

ОБРОБКА СИГНАЛІВ, ВИПРОМІНЮВАНИХ ПІДЗЕМНИМИ КОМУНІКАЦІЯМИ ТА ІНШИМИ ОБ'ЄКТАМИ

О.П.Драбич, П.П.Драбич, І.Г.Стецько, І.М.Яворський

Фізико - механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України

Україна, 290601, м.Львів, вул.Наукова, 5

Тел.: (0322) 633-355, Факс: (0322) 649-427

Електронна пошта: drabich@ah.ipm.lviv.ua

Розглянута структура вимірювальних сигналів, випромінюваних підземними інженерними комунікаціями, а також сигналів-відгуків, що виникають при їх зондуванні змінним електромагнітним полем, способи та алгоритми їх статистичної обробки і приклади апаратурної реалізації.

ВСТУП.

Неперервно зростаюча мережа різноманітних підземних комунікацій вимагає створення ефективних методів і засобів визначення їх координат і технічного стану, а також оперативного виявлення їх функціонально важливих елементів.

Для вирішення цієї задачі широке практичне застосування знаходять електромагнітні методи, які ґрунтуються на визначенні параметрів випромінюваних обстежуваними комунікаціями електромагнітних хвиль при протіканні в них робочих струмів. Так, наприклад, діючі кабелі електропередач випромінюють змінні електромагнітні коливання з частотою 50 (60) Гц, а магістральні нафто-, газо- і продуктопроводи - поле з частотою 100 (120) Гц, обумовлене протіканням в них струму катодного захисту. При відсутності в комунікаціях робочих струмів електромагнітне поле може збуджуватись під'єднанням до них спеціальних генераторів електричних сигналів або безконтактним індуктивним методом.

1. СТРУКТУРА

ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

При проведенні досліджень на приймальний перетворювач (ПП) одночасно з інформативним

сигналом діють поля-завади, які обумовлюють його стохастичну структуру. Ці завади діляться на промислові, природні і флуктуаційні.

Промислові завади - це завади від промислових електромереж і потужних електроустановок і завади від телекомунікацій і радіостанцій. Завади від електромереж і електроустановок мають частоту промислової електромережі та її гармонік. Електроустановки випромінюють також імпульсні завади з середньою частотою (інтенсивністю) від 1 до 10 кГц [1]. Частота завад від радіостанцій і телекомунікацій значно вища.

Основними джерелами природних завад є блискавичні розряди і електромагнітні бурі, які мають імпульсний характер і високу потужність при відносно низькій частоті надходження. Максимум їх спектральної густини розміщений в області частот 5 - 7 кГц з швидким зниканням до частоти 1,5 кГц і повільнішим зниканням в високочастотній області (10-15 кГц) [2]. В смузі частот від 40 Гц до 1,5 кГц потужність атмосферних завад залишається практично постійною. На частотах в діапазоні 8 - 40 кГц спостерігається різке підсилення поля атмосферних завад у хвилеводі Земля - атмосфера. Узагальнення результатів експериментальних досліджень частотної характеристики електромагнітного поля атмосферних завад викладене в [2,3].

Джерелами флуктуаційних завад є елементи перших каскадів ПП, тобто вони не є результатом дії зовнішніх електромагнітних полів, а характеризуються вибраною при побудові підсилювального тракту елементною базою. Частотний спектр цих завад є досить широкий.

Таким чином індуковані в ПП регулярні і випадкові завади мають неперервний і імпульсний

характер. Як показано в [4] неперервні випадкові завади з достатньою точністю описуються гаусовським законом розподілу, а імпульсні - законом Пуасона.

2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

Оскільки вимірювальні сигнали є стохастичними, то їх інформативні параметри оцінюються статистичними методами.

Для задач статистичної обробки сигнал зручно представити сукупністю процесів типу

$$\{\xi_i\}, \dots, \{\zeta_i\}, i \in Z, \quad (1)$$

де ξ_i, \dots, ζ_i - i -ті значення інформативних елементів сигналу $Z = 0, 1, 2, 3, \dots$. В якості ξ_i, \dots, ζ_i можуть виступати послідовності амплітудних, часових або інтегральних значень сигналу.

При дослідженні об'єктів і матеріалів з допомогою імпульсних акустичних випромінювань або за сигналами акустичної емісії інформативними елементами є інтервали часу між моментами випромінювання і надходження відеосигналу на ПП, тривалість відеосигналу, енергія, число випромінювань, тощо.

При реалізації імпульсних електромагнітних методів інформативними елементами є значення i -го зникаючого імпульсу в заданий момент часу, швидкість зникання і тривалість.

При зондуванні об'єктів і середовищ неперервними акустичними або електромагнітними полями інформативними елементами є амплітуда і фаза.

При представленні вимірювальних сигналів випадковими процесами (1) очевидний алгоритм визначення їх інформативних параметрів, який полягає в тому, що спочатку з сигналу за допомогою заводстійких селекторів виділяють його інформативні складові, а потім здійснюють їх статистичну обробку. Методика виділення інформативних складових вимірювального сигналу при імпульсному електромагнітному зондуванні на фоні адитивних регулярних і імпульсних завод викладена в [5].

3. ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

Оцінка інформативних параметрів вимірювальних сигналів в більшості випадків здійснюється простим усередненням за однією реалізацією, що, при дослідженні об'єктів в процесі навантаження або руху, вимагає виконання умови локальної стаціонарності випадкового процесу (1). Для локально стаціонарного процесу зміна з часом математичного сподівання і кореляційної функції

$$R(t, \tau) = E \left[\dot{\xi}(t) \dot{\xi}(t + \tau) \right], \quad \dot{\xi}(t) = \xi(t) - m(t) \quad \epsilon$$

набагато повільнішим ніж зміна кореляційної функції за зсувом τ . В цьому випадку непарна частина кореляційної функції

$$R^H(t, \tau) = \frac{1}{2} [R(t, \tau) - R(t, -\tau)] = \\ = \frac{1}{2} [R(t, \tau) - R(t - \tau, \tau)] \approx 0$$

Тоді кореляційна функція $R(t, \tau)$ є парною функцією зсуву $R(t, \tau) = R(t, -\tau)$ і для всіх t має всі власні кореляційні функції стаціонарного випадкового процесу.

Якщо ставиться задача оцінювання S -го моменту процесу (1), то умова локальної стаціонарності може бути записана в наступному вигляді

$$|m_i^S - m_j^S| < \epsilon, \quad i, j \in (r, r + M) \subset Z,$$

де m_i^S і m_j^S - оцінки S -х моментів величин ξ_i, ξ_j , одержані усередненням по статистичному ансамблю реалізації, ϵ - допустима похибка вимірювання, $(r, r + M)$ - окіл локальної стаціонарності.

При виконанні умов локальної стаціонарності характеристики сигналу оцінюються методом усереднення.

Сформовані в такий спосіб оцінки математичного сподівання параметрів дискретного процесу, їх дисперсії і кореляційних функцій мають вигляд:

$$\hat{m}_i = \frac{1}{2M} \sum_{j=i-M}^{i+M} \xi_j,$$

$$\hat{D}_i = \frac{1}{2M} \sum_{j=i-M}^{i+M} (\xi_j - \hat{m}_i)^2,$$

$$\hat{R}(i, l) = \frac{1}{2M} \sum_{j=i-M}^{i+M} (\xi_{j+l} - \hat{m}_i)(\xi_j - \hat{m}_i),$$

де l - зсув.

За рахунок нестационарності сигналу з ростом довжини відрізка реалізації збільшується зміщення оцінок параметрів процесу. Одночасно зменшується їх дисперсія. Остання буде тим меншою, чим швидше згасають кореляції з ростом зсуву, тобто чим більше інтервалів кореляції вкладаються в довжину $2M$. Конкретні числові значення показників якості оцінювання характеристик можуть бути обчислені за допомогою тих самих формул, що і для стаціонарних випадкових процесів [6]. Величина оцінки теж може бути обчислена теоретично при заданні часових залежностей характеристик. На цій підставі може бути вибраний оптимальний інтервал усереднення $2M$, що мінімізує загальну похибку статистичної обробки. Якщо априорі не відома структура сигналу і теоретичні дослідження неможливі, то інтервал усереднення вибирають у процесі самої обробки, виходячи із заданої точності й одержаних результатів.

Просте усереднення можна реалізувати методом лінійного накопичення, ковзного середнього або вагового усереднення. При реалізації вагового усереднення похибка оцінки зростає приблизно на 20%. Але вагове усереднення на основі рекурентних співвідношень у вигляді нелінійних неоднорідних різницевих рівнянь першого порядку (ННРРП) одночасно з усередненням забезпечує необхідне в багатьох практичних випадках функціональне перетворення оцінок. Аналіз динамічних і статистичних властивостей ННРРП приведений в [7], а приклади їх технічної реалізації наведені в [8-11].

4.3 АСТОСУВАННЯ СИНТЕЗОВАНИХ НА ОСНОВІ РЕКУРЕНТНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Синтезовані на основі ННРРП обчислювальні перетворювачі знайшли застосування в таких розробках ФМІ ім.Г.В.Карпенка НАН України, як портативна апаратура для дослідження верхньої частини розрізу Землі ПРС-2М [12], серії приладів для визначення координат та місць пошкодження ізоляції струмопровідних комунікацій

ІМК-1 + ІМК-4 [13], а також в електромагнітній маркерній системі МС-2, для виявлення закопаних в ґрунт над функціонально важливими вузлами комунікацій електромагнітних маркерів у вигляді резонансних LC-контурів.

Маркерна система МС-2 складається з генераторно - приймальної індуктивної рамки (ГППР) і індикаторного пристрою, що містить генератор імпульсів струму, вузькосмуговий підсилювач, усереднюючий перетворювач та звуковий індикатор.

При протіканні в ГППР імпульсів струму з виходу генератора остання випромінює в ґрунт імпульси електромагнітного поля і в маркері в паузах між імпульсами виникають затухаючі електромагнітні коливання. Магнітна складова цих коливань реєструється ГППР і, через вузькосмуговий підсилювач, надходить на вхід усереднюючого перетворювача, алгоритм роботи якого описується різницевою рівнянням

$$\Delta U_i = k_1 \xi_i - k_2 U(i), \quad (2)$$

де: ΔU_i - зміна вихідної напруги $U(i)$ усереднюючого перетворювача після дії i -го зондуючого імпульсу, k_1 і k_2 - постійні

коефіцієнти, $\xi_i = \sum_{j=1}^{N_0} \xi_{ji}$, $N_0 = T_0 f_0$, T_0 -

тривалість вірізки сигналу, яка вибирається із умови, щоб співвідношення інформативного сигналу на виході вузькосмугового підсилювача до шумової складової, обумовленої зовнішніми завадами і власними шумами приймально - підсилювального тракту, було більше 1, f_0 - резонансна частота маркера, ξ_{ji} - j -е амплітудне значення i -го відеоімпульсу в t_{ji} -й момент часу, причому з врахуванням адитивної завади $\eta(t)$

$$\xi_{ji} = \xi_0 \exp(-\alpha t_{ji}) + \eta(t_{ji}),$$

ξ_0 - максимальне (при $j=1$) амплітудне значення i -го відеоімпульсу. Так як ξ_{ji} за рахунок $\eta(t)$ приймає випадкові значення, то послідовність $\{\xi_i\}$ є випадковим процесом.

Розв'язок (3) при $U(0) = U_0$ має вигляд:

$$\bar{U}(i) = k_0 \bar{\xi} [1 - W(i)] + U_0 W(i),$$

де: $k_0 = k_1 / k_2 = const$, $W(i) = (1 + k_2)^{-i}$ - вагова функція.

При $i \rightarrow \infty$ $W(i) \rightarrow 0$, а $U(\infty) = k_0 \bar{\xi}$,

тобто $U(\infty)$ лінійно залежить від середнього значення $\bar{\xi}$ суми амплітуд ξ_i і при фіксованій відстані h між ГППР і маркером.

Напруга $\bar{U}(\infty)$ неперервно реєструється звуковим індикатором. При відсутності маркера $U(\infty) = 0$.

В даному пристрої здійснюється подвійна фільтрація інформативного сигналу з допомогою вузькосмугового підсилювача й усереднюючого перетворювача, за рахунок якого забезпечується задана глибинність і надійність виявлення маркерів.

Даний пристрій може бути використаний для пошуку будь-яких захованих у воді або ґрунті на глибині до 1,5 м об'єктів і матеріалів, якщо вони позначені електромагнітними маркерами з відомою шукачу резонансною частотою.

Маркерна система МС-2 має наступні характеристики:

- глибина виявлення маркера до 1,5 м при радіусі чутливості на поверхні ґрунту відносно осі маркера до 0,5 м;
- похибка визначення осі маркера не більше $\pm 0,05$ м;
- індикація виявлення - звукова;
- маса маркера - 0,1 кг;
- маса індикаторного пристрою - 1,8 кг;
- живлення індикаторного пристрою від 14 акумуляторів типу SAFT VHAA - 1,2 V - 1200 mAh;
- час неперервної роботи не менше 8 годин.

ВИСНОВКИ.

Використання математичної моделі вимірвальних сигналів при електромагнітних дослідженнях об'єктів, середовищ і матеріалів у вигляді сукупності дискретних процесів дозволяє створювати прості пристрої для обчислення і функціонального перетворення оцінок параметрів дискретних процесів, які особливо доцільно використовувати в портативних інформаційно-вимірвальних системах. Прикладом їх ефективного використання можуть бути створені в ФМІ НАН України геоелектророзвідувальна апаратура ПРС-2М, пошукова система ІМК-4 та маркерна система МС-2, які знайшли ефективне використання у наукових та виробничих організаціях України і за кордоном.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Певницький В.П., Француз А.Т. *О статических распределениях амплитуд импульсов радиопомех, создаваемых электроустановками / Электросвязь* - 1958. - №9. - С. 203 - 215.
2. Кашпировский В.Е. *Грозы как источник волн сверхнизких частот в геоэлектроразведке // Теория и элементы систем отбора геофизической информации.* - Киев: Наукова думка, 1965. - 212 с.
3. Альперт А.Л., Гусева Э.Г., Флигель Д.С. *Распространение низкочастотных электромагнитных волн в волноводе Земля - ионосфера.* - М.: Наука, 1967. - 182 с.
4. Бахмутский В.Ф., Мизюк Л.Я. *К исследованию помехоустойчивости низкочастотной индукционной электроразведки // Отбор и передача информации.* - Киев: Наукова думка, 1968, №17, - С. 24-28.
5. Драбич П.П. *Повышение точности оценки параметров импульсных стохастических сигналов / Измерительная техника* - М.: Изд-во стандартов. №1, 1996, С. 37 - 40.
6. В.С.Пугачев. *Теория вероятностей и математическая статистика.* - М.: Наука. - 1979. - 496 с.
7. Драбич П.П. *Алгоритмы функционального преобразования и оценки параметров случайных сигналов / Электронное моделирование.* - Киев: Наукова думка, т.12, №4, 1990, С. 28-34.
8. А.с.1552110 (СССР). *Импульсный усредняющий вольтметр / П.П.Драбич* - Оpubл. 1990, Бюл. №11.
9. А.с.1580270 (СССР). *Цифровой стохастический измеритель отношения случайных напряжений / П.П.Драбич* - Оpubл. 1990, Бюл. №27.
10. А.с.1580270 (СССР). *Преобразователь случайных импульсов / П.П.Драбич* - Оpubл. 1991, Бюл. №38.
11. А.с.1580270 (СССР). *Стохастическое множительно - делительное устройство / П.П.Драбич* - Оpubл. 1993, Бюл. №30.
12. Пат. 10564А (Україна). *Спосіб геоелектророзвідки і пристрій для його здійснення / П.П.Драбич, А.Л.Петровський, В.І.Шамотко, І.М.Яворський* - Оpubл. 1996, Бюл.№4.
13. Пат. 15042А (Україна). *Глибиномір / О.А.Вакульський, П.П.Драбич, В.Г.Дума* - Оpubл. 1997, Бюл.№3