ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ РАДІОЗВ`ЯЗКУ, РАДІОЛОКАЦІЇ, РАДІОНАВІГАЦІЇ

УДК 681.324.004.28

НОРМАТИВНИЙ ПРОГНОЗ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В СИСТЕМАХ З ВТРАТАМИ ІНФОРМАЦІЇ

Бичковський В.О., Реутська Ю.Ю.

Вступ. Постановка задачі

Однією із фундаментальних проблем загальної теорії складних систем є з'ясування основних законів, що визначають принципи їх утворення, поведінки та розвитку [1]. Узагальненою особливістю більшості систем є неможливість виконання поставленої задачі без інформаційного обміну з оточуючим середовищем (іншими системами). При прогнозуванні поведінки таких систем необхідно мати адекватні прогнозуючі моделі, які враховують фактор прямого та зворотнього інформаційного обміну між системою та середовищем. Методика нормативного прогнозу поведінки системи без врахування втрат інформації відома [2]. Вона дає можливість виконувати прогноз по заданій прогнозній функції в ідеальних умовах, в умовах незначних втрат інформації та при змінах характеру зв'язків між системою та середовищем (коли втрати інформації несуттєві).

Реальна ситуація може складатися таким чином, що ігнорувати втратами інформації неможливо в принципі. В такому випадку необхідно прийняти до уваги, що система має у розпорядженні інформацію $I_1(t)$, що дає можливість здійснювати обмін з середовищем. Середовище має у розпорядженні інформацію $I_2(t)$, що дає можливість здійснювати обмін з системою. При цьому K_1- інтенсивність впливу системи на середовище, K_2- інтенсивність впливу середовища на систему. Втрати інформації враховуються коефіцієнтами інтенсивності втрат K_3 та K_4 (рис.1).

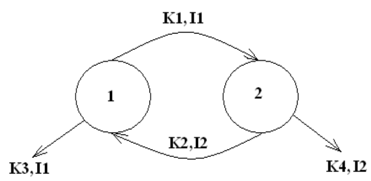

Рис.1

Теоретичні викладки

Взаємний обмін інформацією веде до зростання її кількості в системі та оточуючому середовищі. Цей процес із врахуванням втрат інформації в системі та в середовищі можна описати системою рівнянь

$$\frac{dI_1(t)}{dt} = K_2 I_2(t) - K_3 I_1(t), \tag{1}$$

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = K_1 I_1(t) - K_4 I_2(t). \tag{2}$$

Для розв'язання системи рівнянь продиференціюємо ліву та праву частини рівняння (1), підставимо в нього (2) та врахуємо співвідношення (1). Після таких процедур

$$\frac{d^2 I_1(t)}{dt^2} + (K_3 + K_4)\frac{dI_1(t)}{dt} + (K_3K_4 - K_1K_2)I_1(t) = 0 . \qquad (3)$$

Характеристичне рівняння $\lambda^2 + (K_3 + K_4)\lambda + (K_3K_4 - K_1K_2) = 0$ має корені

$$\lambda_{1,2} = -\frac{K_3 + K_4}{2} \pm \sqrt{\frac{(K_3 + K_4)^2}{4} + (K_1K_2 - K_3K_4)} . \qquad (4)$$

Рішення диференціального рівняння (3) має вигляд

$$I_1(t) = C_{10}e^{\lambda_1 t} + C_{20}e^{\lambda_2 t} , \qquad (5)$$

де C_{10}, C_{20} - постійні, які визначаються з початкових умов.

Для визначення залежності $I_2(t)$ продиференціюємо ліву та праву частини рівняння (5) та підставимо в отримане співвідношення залежність (1):

$$I_2(t) = \frac{1}{K_2}[(K_3 + \lambda_1)C_{10}e^{\lambda_1 t} + (K_3 + \lambda_2)C_{20}e^{\lambda_2 t}] . \qquad (6)$$

Будемо спостерігати за процесом протягом часу τ. Тоді на підставі співвідношень (5), (6) визначаємо

$$I_1(\tau) = C_{10}e^{\lambda_1 \tau} + C_{20}e^{\lambda_2 \tau} , \qquad (7)$$

$$I_2(\tau) = \frac{1}{K_2}[(K_3 + \lambda_1)C_{10}e^{\lambda_1 \tau} + (K_3 + \lambda_2)C_{20}e^{\lambda_2 \tau}] . \qquad (8)$$

На початку спостереження (при $t = 0$) на підставі (5), (6) отримуємо

$$I_1(0) = C_{10} + C_{20} , \qquad (9)$$

$$I_2(0) = \frac{1}{K_2}[(K_3 + \lambda_1)C_{10} + (K_3 + \lambda_2)C_{20}] . \qquad (10)$$

З системи рівнянь (9) та (10) визначаємо

$$C_{10} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}[(K_2I_2(0) - (K_3 + \lambda_2)I_1(0)] , \qquad (11)$$

$$C_{20} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}[(K_3 + \lambda_1)I_1(0) - K_2I_2(0)] , \qquad (12)$$

де $\lambda_1 - \lambda_2 = \sqrt{(K_3 - K_4)^2 + 4K_1K_2}$.

На підставі (7), (8), (11), (12) складаємо матричне рівняння

$$\begin{bmatrix} I_1(\tau) \\ I_2(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1(0) \\ I_2(0) \end{bmatrix} , \qquad (13)$$

де елементи матриці

$$A_1 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}[(K_3 + \lambda_1)e^{\lambda_2 \tau} - (K_3 + \lambda_2)e^{\lambda_1 \tau}] , \; B_1 = \frac{K_2}{\lambda_1 - \lambda_2}[e^{\lambda_1 \tau} - e^{\lambda_2 \tau}] ,$$

$$C_1 = \frac{(K_3 + \lambda_2)(K_3 + \lambda_1)}{K_2(\lambda_1 - \lambda_2)}[e^{\lambda_2 \tau} - e^{\lambda_1 \tau}] , \; D_1 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2}[(K_3 + \lambda_1)e^{\lambda_1 \tau} - (K_3 + \lambda_2)e^{\lambda_2 \tau}]$$

Введемо співвідношення $Z_1(\tau) = I_1(\tau)/I_2(\tau)$; $Z_1(0) = I_1(0)/I_2(0)$. Тоді на підставі матричного рівняння (13) визначаємо прогнозну функцію

$$Z_1(\tau) = \frac{A_1 Z_1(0) + B_1}{C_1 Z_1(0) + D_1}. \tag{14}$$

Розглянемо окремі ситуації. Першою включається в роботу система ($I_1(0) \neq 0, I_2(0) = 0$). В цьому випадку на підставі співвідношення (14) визначаємо $Z_1(\tau) = A_1 / C_1$. Першими включаються в роботу інші системи ($I_1(0) = 0, I_2(0) \neq 0$).В цьому випадку $Z_1(\tau) = B_1 / D_1$.

В системах без втрат інформації оперують параметром $W = \sqrt{K_2 / K_1}$ [2]. Аналіз рівнянь (1), (2) приводить до висновку, що для систем з втратами інформації доцільно ввести параметр $W_0 = \sqrt{(K_2 - K_4)/(K_1 - K_3)}$. Тоді $W_0 = W\sqrt{(1 - W_2^2)/(1 - W_1^2)}$, де $W_2 = \sqrt{K_4 / K_2}$, $W_1 = \sqrt{K_3 / K_1}$. Приймемо до уваги, що детермінант $\Delta = A_1 D_1 - B_1 C_1$ є основним інваріантом матриці [3]. Введемо змінні $S_1 = C_1 W_0 / A_1$; $S_2 = B_1 / D_1 W_0$; $S_3 = C_1 W_0 / D_1$; $S_4 = B_1 / A_1 W_0$. Тоді матриця рівняння (13) приймає наступний вигляд:

$$[A] = \sqrt{\frac{\Delta}{1 - S_1 S_2}} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ c_1 & d_1 \end{bmatrix}, \tag{15}$$

де $a_1 = 1/d_1 = \sqrt{S_3 / S_1}$; $b_1 = W_0 S_2 / a_1$; $c_1 = S_1 a_1 / W_0$; $S_1 S_2 = S_3 S_4$.

На підставі (13), (15) складаються два інших варіанти матричних рівнянь:

$$\begin{bmatrix} I_1(\tau) \\ I_1(0) \end{bmatrix} = [Z] \cdot \begin{bmatrix} I_2(\tau) \\ I_2(0) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} I_2(\tau) \\ I_2(0) \end{bmatrix} = [Y] \cdot \begin{bmatrix} I_1(\tau) \\ I_1(0) \end{bmatrix}, \tag{16}$$

де $[Z] = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$; $[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}$;

$Z_{11} = W_0 / S_1$; $Z_{12} = W_0 \sqrt{(1 - S_1 S_2)\Delta / S_1 S_3}$; $Z_{21} = W_0 \sqrt{(1 - S_1 S_2) / \Delta S_1 S_3}$; $Z_{22} = W_0 / S_3$;

$Y_{11} = 1 / W_0 S_2$; $Y_{12} = -\sqrt{(1 - S_1 S_2)\Delta / W_0^2 S_2 S_4}$; $Y_{21} = -\sqrt{(1 - S_1 S_2) / \Delta W_0^2 S_2 S_4}$; $Y_{22} = 1 / W_0 S_4$.

Приймемо до уваги, що особливі точки процесу інформаційного обміну визначаються з умови $S_1 S_2 = 1$. Таким чином, очікується пара ситуацій: $S_1 = 1$, $S_2 = 1$, або $S_1 = -1$, $S_2 = -1$ [3]. Аналіз співвідношень (16) показує, що тоді матриці $[Z]$ та $[Y]$ приймають наступний вигляд:

$$[Z] = \pm W_0 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \; [Y] = \pm \frac{1}{W_0} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Таким чином, за умови $S_1 S_2 = S_3 S_4 = 1$ система та середовище стають ізольованими. Ця обставина дає можливість перейти від прогнозної функції $Z(\tau)$ до прогнозної функції $Z(S_1, S_2, S_3)$ та визначити параметр W_0.

Параметр $Z_1(0)$ на початку спостереження визначається з умови $Z_1(0) = Z_2(S_1, S_2, S_3)$ [3]. При цьому

$$Z_2(S_1, S_2, S_3) = \frac{W_0 S_1 [Z_1(S_1, S_2, S_3) - S_2 Z_1(1,1,1)]}{S_3 [Z_1(1,1,1) - S_1 Z_1(S_1, S_2, S_3)]}. \tag{17}$$

Розглянемо ситуацію, коли в системах без втрат інформації $W = 10$. Прогнозна функція в умовах втрат інформації

$$Z_1(S_1,S_2,S_3)=\frac{16S_1S_2+2S_3}{S_1(8+S_3)}. \qquad (18)$$

Визначаємо параметр W_0: $Z_1(1,1,1)=W_0=2$. Приймаємо до уваги, що $W_0=W\sqrt{(1-W_2^2)/(1-W_1^2)}$. Тоді, $W_2^2=0{,}96+0{,}04W_1^2$, або $K_4/K_2=0{,}96+0{,}04K_3/K_1$. З'ясуємо значення $Z_1(0)=I_1(0)/I_2(0)$. На підставі формул (17), (18) визначаємо $Z_1(0)=0{,}25$. Таким чином, на початку спостереження $I_2(0)/I_1(0)=4$.

Висновки

Отримані результати дають можливість виконувати нормативне прогнозування інформаційного обміну в системах з втратами інформації. Вони доповнюють існуючі методи прогнозування інформаційного обміну та переводять їх на якісно новий рівень, який враховує найбільш характерні явища в системах керування та зв'язку. На підставі введеної прогнозної функції з'являється можливість визначити зміни в умовах інформаційного обміну при втратах інформації, співвідношення між інтенсивностями впливу системи та середовища та співвідношення між коефіцієнтами інтенсивності втрат інформації. Процедура нормативного прогнозування доводиться до моменту початку спостереження за системою і середовищем та дає можливість з'ясувати, звідки почався інформаційний обмін або яке співвідношення між кількостями інформації мало місце на початку спостереження.

Література

1. Крапивин В.Ф. Теоретико-игровые методы синтеза сложных систем в конфликтных ситуациях. – М.: Сов. Радио.- 1972.

2. Бичковський В.О. Нормативний прогноз поведінки системи в оточуючому середовищі. // Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Радіотехніка, радіоапаратобудування., Вип. 35.- 2007.- с.30-34.

3. Козловский В.В., Бычковский В.А., Свечников Г.С., Згурский А.В. Синтез неоднородных электромагнитных сред.- К.: Наукова думка.- 1992.

Бичковський В.О., Реутська Ю.Ю. ***Нормативний прогноз інформаційного обміну в системах з втратами інформації.*** *На підставі аналізу інформаційного обміну між системою та оточуючим середовищем в умовах втрат інформації складено матричні моделі ситуацій. Розглянуто методику нормативного прогнозування по заданій прогнозній функції.*

Ключові слова: *інформація, система, прогнозна функція.*

Бычковский В.А., Реутская Ю.Ю. ***Нормативный прогноз информационного обмена в системах с потерями информации.*** *На основании анализа информационного обмена между системой и окружающей средой в условиях потери информации составлены матричные модели ситуаций. Рассмотрена методика нормативного прогнозирования по заданной прогнозной функции.*

Ключевые слова: *информация, система, прогнозная функция.*

Bychkovsky V.A., Reutskaya J.U. ***Normative prognosis of informative exchange in the systems with the losses of information.*** *The matrix models of situations are made on the basis of analysis of informative exchange between the system and environment in the conditions of loss of information. The method of normative prognostication is considered on the set prognosis function.*

Keywords*: information, system, prognosis function.*