаксаційним методам властиві похибки, спричинені затримками моменту мірювання, врівнювальними струмами, гетерогенністю системи метал-ізоляція-грунт, блукаючими струмами, які неможливо виключати. Строго кажучи, методом вимикання можна визначати ПП лише на локальних об'єктах чи на достатньо короткому і добре ізольованому трубопроводі з малим витіканням струму [3].

Метод допоміжного електрода передбачає встановлення ЕП біля поверхні металу, що трудомістко і забезпечує лише локальний контроль і мало придатне для великогабаритних конструкцій, трубопроводів. З часом електроди змінюють свій потенціал, що спричинює додаткові похибки.

Катодний захист здійснюють накладанням струму від стороннього джерела енергії, найчастіше від випрямляча змінного струму промислової частоти. Наявність у випрямленому струмі постійної і змінних компонент дає можливість вимірювати ПП з вилученням омичного складника. Можливий

варіант такого методу описано у [4], де міряють напругу змінного струму між об'єктом і ЕП. Вважали, що при двопівперіодному випрямленні струму установкою катодного захисту, пульсуючу напругу приблизно можна подати коливанням за синусоїдальним законом з амплітудою вдвоє меншою від амплітуди пульсацій. За поляризаційний потенціал приймали різницю між вимірами постійної і ефективної змінної напруг з множенням останньої на коефіцієнт $(-1,8V_{ef})$, приблизно оцінений згідно вказаного спрощеного подання [1, 4]. Проте в реальних умовах співвідношення між постійною і змінною складовими струму, що протікає між металом і середовищем, може значно відрізнятись через наявність різних характеристик випрямлячів та реактивних опорів.

Вказані недоліки відомих методів усуваються використанням запропонованого [5] методу визначення ПП з вилученням омичного складника за додатковими вимірами постійних і змінних електричних напруг.

Постава задачі. У даній статті розглянемо запропонований метод визначення поляризаційного потенціалу, наведемо його обґрунтування, опишемо розроблений пристрій для його реалізації та проведені випробування.

Умови застосування. Для ЕХЗ сталевих конструкцій в електропровідному середовищі використовують установки катодного захисту (УКЗ), які живляться від електромережі струмом промислової частоти ω_0 , містять у собі випрямляч струму, вихід якого підключений до металу конструкції і аноду. При ідеальному двопівперіодному випрямленні на конструкцію подають пульсуючий струм J , залежність якого від часу t має вигляд

$$J(t) = J_0 |\sin \omega_0 t|. \quad (1)$$

Розкладаючи його в ряд Фур'є маємо

$$J(t) = \frac{2}{\pi} J_0 \left[1 - \sum_{p=1}^{\infty} \frac{2}{(2p)^2 - 1} \cos 2p\omega_0 t \right]. \quad (2)$$

Тут крім постійної складової є парні гармоніки з частотами $2\omega_0$, $4\omega_0$ і т.д. Для вимірювань доцільно використовувати нижчу гармоніку з найбільшою амплітудою. У реальних випрямлячах та на діючих об'єктах співвідношення (2) між гармоніками може не виконуватись. Тому на практиці його треба вимірювати.

Таким чином, в якості джерела тестуючого струму для визначення омичного складника використовуємо змінну компоненту пульсуючого струму УКЗ. У випадках, коли металоконструкцію поляризують постійним струмом, для застосування нового способу контролю достатньо модулювати струм на виході джерела змінною складовою низької частоти. Можна використати генератор (модулятор) струму підключений до заземлення і

металоконструкції.

Суть методу пояснює схема розміщення і присднання електродів для вимірювання ПП, показана на рис. 1.

Міряємо постійну різницю потенціалів U_{MG} і змінну напругу V_{MG} між металом ОК і розміщеним у середовищі ЕП (перемикач у положенні П1) та аналогічно – U_{GG} і V_{GG} між ЕП і допоміжним електродом ДЕ (перемикач П2).

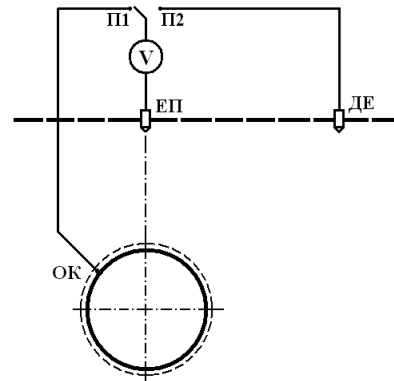


Рис. 1. Схема міряння поляризаційного потенціалу. ОК - об'єкт контролю; П1-П2 - перемикач; V - вольтметр; ЕП - електрод порівняння; ДЕ - допоміжний електрод.

За цими вимірами визначаємо поляризаційний потенціал

$$U_p = U_{MG} - V_{MG} \cdot U_{GG} / V_{GG}. \quad (3)$$

Відношення V_{GG} / U_{GG} є вимірний коефіцієнт гармоніки.

Обґрунтування методу. Розглянемо заступну електричну схему структури «метал-ізоляція-електропровідне середовище», показану на рис. 2, де G_i , G_{pol} , G_d , G_g – електричні провідності ізоляції, поляризації, дефектів ізоляції, ґрунту, а C_i , C_{pol} , C_g – емності відповідних складників.

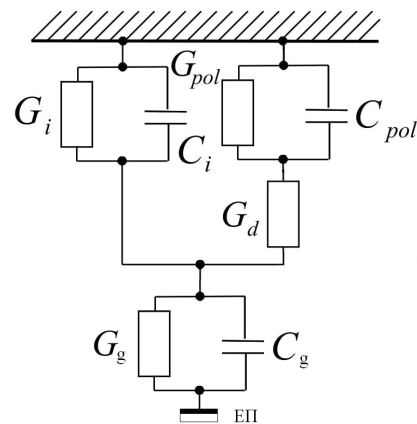


Рис.2. Феноменологічна електрична схема межі металу з ізоляційним покривом в електропровідному середовищі.

Як показує аналіз параметрів поданої на рис. 2 електричної схеми (на основі результатів досліджень, проведених зокрема для підземних трубопроводів [6]), для постійного струму провідність межі металу з ізоляційним покритвом в електропровідному середовищі складається з поляризаційної і омичної компонент. У цьому випадку замість загальної схеми (рис. 2) маємо спрощену заступну схему, показану на рис. 3а. Отже виміряне у постійному струмі падіння напруги U_{MG} між металом і ЕП матиме поляризаційну й омичну компоненти.

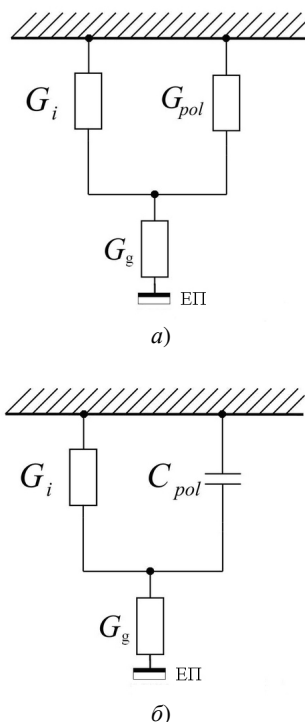


Рис. 3. Заступні електричні схеми межі металу з ізоляційним покритвом в електропровідному середовищі для постійного а) і змінного б) струмів.

У випадку ж змінного з низькою частотою ω струму ємнісна провідність ізоляції набагато менша її активної провідності $G_i \gg |\omega C_i|$, тобто ємністю конденсатора C_i , утвореного металом і середовищем (з проміжним шаром реальної з порами і дефектами ізоляції) можна знехтувати.

З іншого боку, завдяки великій ємності подвійного електричного шару на межі метал-середовище (у дефектах ізоляції), ємнісна складова поляризаційної провідності ωC_p набагато перевищує її активну складову $G_d \ll |\omega C_p|$. Для змінного струму ємнісна провідність подвійного електричного шару на межі металу з ґрунтовим електролітом шунтує його активну поляризаційну провідність. Тут останньою можна нехтувати; маємо спрощену схему, показану на рис. 3б. Тому для змінного струму падіння напруги V_{MG} між металом і ЕП матиме лише омичну компоненту.

Очевидно, що ця остання компонента відповідатиме омичній компоненті, виміряній для

постійного струму, якщо частота ω вибрана такою, що не проявляється поляризаційний опір границі метал-середовище і не проявляється ємнісна (реактивна) складова провідності ізоляційного шару порівняно з його омичною (активною) складовою провідності.

Для вилучення омичної компоненти з виміру різниці потенціалів U_{MG} необхідно привести значення змінного струму у відповідність до постійного, що згідно з формулою (3) забезпечуємо коефіцієнтом гармоніки за вимірами постійної U_{GG} і змінної V_{GG} напруг на одному і тому ж активному опорі між ЕП і ДЕ, по якому протікають струми.

Пристрій. Для реалізації запропонованого методу розроблено пристрій ВПП, схема якого зображена на рис. 4. Аналогова частина пристрою складається з чотирьох вимірювальних каналів для міряння 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. З аналогових каналів сигнали подаються на входи аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

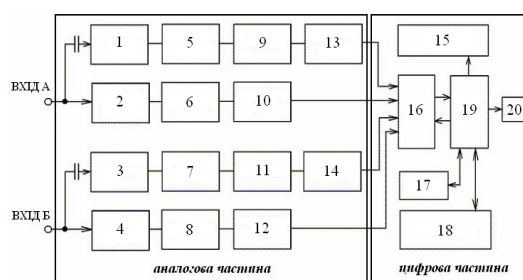


Рис. 4. Функціональна блок-схема пристрою вимірювань постійних і змінних напруг та визначення поляризаційного потенціалу ВПП.

1,3 – високоомні входні підсилювачі; 2,4 – прецизійні підсилювачі; 5,7 – смугові фільтри; 6,8,9,11 – детектори; 10,12,13,14 – випростовувачі; 15 – цифровий дисплей; 16 – аналого-цифровий перетворювач; 17 – пам'ять; 18 – клавіатура; 19 – мікроконтролер; 20 – персональний комп'ютер.

Процес вимірювань здійснюється автоматично. Роботою пристрою керує мікроконтролер за спеціально розробленою програмою. Відбувається зчитування виміряних напруг та обчислення поляризаційного потенціалу за формулою (3). Забезпечено можливості запису вимірів у пам'ять і перегляду отриманих результатів на цифровому дисплеї. Реалізовано передачу даних з приладу по інтерфейсу в комп'ютер для подальшого опрацювання і документування.

Експериментально визначено передаточні характеристики аналогових каналів створеного зразка вимірювача постійних і змінних електричних напруг.

Перевірку запропонованого методу і розробленого пристрою вимірювань поляризаційного потенціалу проведено в лабораторних умовах на електрофізичній моделі, реалізованій у вигляді заступної електричної схеми межі металу з ізоляційним покриттям в електропровідному середовищі (рис. 2). Параметри схеми були вибрані відповідно їх реальним значенням для підземних трубопроводів [6]. Подавали постійну і змінну в діапазоні від 10 до 1000 Гц електричні напруги.

Експериментальні вимірювання показали, що в умовах, коли ємність подвійного електричного шару C_{pol} набагато більша ємності ізоляційного покриття C_i , то за частот змінного струму 100 Гц і більше, виміряне значення поляризаційного потенціалу практично не залежить від частоти змінного струму і приблизно рівне різниці потенціалів виміряній при постійному струмі безпосередньо на елементі, який імітує поляризаційний опір (провідність G_{pol} на рис. 2). Враховуючи, що в реальних умовах значення ємності C_p набагато більше, ніж використане у заступній схемі, можна стверджувати, що наведені вище співвідношення між компонентами та спрощені схеми (рис.3) справедливі і для менших частот змінного струму. Це підтверджує придатність методу для практичних вимірювань ПП металу в електропровідному середовищі.

Випробування роботи виготовленого зразка вимірювача постійних і змінних електричних напруг для визначення поляризаційного потенціалу ВПП проведено з використанням двох мідно-сульфатних електродів в натурних умовах на магістральному підземному трубопроводі. Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1
Вимірювання потенціалів підземного трубопроводу

Пікет	U_{MG} , В	U_{GG} , В	V_{MG} , В	V_{GG} , В	U_p , В
20 м від УКЗ перед струмком; ЕП зліва	-1,13	-0,021	0,4	0,091	-1,05
Там же; ЕП справа	-1,14	-0,027	0,4	0,089	-1,01
За струмком; ЕП зліва	-1,12	-0,025	0,23	0,187	-1,09
За струмком; ЕП справа	-1,13	-0,019	0,23	0,193	-1,12
100 м від УКЗ	-1,03	-0,087	0,275	0,148	-0,87
Повторний вимір	-1,04	-0,078	0,266	0,153	-0,9
120 м від УКЗ	-1,04	-0,09	0,27	0,127	-0,84
Повторний вимір	-1,03	-0,09	0,27	0,127	-0,84

ВПП забезпечує вимірювання постійних і змінних електричних напруг «труба-земля» та «земля-земля» (поперечний градієнт) і визначення поляризаційного потенціалу підземного трубопроводу з показом вимірів на цифровому індикаторі та записом результатів у пам'ять з можливістю їх передачі у комп'ютер для документування.

Висновки.

Для контролю електрохімічного захисту від корозії металевих конструкцій і споруд в електропровідному середовищі запропоновано новий метод визначення поляризаційного потенціалу за вимірами постійних різниць потенціалів і змінних електричних напруг, що дає можливість вилучати омичний спад потенціалу між поверхнею металу і електродом порівняння.

Дано теоретичне обґрунтування методу. Розроблено спеціальний пристрій ВПП для вимірювань постійних і змінних напруг та визначення поляризаційного потенціалу.

Проведені натурні випробування на трасі підземного трубопроводу підтвердили придатність ВПП для діагностичних обстежень і контролю стану протикорозійного захисту підземних металевих конструкцій у польових умовах.

Література

1. Джала Р. М., Мельник М. І. Методи визначення потенціалу поляризації металевої споруди в електропровідному середовищі. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. Вип. 14. - Львів: ФМІ НАНУ, 2009. – С. 125-128.
2. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. – К.: Держстандарт України, 2003. – 73 с.
3. Методы контроля и измерений при защите подземных сооружений от коррозии / Н. П. Глазов, И. В. Стрижевский, А. М. Калашникова и др. – М.: Недра, 1978. – 215 с.
4. Бэкман В., Швенк В. Катодная защита от коррозии : пер. с нем. / Под ред. И. В. Стрижевского. – М.: Металлургия, 1984. – 495 с.
5. Патент 43130А. Україна. G01R19/00, C23F13/00. Спосіб визначення поляризаційного потенціалу підземної споруди / Р. М. Джала. – Опубл. 15.11.2001. Бюл. 10.
6. Джала Р. М. Електромагнітні обстеження та контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібник / Під заг. ред. В. В.Панасюка.– Т.5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З. Т.Назарчука. - Львів: ФМІ ім. Г. В.Карпенка НАН України, 2001.- Розд. 5.- С. 263-330.

References

1. Dzhala R. M., Mel'nik M. I. Metodi viznachennja potencialu poljarizacii metalevoї sporudi v elektroprovidnomu seredovishhi. // Fizichni metodi ta zasobi kontrolju seredovishh, materialiv ta virobiv. Vip. 14. - L'viv: FMI NANU, 2009. – S. 125-128.
2. DSTU 4219-2003. Truboprovodi stalevi magistral'ni. Zagal'ni vimogi do zahistu vid korozii. – K.: Derzhstandart Ukraini, 2003. – 73 s.
3. Metody kontrolja i izmerenij pri zashhite podzemnyh sooruzhenij ot korrozii / N. P. Glazov, I. V. Strizhevskij, A. M. Kalashnikova i dr. – M.: Nedra, 1978. – 215 s.
4. Bjekman V., Shvenk V. Katodnaja zashhita ot korrozii : per. s nem. / Pod red. I. V. Strizhevskogo. – M.: Metallurgija, 1984. – 495 s.
5. Patent 43130A. Ukraina. G01R19/00, C23F13/00. Sposib viznachennja poljarizacijnogo potencialu pidzemnoї sporudi / R. M. Dzhala. – Opubl. 15.11.2001. Bjul. 10.

6. Dzhala R. M. Elektromagnitni obstezhennja ta kontrol' koroziji truboprovodiv // Mehanika rujnuvannja i micnist' materialiv: Dovidn. posibnik / Pid zag. red. V. V.Panasjuka.- T.5: Nerujnivnij kontrol' i tehnicna diagnostika / Pid red. Z. T.Nazarchuka. - L'viv: FMI im. G. V. Karpenka NAN Ukraїni, 2001.- Rozd. 5.- S. 263-330.

Джала Р. М., Вербенец Б. Я., Мельник М. И.
Измерение поляризационного потенциала с исключением омической составляющей

Для контроля электрохимической защиты от коррозии металлических конструкций в проводящей среде предложено определять поляризационный потенциал по измерениям постоянных и переменных электрических напряжений с исключением омического падения потенциала между поверхностью металла и электродом сравнения. Дано обоснование метода, разработано устройство измерений, проведены натурные опробывания на трассе подземного трубопровода. Полученные результаты могут быть полезными для специалистов в области коррозии, которые занимаются проектированием оборудования и измерительной аппаратуры, а также инженеров-практиков в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Рис. 4. Табл. 1. Ист. 6.

Ключевые слова: поляризационный потенциал, электрическая схема, электрохимическая защита, омический спад, контроль состояния.

Dzhala R. M., Verbenec' B. Ya., Melnyk M.I.
Measuring of polarization potential with the exception of rezistence component

For control of electrochemical corrosion protection of metallic constructions in a conductive environment it is suggested to determine polarization potential after measurings of direct and variable electric voltage and the exception of the rezistive falling of potential between the surface of metal and electrode of comparison. The device of measurings is developed, model tests are on the route of underground pipeline. Fig. 4. Tabl. 1. Ref. 6.

Key words: polarization potential, electric circuit, electrochemical protection, ohmic recession, status monitoring.

Джала Роман Михайлович - д.т.н., кандидат фізико-математичних наук, завідувач відділу фізичних методів контролю протикорозійного захисту фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Вербенець Богдан Ярославович - к.т.н., науковий співробітник відділу фізичних методів контролю протикорозійного захисту фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Мельник Мар'ян Ігорович - молодший науковий співробітник відділу фізичних методів контролю протикорозійного захисту фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України.

Рецензент: Суворін О. В. - д.т.н., доцент

Стаття подана 04.11.2013