

З рис. 3 видно, що урахування автокореляційних властивостей комплексної обвідної зондуючих сигналів призводить до значного підвищення ступеня їх розрізнення. При різних комбінаціях форм амплітудної та кутової флукуаційних складових може досягатись різний вигравш за розрізненням, навіть при сталих величинах їх амплітуд, а відповідно його величина в різних періодах зондування буде різною, що вимагає застосування статистичних методів для її оцінки.

Висновок

Таким чином, розроблений метод дає змогу без внесення змін в передавач і більш того без попереднього синтезу узгодженого алгоритму в кожному періоді зондування (на відміну від методу наведеного в роботах [1, 2]) досягати значного підвищення ступеня розрізнення ехо-сигналів, а відповідно і роздільної здатності радіолокаційних засобів активного та напівактивного типу. Проте, через виключення з кореляційної функції складової $B(0)$, у випадку прийому одного ехо-сигналу, на виході перемножувача він скомпенсується, відповідно даний метод не може бути використаний самостійно, а тільки як допоміжний засіб до основного алгоритму виявлення та розрізнення.

Література

1. Вамберский М. В. Передающие устройства СВЧ: [учебное пособие для радиотехнических спец. вузов] / Вамберский М. В., Казанцев В. И., Шелухин С. А.; под ред. М. В. Вамберского – М.: Высш. шк., 1984. – 448 с.
2. Чесановський І. І. Обробка радіолокаційних сигналів з урахуванням внутрішньоімпульсних фазочастотних нестабільностей / О. М. Шинкарук, І. І. Чесановський // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2009. – Вип. № 17. – С. 89–92.
3. Чесановський І. І. Трансформування функції невизначеності радіосигналів з урахуванням внутрішньоімпульсної фазочастотної нестабільності / І. І. Чесановський // Зб. наук. пр. Нац. акад. Держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького. – Хмельницький: НАДПСУ, 2009. – № 50. – С. 58–62.
4. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: [учебник] / Баскаков С. И. – М.: Высш. школа, 1983. – 536 с.
5. Справочник по радиолокации / [под ред. М. Скольника]. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.

Надійшла 19.9.2010 р.

УДК 621.391.26

О.М. ШИНКАРУК

Хмельницький національний університет

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГОТОВНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У НЕОДНОРІДНИХ ПРОЦЕСАХ

В даній статті розглянуто процедуру перетворення системи диференціальних рівнянь в кінцеві аналітичні функції, що представляють собою моделі готовності радіотехнічних систем у неоднорідних процесах. При цьому показано схему підходу до рішення систем диференціальних рівнянь при використанні нормувальної умови та їх часткового розв'язку при формуванні загального розв'язку лінійного неоднорідного рівняння зі сталими коефіцієнтами

In this article procedure of transformation of the system of differential equalizations is considered in eventual analytical functions which are models of readiness of the radio engineerings systems in heterogeneous processes. The chart of going is thus rotined near the decision of the systems of differential equalizations at the use of condition and them partial decision at forming of general decision of linear heterogeneous equalization with permanent coefficients.

Ключові слова: готовність радіотехнічних систем, неоднорідні процеси, марківська модель, функція готовності, нестационарні ймовірності станів.

Вступ та постановка завдання

Однією з задач теорії та практики експлуатації радіотехнічних систем є виявлення характерних тенденцій процесу зміни їх технічного стану з метою реалізації адаптивних профілактико-відновлювальних заходів, оцінки реального остаточного ресурсу, уповільнення швидкості протікання деградаційних процесів і т.д.. Як правило, будь-яка радіотехнічна система вважається структурно-однорідним об'єктом, і тому в якості методичного апарату побудови математичних моделей готовності може бути використана марківська модель [1, 2] з двома можливими станами, що для загального випадку представлена на рис. 1.

Для технічної системи, граф станів якої представлений на рис.1, функція готовності має наступний вигляд [3, 4]:

$$S(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \right). \quad (1)$$

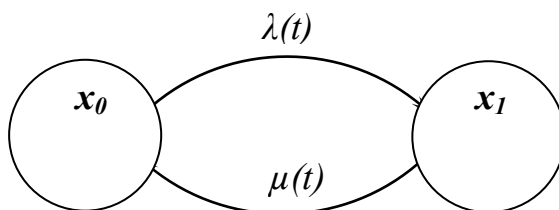


Рис. 1. Граф станів радіотехнічної системи з двома можливими станами

Подібний опис процесу зміни технічного стану радіотехнічних систем є досить узагальненим і не завжди виявляється прийнятним на практиці, що обумовлює необхідність узагальнення подібної моделі на кінцеве число (групу) станів, які пов'язані з відмовами структурних елементів. Потреба в такому узагальненні має місце в двох випадках:

а) коли об'єкт розглядається як система фізично неоднорідних структурних елементів (блоків, вузлів) кожний з яких безумовно необхідний для безвідмовної роботи об'єкта і характеризується індивідуальними показниками λ_i (інтенсивності відмови i -го структурного елемента) і μ_i (інтенсивності відновлення i -го структурного елемента), відмінними від інших елементів;

б) коли об'єкт розглядається як фізично однорідний елемент, але характеризується різними інтенсивностями відмов за видами ремонту (поточний, середній, капітальний) і відповідно різними інтенсивностями відновлення. При цьому процес, що досліджується, може розглядатись як неоднорідний за часом (нестационарний), так і однорідний.

Прикладом першого випадку можуть розглядатись безвідмовні стани блоків і вузлів радіотехнічної системи, прикладом другого випадку можуть розглядатись непрацездатні стани автомобіля, відновлення в результаті виникнення яких можливе шляхом виконання поточного, середнього або капітального ремонтів [5].

Основні результати дослідження

Якщо радіотехнічна система характеризується, окрім працездатного стану n -ю кількістю станів, що переводять її у непрацездатний стан, то отримаємо так званий зоряний граф процесу з $(n+1)$ -и вершинами і $2n$ дугами, що представлений на рис. 2.

Процес, що в графічному вигляді представлений на рис. 2 слід розглядати рівнозначним (рівноймовірним) за станами, що обумовлюють відмову об'єкта. За даним графом ймовірності відповідних станів визначаються з використанням наступної системи диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -n\lambda p_0(t) + \mu \sum_{i=1}^n p_i(t); \\ \frac{dp_i(t)}{dt} &= \lambda p_0(t) - \mu p_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

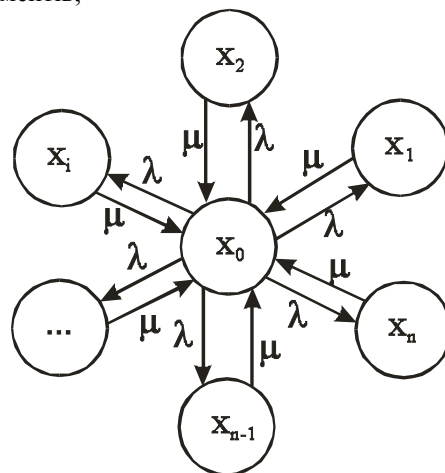
З урахуванням умови нормування $p_0(t) + \sum_{i=1}^n p_i(t) = 1$, вираз (2) прийме наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -(n\lambda + \mu)p_0(t) + \mu; \\ \frac{dp_i(t)}{dt} &= \lambda p_0(t) - \mu p_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Диференціальне рівняння функції готовності $p_0(t)$ у системі (3) – це лінійне неоднорідне рівняння 1-го порядку. Воно інтегрується одним з методів, які викладені у теорії диференціальних рівнянь: підстановкою, варіацією довільної сталой, застосуванням властивостей розв'язків [6 та ін.]. Оскільки рівняння (3) отримано зі сталим коефіцієнтом при $p_0(t)$, то в даній статті представлено специфічний спосіб вирішення таких рівнянь, сутність якого наочно демонструється у випадку розв'язання рівняння функції готовності 2-го і вищих порядків. З цією метою перше рівняння з виразу (3) перетворимо до наступного вигляду:

$$\frac{dp_0(t)}{dt} + (n\lambda + \mu)p_0(t) = \mu. \quad (4)$$

Тоді рівняння наступного вигляду:

Рис. 2. Граф процесу з одним працездатним і n рівнозначними станами, що обумовлюють відмову об'єкта

$$\frac{dp_0(t)}{dt} + (n\lambda + \mu)p_0(t) = 0, \quad (5)$$

права частина якого дорівнює нулю, представляє собою однорідне лінійне рівняння. Для однорідного рівняння (5) алгебраїчне рівняння:

$$k + n\lambda + \mu = 0 \quad (6)$$

представляє собою характеристичне рівняння, ступінь якого визначається порядком однорідного лінійного диференційного рівняння. У даному випадку вираз (5) має перший порядок, тому вираз (6) є виразом першого ступеня.

При складанні характеристичного рівняння для лінійного однорідного диференційного рівняння зі сталими коефіцієнтами потрібно користуватися простим правилом: похідна n -го порядку замінюється змінною k у n -му ступені, а функція – одиницею. Наприклад, якщо:

$$\frac{d^3 p_0(t)}{dt} + a_1 \frac{d^2 p_0(t)}{dt} + a_2 \frac{dp_0(t)}{dt} + a_3 p_0(t) = 0,$$

то характеристичне рівняння матиме вигляд:

$$k^3 + a_1 k^2 + a_2 k + a_3 = 0.$$

Загальний розв'язок однорідного лінійного диференційного рівняння зі сталими коефіцієнтами залежить від числа коренів характеристичного рівняння, їхнього виду (дійсні чи комплексні) і кратності. Рівняння (6) має один дійсний корінь $k = -(n\lambda + \mu)$, тому його загальним розв'язком є функція:

$$p_0(t)_{одн} = C e^{-(n\lambda + \mu)t}, \quad (7)$$

де C – довільна стала (параметр інтегрування).

При цьому слід звернути особливу увагу, що вираз (7) – це тільки рішення рівняння (5), але не розв'язок вихідного рівняння (4). Структурна формула загального розв'язку неоднорідного лінійного рівняння з сталими коефіцієнтами (4) виражається рівністю:

$$p_0(t) = p_0(t)_{одн} + p_0(t)_{част.}, \quad (8)$$

де $p_0(t)_{част.}$ – будь-який частковий розв'язок рівняння (4).

Для конкретного рівняння (4) такий частковим розв'язком є функція:

$$p_0(t)_{част.} = const = \frac{\mu}{n\lambda + \mu}, \quad (9)$$

яка перетворює рівняння (4) у тотожність:

$$p_0(t) = C e^{-(n\lambda + \mu)t} + \frac{\mu}{n\lambda + \mu}, \quad (10)$$

що є загальним розв'язком диференційного рівняння функції готовності (4).

На декартовій площині Op_0t однопараметричною (C -параметр) функцією (10) визначається незліченна множина інтегральних кривих рівняння (4), якими є характерні тенденції готовності об'єкта, що зміщені паралельно одна відносно іншої вздовж осі ординат. В силу умов $t \geq 0$, $0 \leq p_0(t) \leq 1$ ці характерні тенденції суцільно заповнюють частину площини в першій координатній чверті, яка обмежена ліворуч і знизу координатними осями, зверху прямою $p_0(t)=1$, що паралельна осі Ot , і необмежена праворуч. Для того, щоб на цій множині зробити однозначний вибір, потрібно задати початкову умову процесу – точку на площині Op_0t , через яку умовно має проходити інтегральна крива рівняння (4). У задачах надійності, зазвичай, використовують умову $p_0(0)=1$, з урахуванням якої та використовуючи вираз (10) визначимо:

$$c = \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu},$$

що дозволяє представити в аналітичному вигляді функцію готовності СТС в процесі, що розглядається за заданої початкової умови:

$$p_0(t) = \frac{\mu}{n\lambda + \mu} + \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu} e^{-(n\lambda + \mu)t}. \quad (11)$$

Підставимо вираз (11) у друге рівняння системи (3) і виконаємо його інтегрування за початковою умовою $p_i(0)=0$, що забезпечує отримання наступного розв'язку:

$$p_i(t) = \frac{\lambda}{n\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{n\lambda + \mu} e^{-(n\lambda + \mu)t}. \quad (12)$$

З виразів (11), (12) отримуються коефіцієнт готовності та інші фінальні ймовірності станів, що обумовлюють відмову технічного об'єкту:

$$p_0(t) = \frac{\mu}{n\lambda + \mu}, \quad p_i = \dots = p_n = \frac{\lambda}{n\lambda + \mu} \quad (13)$$

Сумою ймовірностей (12) і фінальних ймовірностей p_i характеризується нестационарна функція простою об'єкта і стаціонарний коефіцієнт простою:

$$\left. \begin{aligned} \bar{p}_0(t) &= \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu} - \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu} e^{-(n\lambda + \mu)t}, \\ \bar{p}_0(t) &= \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

В даній статті розглянуто процедуру перетворення системи диференційних рівнянь (2) в кінцеві аналітичні функції (11), (12), що представляють собою моделі готовності технічних систем у неоднорідних процесах. При цьому показано схему підходу до розв'язку систем такого ж типу надалі, коли, по-перше, використовується нормувальна умова: $\sum_{i=1}^n p_i(t) = 1$ і, по-друге, використовується частковий розв'язок (9) при формуванні загального розв'язку лінійного неоднорідного рівняння з сталими коефіцієнтами. Зрозуміло, для рівнянь порядку $n \geq 2$ це виходить не настільки очевидно і швидко, але принцип залишається тим же, що показано вище.

Висновки.

Процеси, що протікають в радіотехнічних системах відповідно графу, який представлено на рис. 2, вважаються неоднорідними за часом і станами, що обумовлює збільшення ймовірності відмови всієї системи. Такі процеси слід описувати системою лінійних рівнянь виду (2). Відмінною рисою таких процесів від інших процесів марківського типу є те, що перше рівняння системи містить усі шукані функції $p_i(t)$, $i = 0, n$, а кожне наступне рівняння обов'язкове містить функцію $p_0(t)$ і тільки власну функцію $p_i(t)$, $i \neq 0$. Геометрично ця особливість виражається графіком, який представлений на рис. 2, всі n вершин якого з'єднуються транзитивними (зустрічними) дугами тільки з однією початковою вершиною.

Якщо в системі (2) $\lambda_i(t) = \text{const} = \lambda_i$, $\mu_i(t) = \text{const} = \mu_i$, то процес розглядається як однорідний за часом (стаціонарний) і неоднорідний за станами, що обумовлюють відмову всього технічного об'єкта. При цьому можна знехтувати, чим обумовлена неоднорідність за відмовами: структурною відмінністю елементів об'єкту (і прихованим видом наступного ремонту) чи відмінністю видів ремонту (і прихованою структурною неоднорідністю об'єкта).

На системах виду (2) з числом станів, що обумовлюють відмову об'єкта ($n \geq 2$), потрібно розглядати винятково однорідні за часом і неоднорідні за безвідмовним станом процеси. При цьому акцент зроблений на розробку моделей готовності для нестационарного режиму функціонування виробу. Необхідність у таких моделях пояснюється тим, що значення тільки лише фінальних (при $t \rightarrow \infty$) ймовірностей не рідко виявляються недостатньо інформативними для визначення рівня безвідмовності та довговічності радіотехнічних систем.

Для стаціонарного процесу, неоднорідного за станами, що обумовлюють відмову радіотехнічної системи, задача визначення рівня безвідмовності та довговічності може бути розв'язана застосуванням загального методу інтегрування [7, с.192]. Однак, ілюстрація цього методу в наявній спеціальній літературі на канонічних прикладах істотно далека від реального обсягу неминучих громіздких перетворень і обчислень, які пов'язані з розв'язком задачі вже при $n \geq 2$. Деяких спрощень можна домогтися за рахунок представленої вище нормувальної умови, і це використано в отриманих формулах.

Зазначена вище специфіка рівнянь системи (2) і комбінаторний підхід до розрахунку коефіцієнтів характеристичного рівняння для лінійного диференційного рівняння n -го порядку функції готовності $p_0(t)$ дозволяють значно спростити методіку розрахунку нестационарних ймовірностей станів однорідного за часом процесу для будь-якої кінцевої кількості станів, що збільшують ймовірність відмов радіотехнічних систем.

Література

1. Корольок В. С. Полумарковские процессы и их приложения / В. С. Корольок, А. Ф. Турбин. – К. : Наукова думка, 1976. – 184 с.
2. Корольок В. С. Полумарковские случайные эволюции / В. С. Корольок, А. В. Свищук – К. : Наукова думка, 1992. – 256 с.
3. Шинкарук О. М. Функція готовності відновлювального виробу на моделі лінійно-нестационарного марківського процесу / О. М. Шинкарук, І. В. Гашук, М. М. Каленик // Збірник наукових праць. – Хмельницький : Видавництво Національної академії ПВУ, 2002. – № 20. Ч. II. – С. 62–65.
4. Готовність технічних систем у неоднорідних процесах : [навч. посібник]. – Хмельницький : Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України ім.Б.Хмельницького, 2005. –

5. Шинкарук О. М. Методичні підходи щодо побудови статистико-ймовірнісних моделей безвідмовності та довговічності автомобільної техніки / О. М. Шинкарук, В. А. Карякін, М. М. Каленик // Збірник наукових праць. – Хмельницький : Вид-во Національної академії ПВУ, 2002. – № 21. Ч. II. – С. 80–87.

6. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера. / Сигорский В. П. – К. : Техніка, 1975. – 768 с.

7. Коваленко И. Н. Методы расчета высоконадежных систем / И. Н. Коваленко, Н. Ю. Кузнецов – М. : Радио и связь, 1988. – 176 с.

Надійшла 13.9.2010 р.

УДК 621.396.96

Ю.О. БАБІЙ

Хмельницький національний університет

МЕТОД АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ В ЗАДАЧАХ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЦІЛЕЙ

В статті представлено метод формування радіолокаційних портретів цілей при розв'язанні задач ідентифікації об'єктів радіолокаційного спостереження на основі використання алгоритмів адаптивної фільтрації. На прикладі реалізації адаптивного фільтру на основі методу найменших квадратів показано, що практична реалізація методу є можливою навіть незважаючи на обмежені інтервали часу для адаптації.

In the article the method of forming of radiolocation portraits of aims is presented at the decision of tasks of authentication of objects of radiolocation supervision on the basis of the use algorithms of adaptive filtration. On the example of realization of adaptive filter on bases of least-squares method it is rotined that practical realization of method is possible even not because of limitation time domains for adaptation.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, радіолокаційний портрет, ідентифікація, адаптивний фільтр, системна функція.

Вступ

Адаптивні фільтри на сьогоднішній день знайшли застосування в багатьох галузях радіотехнічних і телекомунікаційних систем [1]. Проте, всі способи застосування адаптивних фільтрів, в будь-якому випадку, зводяться до розв'язання задачі ідентифікації, тобто визначення характеристик певної системи. При розв'язанні задач активної радіолокації в якості такої системи цілком можна розглядати об'єкт радіолокаційного спостереження, оскільки він, як і будь-яка інша система, вносить у віддзеркалений сигнал інформацію про геометричну форму своєї поверхні, траєкторію та швидкість руху і т.д. При цьому вся ця інформація закладається у вигляді різних фазових, частотних та амплітудних трансформацій ехо-сигналу. А отже, визначивши під час накопичення та обробки ехо-сигналів форму їх амплітудних, частотних та фазових змін по відношенню до зондуючих сигналів, стає можливим розв'язання задачі ідентифікації цілей в процесі радіолокаційного спостереження.

Основна частина

На основі майже всіх методів радіолокаційної ідентифікації можливе застосування складних зондуючих сигналів з оптимізованими кореляційними властивостями, що необхідні для формування чітких радіолокаційних портретів цілей (РЛПЦ). Так, широке розповсюдження для отримання РЛПЦ знайшли частотно-модульовані (ЛЧМ) зондуючі сигнали [2, 4]. Техніка їх генерації і стиснення на сьогоднішній день дозволяє досягати значень девіації частоти сигналу в сантиметровому діапазоні електромагнітних хвиль порядку 1 ГГц, забезпечуючи при цьому роздільну здатність по дальності на рівні десятиків сантиметрів. Дальні портрети отримують також з використанням сигналів частотною маніпуляцією зі ступінчастим законом зміни частоти, при цьому парціальні імпульси можуть бути зімкнутими або розімкненими в часі. В останньому випадку обробка сигналу спрощується і включає оптимальну обробку одиночних гладких імпульсів на різних частотах зондування, а РЛПЦ отримують шляхом зворотного перетворення Фур'є відліків з квадратурних виходів фазового детектора (ФД) в цифровому вигляді [4]. Всі ці методи, як видно з основних підходів їх реалізації, базуються на підвищенні «контрастності» зондуючого сигналу (збільшення роздільної здатності) з метою деталізації геометричної форми об'єктів спостереження. Хоча можливо розв'язати цю задачу й іншим шляхом, визначивши фазочастотні властивості поверхні об'єкту, шляхом аналізу фазових та амплітудних спотворень зондуючого сигналу на різних частотах. Для цього доцільно застосувати алгоритми адаптивної фільтрації в поєднанні з методом обробки радіолокаційних сигналів, наведеним в роботах [2, 3], який дає змогу з достатньою точністю встановлювати фазочастотні характеристики зондуючих сигналів, безпосередньо в кожному періоді зондування. Відповідно, задача отримання РЛПЦ на основі адаптивного фільтру в кожному періоді зондування зводиться до адаптації фільтру в момент прийому (встановлення факту наявності ехо-сигналу) до форми отриманого сигналу і подальшого аналізу отриманої помилки (відхилення ехо- і зондуючого сигналів), яка представляє собою перехідну характеристику адаптивного фільтру після адаптації. Проте, слід зазначити, що для кожної цілі в одному періоді зондування повинен формуватись свій окремий алгоритм адаптивної фільтрації, а отже структура (алгоритм роботи) радіолокаційної станції РЛС повинна бути також адаптивною в межах