

СЕНСОР ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ТРУБОПРОВОДУ

P.M. Джала, Я.Є. Підгірняк

Фізико-механічний інститут
ім. Г.В. Карпенка НАН України
79060, м. Львів, вул. Наукова, 5
E-mail: pid@org.lviv.net

Описано роботу вимірювача постійного електричного поля у повітрі та застосування його для діагностики антикорозійного покриття трубопроводів в умовах високого рівня завад. Використано механічне переривання вимірюваного поля. Для покращення завадостійкості вимірювань застосовано синхронне детектування. Показані результати натурних вимірювань електричного поля катодного захисту трубопроводу.

Вступ. Використання безконтактних методів для обстежень стану ізоляції підземних трубопроводів є перспективним з огляду на оперативність, мобільність, продуктивність та інформативність. Проте вони потребують спеціальних засобів вимірювань і не мають достатньо широкого застосування [1, 2], крім того для цього використовується виключно вимірювачі магнітного поля.

Відомі застосування індикатора електричного поля, збудженого підключеним до трубопроводу спеціальним гене-

ратором, що дає можливість виявляти локальні наскрізні пошкодження ізоляції [3]. Проте, для діагностичних обстежень актуальною є розроблення вимірювача компонент електричного поля, створено-го катодним захистом у повітрі через незадовільні метрологічні параметри вказаних індикаторів електричного поля, які дають тільки якісну інформацію про наявність поля [4].

Такі вимірювання постійного електричного поля проводяться завдяки перевириванню його [5 – 8], на фоні високого рівня електромагнітних завад, що створюються технічними об'єктами та природними процесами. Виділити корисний сигнал фільтруванням завад можна тільки для у випадку його високого рівня. Одним із методів покращення чутливості вимірювань на фоні високих завад є застосування синхронного детектування [5, 6].

Контролюючи величину напруженості електричного поля створеного електрохімічним захистом трубопроводу, можна оцінювати стан захисного протикорозійного захисту металоконструкцій.

Функціональна схема. Запропонований безконтактний вимірювач електричного поля позбавлений недоліків властивих відомим вимірювачам. Його функціональна схема показана на рис.1.

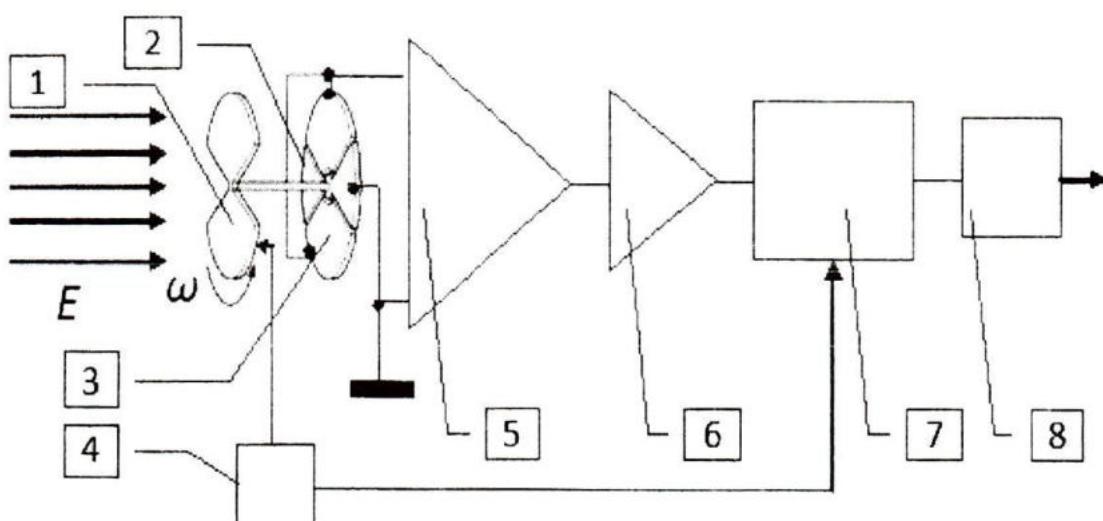


Рис. 1. Функціональна схема сенсора електричного поля трубопроводу

Він містить заземлений рухомий електрод 1, нерухомі електроди 2, 3, індикатор обертання 4, вхідний підсилювач 5, підсилювач 6, синхронний детектор 7, вихідний підсилювач 8.

Форма електродів зрозуміла з рисунка. Рухомий електрод 1 та нерухомий електрод 2 з'єднано із електричною землею сенсора, при цьому нерухомий електрод 3 під'єднано до входу попереднього електрометричного підсилювача 5, вихід якого підключено до входу підсилювача 6, сигнал з якого подається на вхід синхронного детектора 7, а на другий його вхід під'єднано вихід оптопарі індикатора обертання 4, при цьому вихід синхронного детектора 7 підключено до вихідного підсилювача 8. Край рухомого електрода переміщається у зазорі оптопарі. Рухомий електрод конструктивно знаходиться на валу ротора мікроелектроелектродвигуна, який при ввімкненому стані сенсора живиться від акумулятора.

Внаслідок обертання рухомого електрода 1 змінюється площа S електрода 3, яка відкрита для електричного поля E . Під дією електричного поля E на незакритій частині нерухомого електрода 3 виникає заряд $q = \sigma ES$.

який пропорційний до значення його відкритої площини S (σ – провідність середовища; E – напруженість електричного поля; S – площа електрода 3 відкрита полю E).

Густота заряду індукованого на нерухомому електроді 3 змінюється від 0 до максимального значення. Її амплітуда пропорційна величині напруженості вимірюваного постійного електричного поля, а знак визначається знаком електричного поля. Зменшення площини S нерухомого електрода 3 викликає стікання заряду q через вхідний опір вхідного підсилювача і викликає на ньому постійну напругу

$$U \sim dq/dt.$$

Знак цієї напруги змінюється у залежності від того заряджається чи розряджається електрод 3, її амплітуда пропорційна до напруженості вимірюваного поля, а частота відповідає швидкості обертання рухомого електрода, крім того амплітуда також пропорційна частоті обертання у зв'язку з тим що похідна береться від гармонійної функції. Зміни заряду рухомого електрода в часі та напруги на ньому показано на рис. 2.

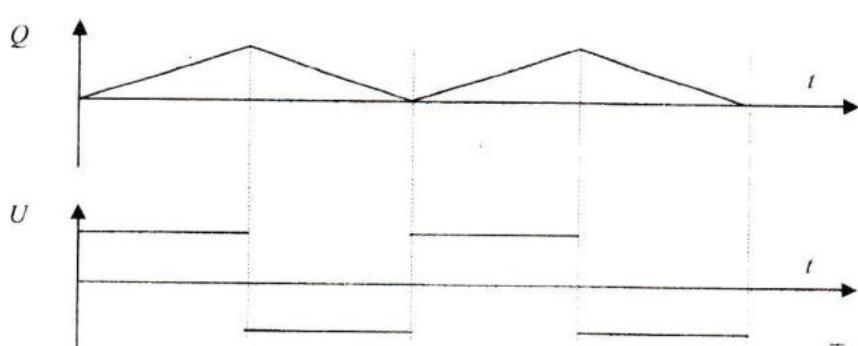


Рис. 2. Графіки зміни заряду та напруги на нерухомому електроді

Таким чином, реалізація такої функціональної схеми сенсора забезпечує на вихіді попереднього підсилювача 5 прямокутні коливання, частота яких рівна частоті обертання рухомого електрода 1. Підсилене підсилювачем 6 напруга цих коливань подається на вхід синхронного детектора 7, на другий вхід якого по-

дається напруга від оптопарі індикатора коливань 4, яка є прямокутними коливаннями з частотою рівною частоті обертання електрода 1, а, отже, частоті коливань на вихіді підсилювача 6. Внаслідок рівності частот напруг на обох входах синхронного детектора, напруга на його вихіді постійна [5] і

пропорційна до напруженості вимірюваного електричного поля E значення якого є інформативним параметром про стан анткорозійного покриття. Опорний сигнал синхронного детектора одержаний від оптопари який має форму меандра спрощує реалізацію перемноження сигналів. При цьому синхронному детекторі реалізація перемноження замінюється зміною знака опорного сигналу [5], і виконанується з допомогою інвертора. Такий перемножувач є балансний модулятор.

Реалізація вимірювача поля. У розробленій схемі вхідний підсилювач виконано на мікросхемі LT6013, синхронний детектор на мікросхемі MAX453DESE, решта підсилювачів – AD630J\AD.

Описаний вимірювач випробувано у лабораторних та польових умовах. Отримано чіткі сигнали від електричного поля катодного захисту вільні від завад, побудовано профіль горизонтальної та вертикальної складових постійного електричного поля катодного захисту у зоні навколо трубопроводу. На рис. 3 показано виміряний у натурних умовах профіль горизонтальної складової поля для різних висот над трубопроводом, кругом показано трубопровід, масштаб збережено. Нуль вимірюваної напруженості поля катодного захисту для горизонтальної складової поля проходить через центр трубопроводу для всіх профілів поля знятих на різних висотах над трубопроводом.

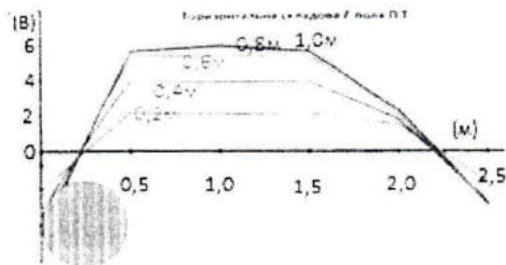


Рис. 3. Профіль горизонтальної складової електричного поля катодного захисту підземного трубопроводу для різних висот над трубопроводом

На рис. 4 показано профіль вертикальної складової поля для різних віддалей від трубопроводу (0 – 2,5 м), вертикаль-

ний профіль чітко виділяє край трубопроводу для всіх графіків.

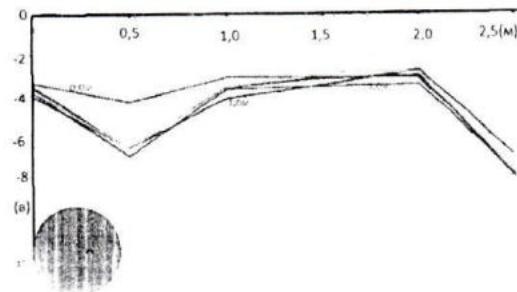


Рис. 4. Профіль вертикальної складової електричного поля катодного захисту підземного трубопроводу для різних віддалей від трубопроводу

Отриманий профіль електричного поля катодного захисту дозволяє чітко виявити електричне поле навколо трубопроводу, встановити його величину а за його величиною виявити пошкодження ізоляції металоконструкцій яке спричинене проникненням агресивного середовища до поверхні металлу і приводить до збільшення витрат струму катодного захисту, що зменшує захищеність трубопроводу, термін його експлуатації та ін.

На рис. 5 показано фото макетного зразка розробленого сенсора електричного поля катодного захисту підземного трубопроводу (зліва) та вузол електродів механічного переривача поля (справа).

Висновки. В результаті лабораторних і натурних випробувань встановлено ефективність вибраних технічних рішень для реалізації вимірювача електричного поля у повітрі, зокрема для його застосування для визначення електричного поля катодного захисту підземного трубопроводу з метою діагностики протикорозійного захисту. Такий результат досягнуто завдяки застосуванню механічного переривання вимірюваного поля у поєднанні з синхронним детектуванням. При цьому для формування опорного сигналу синхронного детектора використано оптопару, яка формує сигнал з частотою обертання механічного переривача.

Застосування синхронного детектування підвищило завадостійкість сенсора до промислових і природних завад, а також завад викликаних власним електроприводом переривача поля.

Запропонований метод і сенсор для вимірювання електричного поля дозволяє розширити можливості досліджень стану протикорозійного захисту підзем-

них трубопроводів, профілактики їх пошкоджень та аварій, продовжити термін безпечної експлуатації.

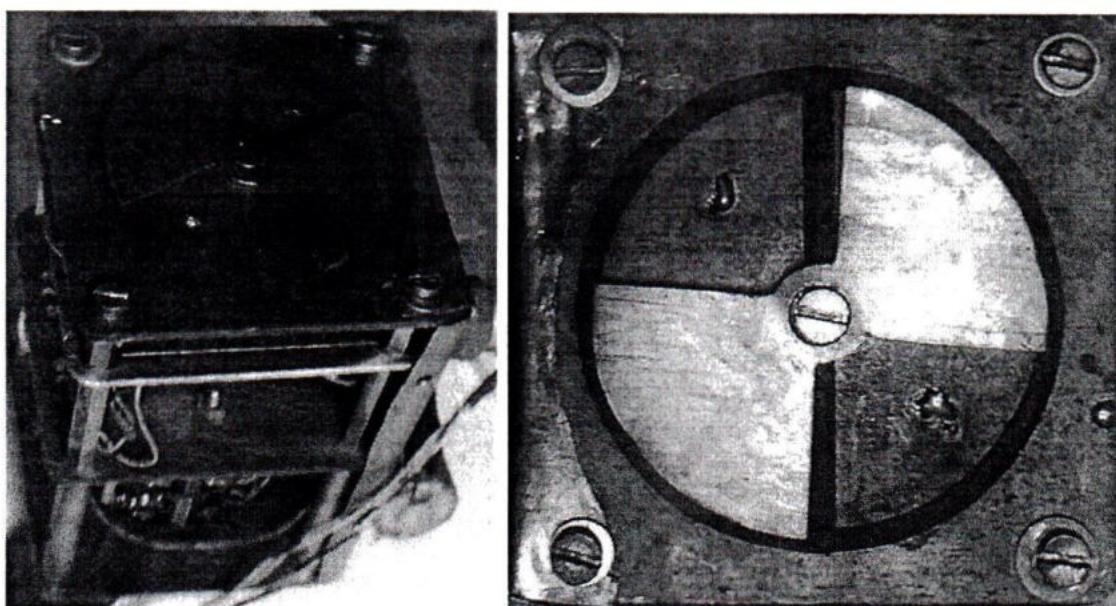


Рис. 5. Фото макетного зразка сенсора електричного поля катодного захисту підземного трубопроводу (зліва) та електродів його механічного переривача поля (справа)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрижевский И.В., Белоголовский Ф.Д., Дмитриев В.И. и др. Защита подземных металлических сооружений от коррозии: Справочник. – М.: Стройиздат, 1990. – 303 с.
2. Джала Р.М. Основи обстеження і контролю корозійного стану підземних трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. пос. / Під заг. ред. В. В. Панасюка. Т. 11: Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів. – Львів: “Сполом”, 2009. – С. 143 – 184.
3. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / Под ред. В.А. Шевнина и И.Н. Модина – М.: РУССО, 1999. – 511 с.
4. Джала Р.М. Електромагнітні обстеження і контроль корозії трубопроводів // Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідн. посібн. / Під заг. ред. В.В. Панасюка. – Т.5.
5. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. – М.: Мир, 1983. – Т.2. – 256 с.
6. Петин Г. Ключевой синхронный детектор // Схемотехника 3, 2003. – С. 1 – 6.
7. Плаксин И.И., Астахов Ю.А., Собисевич А.А. Модуляционный датчик электрического поля в проводящей среде // Тезисы докладов VIII Всеобщего семинара «Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований». – Звенигород. – 1990. – С. 123 – 127.
8. А.с. СССР №1368842 Астахов Ю.А., Кочанов А.С., Плаксин И.И., Собисевич Л.Е. Первичный преобразователь для измерения напряженности электрического поля в проводящей среде. Опубл. Б.И. 1988, № 3.