

Пошук та обстеження захованих об'єктів за їх сигналами

Петро Драбич, Олег Драбич

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України
вул. Наукова, 5, 79601, МСП, Львів, Україна,
тел. 8 (0322) 63 33 55, факс 8 (0322) 64-94-27
e-mail: drabich@ipm.lviv.ua

Описана структура стохастичних сигналів, що випромінюються протяжними підземними інженерними комунікаціями при протіканні по них змінних струмів, сигналів-відгуків при їх обстеженні за допомогою імпульсних електромагнітних полів та сигналів, випромінюваних ними акустичної емісії. Вказані інформативні елементи перелічених сигналів і приведені характеристики розроблених пошуково-вимірних систем.

ВСТУП

Однією з важливих проблем є пошук, визначення координат та контроль технічного стану мереж підземних комунікацій (водо-, нафто-, газо- та продуктопроводів, ліній електрозв'язку, ліній електропередач, телекомунікацій та інших технічних споруд), кількість яких постійно зростає.

Для вирішення цих задач широке практичне застосування знаходять імпульсні та гармонічні електромагнітні методи, які ґрунтуються на визначенні параметрів сигналів-відгуків, сигналів акустичної емісії, а також сигналів, що випромінюються обстежуваними комунікаціями при протіканні в них робочих, зондувальних або блукаючих струмів. Так, наприклад, діючі кабелі електропередач випромінюють змінні електромагнітні коливання з частотою 50 Гц, а магістральні нафто- та газопроводи - коливання з частотою 100 Гц, обумовлені протіканням в них струму катодного захисту, а також сигнали акустичної емісії, обумовлені навантаженням трубопроводів.

При відсутності в комунікаціях робочих струмів електромагнітні коливання можуть збуджуватись приєднанням до них спеціальних генераторів або безконтактним індуктивним методом.

1. Структура випромінювальних сигналів та їх інформативні параметри

При проведенні досліджень на приймальний перетворювач одночасно з інформативним сигналом $f(t)$ діють поля-завади $\eta(t)$ імпульсного та неперервного характеру (шуми зумовлені електромагнітними явищами в атмосфері та іоносфері, шуми промислового характеру, шуми від сусідніх інженерних комунікацій і об'єктів та ін.). Тому результуючий сигнал на виході приймального перетворювача

$$\xi(t) = f(t) + \eta(t)$$

має стохастичну структуру. Щоб зменшити вплив накладених на інформативний сигнал завад необхідно здійснювати його статистичну обробку.

1.1. Інформативні параметри сигналів, випромінюваних підземними комунікаціями

При пошуку та обстеженні протяжних підземних інженерних комунікацій інформативним параметром є амплітуда E випромінюваних ними електромагнітних хвиль. З врахуванням адитивного шуму $\eta(t)$ амплітудні значення сигналу є випадковими величинами і їх послідовність може бути представлена дискретним випадковим процесом

$$\{E_i, i \in Z = 1, 2, 3, \dots\}. \quad (1)$$

В цьому випадку алгоритм обробки сигналу полягає в його фільтрації та оцінці значення амплітуди E шляхом усереднення випадкових значень E_i .

При обробці сигналу використовується теж фізична закономірність, яка полягає в тому, що напруженість магнітної складової електромагнітного поля, що випромінюється протяжним струмопровідним об'єктом, прямо пропорційна до величини змінного струму $I(t)$,

що протікає вздовж нього і обернено пропорційна до відстані h між точкою спостереження і віссю об'єкта, тобто магнітне поле розглядають як поле лінійного струму, суміщеного з віссю об'єкта [1,2]. Визначивши на двох відстанях h та $h+a$ ($a = \text{const}$) амплітуди E_1 і E_2 , наведених в приймальних індукційних перетворювачах (котушках) електрорушійних сил, обчислюють глибину залягання h та амплітуду I_m струму, що протікає в комунікації, за формулами [3].

$$h = a \frac{E_2}{E_1 - E_2},$$

$$I_m = h E_1.$$

За характером зміни величини струму та електричного потенціалу на поверхні ґрунту, обумовленого витіканням в ґрунт струму в місцях пошкодження ізоляції комунікації оцінюють технічний стан останньої та характер корозійних процесів, що у ній протікають [4].

1.2. Інформативні параметри розміщених над комунікаціями електромагнітних маркерів.

Для пошуку і швидкої локалізації функціонально важливих елементів чи відрізків комунікацій, а також для точної прив'язки вздовж осі даних внутрішньо-трубного обстеження чи обстежень з поверхні землі нафто- та газопроводів використовують електромагнітні маркерні системи, що складаються з розміщених в ґрунті над віссю комунікації електромагнітних маркерів у вигляді коливних LC - контурів та пошукових пристроїв для їх виявлення. Пошукові пристрої налаштовані на резонансну частоту маркерів. Після опромінення з поверхні ґрунту електромагнітними імпульсами маркер починає генерувати в паузах між збуджуючими імпульсами зникаючі коливання, які фіксуються приймальним перетворювачем і є інформацією про наявність в ґрунті певного маркера [5].

Інформативними параметрами випромінюваних маркерами коливань є:

- початкова амплітуда E_0 ;
- амплітуди зникаючих коливань E_i ;
- сума амплітуд у відеоімпульсі

$$E_{\Sigma} = E_0 + \sum_{j=1}^m E_j;$$

- характеристики, що визначаються функціями інформативних елементів

$$f(E_0, E_1, \dots, E_n) = E_0^2 + \sum_{j=1}^n E_j^2;$$

- енергетичні характеристики (енергія або потужність відеоімпульса) та ін.

Очевидно, що на зареєстровану приймальним перетворювачем послідовність відеоімпульсів накладаються теж шуми природного і промислового характеру, а також шуми підсилювального тракту індикаторного пристрою. Оскільки зареєстрований сигнал має стохастичний характер, його доцільно представляти дискретними випадковими процесами типу (1).

При вивченні структури сигналів маркерів виявлено, що найбільш завадостійким параметром є сума амплітуд E_{Σ} , що використано при побудові електромагнітної маркерної системи МС-3 [6].

1.3. Інформативні ознаки сигналів акустичної емісії.

Серед широкого спектру методів технічної діагностики зварних трубопроводів є метод акустичної емісії [7], який полягає у випромінюванні в процесі експлуатації трубопроводу пружних хвиль.

Стохастичність сигналів акустичної емісії обумовлена випадковістю появи та розміщення дефектів та наявності в трубопроводі та ґрунті акустичних шумів.

Інформативними елементами сигналу акустичної емісії можуть бути інтервали часу між моментами випромінювання, амплітуда, тривалість відеоімпульсу, його енергія, число коливань і ряд інших.

При представленні акустичного сигналу у вигляді сукупності послідовностей випадкових значень вказаних елементів, тобто процесами типу (1), алгоритм його обробки полягає в тому, що в першу чергу виділяють і формують вказані елементи, а потім здійснюють статистичну обробку сформованих послідовностей.

2. Оцінка інформативних параметрів стохастичних сигналів.

Оцінка інформативних параметрів описаних і подібних до них неперервних та імпульсних стохастичних сигналів, як правило, здійснюється за однією реалізацією, що при дослідженні комунікацій в русі вимагає виконання вимоги локальної стаціонарності дискретних випадкових процесів.

При виконанні умови локальної стаціонарності параметри сигналу оцінюються методами простого (лінійного) або вагового усереднення.

Вагове усереднення на основі рекурентного співвідношення, що описується в загальному випадку неоднорідним різницеvim рівнянням першого порядку [8] одночасно забезпечує

необхідне у багатьох практичних випадках функціональне перетворення оцінок, наприклад піднесення до степеня, ділення, перемноження, логарифмування і т.п. Тому при побудові портативних електромагнітних пошуково-вимірювальних систем часто використовується вагове усереднення, зокрема воно використане в таких розробках Фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України як прилад для пошуку підземних кабелів і трубопроводів та обстеження їх ізоляції ІМК-4 [6] та електромагнітна маркерна система МС-3.

3. Технічні характеристики електромагнітних пошуково-вимірювальних систем.

3.1. Прилад ІМК-4

Забезпечує визначення осі, глибини залягання підземних магістральних нафто-, газо- та продуктопроводів, кабелів зв'язку, електропередач, телекомунікацій, тощо та місць пошкодження їх ізоляції.

Принцип дії приладу заснований на вимірюванні випромінюваних комунікацією електромагнітних полів, а також електричних полів, зумовлених витіканням в ґрунт електричного струму з комунікації в місцях пошкодження її ізоляції.

Визначення координат комунікації в приладі здійснюється за різницею сигналів двох розміщених на одній штанзі магнітоприймачів, що дає йому переваги перед вітчизняними та зарубіжними аналогами за завадостійкістю і точністю визначення осі і глибини при роботі в умовах значного рівня завад від електромережі та промислових об'єктів, а також при наявності поруч з обстежуваною інших комунікацій.

Місця пошкодження ізоляції комунікації визначаються шляхом реєстрації величини електричного потенціалу або градієнта потенціалу на поверхні ґрунту над віссю.

Прилад дозволяє знаходити підземні (підводні) комунікації на глибині до 10 м з похибкою не більше $\pm 5\%$. Передбачена можливість роботи на трьох частотах: 50; 100 і 222 Гц. Діапазон вимірювання постійного або змінного потенціалів від 10 до 2000 мВ.

Частота 222 Гц використовується в складних умовах, коли значна кількість комунікацій сконцентрована поруч або при відсутності в комунікації струмів з частотами 50 або 100 Гц.

В приладі є звукова індикація для пошуку осі і цифрова - для реєстрації глибини та градієнта постійного і змінного потенціалів на поверхні ґрунту.

Живлення приладу здійснюється від одного акумулятора типу 7Д-0,115-VI УН.

Струм живлення - 4,0 мА.

Для роботи на частоті 222 Гц прилад комплектується генератором змінного струму ГС-1 [9].

Основні технічні характеристики генератора:

- потужність не більше 100 ВА;
- частота вихідного сигналу - 100, 222, 300 і 1000 Гц;
- похибка установки частоти - не більше $\pm 5\%$;
- нестабільність частоти - не більше 0,1%;
- діапазон зміни вихідної напруги - від 10 до 60 В з дискретність 10 В.

3.2. Маркерна система МС-3.

Призначена для пошуку трас силових, світлопроводних і телефонних кабелів, їх підземних з'єднань та консерваційних ділянок, розгалужень, приєднань, водопровідних, каналізаційних труб та нафто-, газо- і продуктопроводів, їх трас прокладки, ревізійних люків, переходів під вулицями міст, головних розгалужень, муфт, трійників і т.п.

Принцип дії системи ґрунтується на збудженні маркера імпульсним електромагнітним полем з наступною реєстрацією випромінюваних маркером згасаючих електромагнітних хвиль. Для пошуку осі комунікації маркерна система містить трасошукач, який реєструє горизонтальну складову магнітного поля комунікації. Ефективність і надійність в роботі цієї системи полягає в тім, що в індикаторному пристрої здійснюється подвійна фільтрація інформативного сигналу за допомогою послідовно з'єднаних вузькосмугового підсилювача змінної напруги і перетворювача усереднення за рахунок чого забезпечується суттєве придушення зовнішніх завад та шумів підсилювального тракту.

Технічні характеристики системи МС-3:

- глибина пошуку осі комунікації до 10 м;
- глибина виявлення маркера до 1,2 м при радіусі чутливості на земній поверхні відносно його осі не більше 0,5 м.

ВИСНОВКИ

В доповіді розглянуті вимірювальні сигнали, які випромінюються підземними (підводними) протяжними струмопровідними комунікаціями при протіканні в них змінних електричних струмів, сигналів-відгуків при їх обстеженні за допомогою імпульсних електромагнітних полів, а також сигналів випромінюваної ними акустичної емісії. Показано, що ці сигнали є стохастичними за рахунок адитивних завад природного та промислового характеру і їх доцільно представляти сукупностями дискретних випадкових процесів.

Стохастична модель сигналу дозволяє сформулювати критерії його ефективної обробки, які суттєво підвищують завадостійкість електромагнітних пошуково-вимірювальних систем.

Запропоновано використовувати для оцінки інформативних параметрів вимірювальних сигналів вагове усереднення, що описується неоднорідним різницевим рівнянням першого порядку, яке одночасно забезпечує необхідне функціональне перетворення оцінок.

Підтвердженням ефективності запропонованого підходу є широке практичне використання розроблених в ФМІ ім. Г.В. Карпенка на цій основі електромагнітних пошуково-вимірювальних приладів і систем типу ІМК-1÷ІМК-4 та МС-1÷МС-3.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шимони К. *Теоретическая техника*: Пер. с англ. / Под. ред. проф. К.П.Поливанова. - М.: Мир, 1964. - 773с.
2. Patent 2070783A (GB) INTCL G01R19/00. *Measuring current in a conductor* / M.I.Howell, A.Douglas, S.Charmers - Published 9 Sep. 1981.
3. Григорович К.К., Ягола Г.К. *Методы и средства оценки состояния изоляционных покрытий подземных газопроводов* // Сер. «Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности». - М.: ВНИИОЭНГ, - 1979. - №9. - С.17-20.
4. 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. - Пер. изд., США, 1985. - 456с.
5. Драбич П.П., Зубик Й.Л., Кичма А.А., Стецько И.Г. *Электромагнитные маркеры и устройства для их обнаружения* // Метрология. - М.: Изд-во стандартов. -1998. - №8. - С.23-30.
6. Драбич П.П. *Электромагнітні вимірювальні прилади і системи для дослідження середовища та пошуку і обстеження захованих об'єктів* / Сб. науч. тр. «Системы контроля окружающей среды» - Севастополь: МГИ НАН Украины, 1990. С. 37-41.
7. В.В.Шип, Г.Б.Муравин, В.Ф.Чабуркин. *Вопросы применения метода акустической эмиссии при диагностике сварных трубопроводов* // Дефектоскопия. - 1993. - №8. - С.17-19.
8. *Алгоритмы функционального преобразования и оценки параметров случайных сигналов* // Электронное моделирование. - Киев: Наукова думка. - 1990. - т.12, №4. - С.28-33
9. Патент 10884А (Україна). *Генератор для пошуку і обстеження підземних комунікацій* / П.П.Драбич - Опубл. 25.12. 1996, Бюл.№4.