АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 5921 (075.8)

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДЛЯ ЗНАХОДЖЕННЯ ЗОВНІШНІХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ НЕОДНОРІДНОЇ ЛІНІЇ

Удод В.О.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Під неоднорідною лінією розуміють систему з розподіленими по одній координаті параметрами, залежними від цієї координати. Застосування неоднорідних ліній для формування імпульсів, трансформації імпульсів, фільтрації, узгодження пристроїв і в ролі коливальних систем має цілий ряд переваг в порівнянні з аналогічними застосуваннями однорідних ліній.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На відміну від однорідних ліній відрізки неоднорідних ліній мають некратні резонансні частоти. Ця властивість може бути використана для покращення фільтрації гармонік в множниках частоти. Крім того, в неоднорідних лініях можна одержати і більш високу добротність коливальної системи.

Задачі аналізу і синтезу неоднорідних ліній, як формуючих і узгоджуючих пристроїв в основному уже розв'язані, а питання аналізу і синтезу неоднорідних ліній, як коливальних систем, практично відкриті.

Формулювання цілей статті (постановка задачі). Мета цієї статті полягає в розробці математичної моделі визначення зовнішніх параметрів коливальної системи на базі неоднорідної лінії з довільним комплексним навантаженням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, зовнішні параметри коливальної системи з розподіленими параметрами (добротність Q_o, резонансний опір R_o, резонансна провідність q_o, резонансна частота ω_o) однозначно визначаються через вхідний опір $Zв_x$ або провідність $Yв_x$ із співвідношень

$$Q_o = \frac{\omega_o}{2q_o}\left[\frac{d\,\mathrm{Im}\,Y\hat{a}_{ð}}{d\omega}\right]_{\omega=\omega_o}; \qquad (1)$$

$$R_o = \mathrm{Re}\,Z\hat{a}_{ð}; \qquad (2)$$

$$q_o = \mathrm{Re}\,Y\hat{a}_{ð}. \qquad (3)$$

Частота послідовного і паралельного резонансів визначаються відповідно із рівнянь

$$\mathrm{Im}\,Zв_x = 0; \qquad (4)$$

$$\mathrm{Im}\,Yв_x = 0. \qquad (5)$$

Із приведених співвідношень випливає, що для визначення зовнішніх параметрів коливальної системи достатньо знати $Zв_x$, як функцію хвильового опору $\rho(x)$, сталої розповсюдження $\gamma(x)$, довжини відрізка l_o, а так же опору Z_H нагрузки.

При знаходженні цієї залежності для простоти викладок допустимо, що коливальний процес протікає по гармонічному закону. В цьому випадку можна застосувати символічну форму запису. Електричні процеси в такі системі запишемо у формі телеграфних рівнянь

$$\begin{cases} \dfrac{d\dot{U}(x)}{dx} = Z_o(x)\dot{I}(x) \\ \dfrac{d\dot{I}}{dx} = Y_o(x)\dot{U}(x) \end{cases}, \tag{6}$$

де $Z_o(x)$ - продовжений опір;

$\mathrm{Y}_o(x)$ - поперечна провідність.

Як відомо, вхідний опір в будь-якому перерізі лінії визначається як:

$$Z\textit{в}_x(x) = \frac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)};$$

$$\dot{U}(x) = Z\textit{в}_x(x)\dot{I}(x). \tag{7}$$

Після диференціювання (7) одержимо

$$\frac{d\dot{U}(x)}{dx} = \frac{dZ\textit{в}_x(x)}{dx}\dot{I}(x) + Z\textit{в}_x\frac{d\dot{I}}{dx}. \tag{8}$$

Після підстановки в (8) із (6) значень $\frac{d\dot{U}(x)}{dx}$ і $\frac{d\dot{I}(x)}{dx}$, одержимо

$$Z_o(x)\dot{I}(x) = \frac{dZ(x)}{dx}\dot{I}(x) + Z_o(x)\mathrm{Y}_o(x)\cdot\dot{U}(x)\cdot$$

Після ділення цього виразу на $\dot{I}(x)$ його перетворимо

$$\frac{dZ(x)}{dx} + Z(x)\mathrm{Y}_o(x)\frac{\dot{U}(x)}{\dot{I}(x)} - Z_o(x) = 0,$$

при допомозі (7), одержимо

$$\frac{dZ(x)}{dx} + Z^2(x)\mathrm{Y}_o(x) - Z_o(x) = 0\ \cdot \tag{9}$$

Використовуючи, що

$$\gamma^2(x) = \mathrm{Y}_o(x)\cdot Z_o(x), \tag{10}$$

$$\rho^2(x) = \frac{Z_o(x)}{\mathrm{Y}_o(x)}, \tag{11}$$

та розділивши (10) на (11) і помноживши (10) на (11), відповідно одержимо

$$\mathrm{Y}_o(x) = \frac{\gamma(x)}{\rho(x)} \;; \tag{12}$$

$$Z_o(x) = \gamma(x) \cdot \rho(x). \tag{13}$$

Якщо підставити (12) і (13) в (9), то одержимо

$$\frac{dZ}{dx} + Z^2(x)\frac{\gamma(x)}{\rho(x)} - \gamma(x)\rho(x) = 0. \tag{14}$$

Одержане диференціальне рівняння (14) відноситься до типу спеціального рівняння Ріккаті, яке в загальному випадку не розв'язується в квадратурах.

Для знаходження розв'язку використаємо відому залежність:

$$Z(x) = \rho(x)\frac{1 - \Gamma(x)}{1 + \Gamma(x)} \;, \tag{15}$$

де Γ(x) - коефіцієнт відбиття в перерізі з координатою *x.*

$$\frac{dZ(x)}{dx} = \frac{d\rho(x)}{dx} \cdot \frac{1-\Gamma(x)}{1+\Gamma(x)} + \rho(x) \cdot \frac{-\frac{d\Gamma(x)}{dx}\left[1+\Gamma(x)\right] - \left[1-\Gamma(x)\right]\frac{d\Gamma(x)}{dx}}{\left[1+\Gamma(x)\right]^2} =$$

$$= \frac{d\rho(x)}{dx} \cdot \frac{1-\Gamma(x)}{1+\Gamma(x)} + \rho(x)\frac{-\frac{d\Gamma(x)}{dx} - \Gamma(x)\frac{d\Gamma(x)}{dx} + \Gamma(x)\frac{d\Gamma(x)}{dx} - \frac{d\Gamma(x)}{dx}}{\left[1+\Gamma(x)\right]^2} =$$

$$= \frac{d\rho(x)}{dx} \cdot \frac{1-\Gamma(x)}{1+\Gamma(x)} + \rho(x)\frac{-2\frac{d\Gamma(x)}{dx}}{\left[1+\Gamma(x)\right]^2}. \tag{16}$$

Після підстановки (15) і (16) в (14), одержимо

$$\frac{d\rho(x)}{dx} \cdot \frac{1-\Gamma(x)}{1+\Gamma(x)} + \rho(x)\frac{-2\frac{d\Gamma(x)}{dx}}{\left[1+\Gamma(x)\right]} +$$

$$+ \rho^2(x)\frac{\left[1-\Gamma(x)\right]^2}{\left[1+\Gamma(x)\right]^2} \cdot \frac{\gamma(x)}{\rho(x)} - \gamma(x)\rho(x) = 0 \;. \tag{17}$$

Домножимо обидві частини (17) на $\frac{\left[1+\Gamma(x)\right]^2}{\rho(x)}$, одержимо

$$\frac{1}{\rho(x)} \cdot \frac{d\rho(x)}{dx}\left[1 - \Gamma^2(x)\right] - 2 \cdot \frac{d\Gamma(x)}{dx} +$$

$$+ \left[1 - 2\Gamma(x) + \Gamma^2(x)\right]\gamma(x) - \gamma(x)\left[1 + 2\Gamma(x) + \Gamma^2(x)\right] = 0. \tag{18}$$

Припустимо, що

$$\frac{1}{\rho(x)} \cdot \frac{d\rho(x)}{dx} = \frac{d}{dx} \ln \rho(x) = 2N(x),$$

тоді рівняння (18) запишеться

$$2N(x)\left[1 - \Gamma^2(x)\right] - 2\frac{d\Gamma(x)}{dx} + \gamma(x) - 2\Gamma(x)\gamma(x) +$$

$$+ \Gamma^2(x)\gamma(x) - \gamma(x) - 2\Gamma(x)\gamma(x) - \Gamma^2(x)\gamma(x) = 0$$

і в кінцевому вигляді

$$\frac{d\Gamma(x)}{dx} + 2\gamma(x)\Gamma(x) - N(x)\left[1 - \Gamma^2(x)\right] = 0. \qquad (19)$$

Одержане рівняння (19) відносяться до класу диференціальних рівнянь Риккаті для вхідного коефіцієнта відбиття, де

$$N(x) = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{dx} \cdot \ln \rho(x).$$

Розв'язки рівнянь для характерних випадків

Знаходження розв'язку рівняння в формі (19) можна спростити, знаючи, що $|\Gamma(x)| \leq 1$ і для широкого класу пристроїв може приймати конкретне значення. Наприклад, для коливальних систем, що працюють в режимі стоячих хвиль $\Gamma \to 1$.

Допускаючи, що $\Gamma \approx 1$, одержимо 1 + Г ≈ 2, тоді

$$1 - \Gamma^2 = (1 + \Gamma)(1 - \Gamma) \approx 2(1 - \Gamma). \qquad (20)$$

Відносна похибка наближення

$$\delta\Gamma = \frac{1 - \Gamma}{1 + \Gamma},$$

як вияснили розрахунки, що при $Q_o \geq 10$ не перевищує 5 %.

Рівняння (19), враховуючи (20) можна перетворити в лінійне

$$\frac{d\Gamma(x)}{dx} + 2\gamma(x)\Gamma(x) - N(x) \cdot 2\left[1 - \Gamma(x)\right] = 0;$$

$$\frac{d\Gamma(x)}{dx} + 2\Gamma(x)\left[\gamma(x) + N(x)\right] - 2N(x) = 0. \qquad (21)$$

Розв'язок рівняння (21) можна одержати для коефіцієнта відбиття на початку лінії у формі:

$$\Gamma(l_o) = exp\left(-2\int_o^{l_o} [\gamma(x) + N(x)]dx \right) \cdot$$

$$\left[2\int_o^{l_o} N(x) exp\left(2\int_o^{x} [\gamma(x) + N(x)]dx \right) dx + \Gamma_o \right]. \qquad (22)$$

Стала інтегрування знаходиться із граничних умов при *x = 0* .

Знаючи коефіцієнти відбиття на початку лінії із (15) знайти

$$Z_{вх} = Z(l_o) = \rho(l_o)\frac{1-\Gamma(l_o)}{1+\Gamma(l_o)} .$$

Тоді, враховуючи (1)-(5) можна одержати співвідношення для зовнішніх параметрів коливальної системи:

$$Q_o = \frac{\omega_o \rho(l_o)}{2} \cdot \frac{1+A_o}{1-A_o}\left[\frac{dB_o}{d\omega}\right]_{\omega=\omega_o} ; \qquad (23)$$

$$R_o = \rho(l_o)\frac{1+A_o}{1-A_o} ; \qquad (24)$$

$$q_o = \frac{1}{\rho(l_o)} \cdot \frac{1-A_o}{1+A_o} . \qquad (25)$$

Узагальнююче рівняння резонансу має такий вигляд

$$B_o = 0 . \qquad (26)$$

Корені рівняння (26) знайдені коли A > 0 визначають частоти паралельного резонансу, а коли A<0 - частоти послідовного резонансу.

В даному випадку

$$A_o = \frac{1}{\rho(l_o)}\int_o^{l_o} \cdot \frac{d\rho(x)}{dx} \exp\left[-2\int_x^{l_o} \alpha(x)dx \right] x$$

$$\cos\left[\frac{2\omega_o}{\vartheta}(l-x)\right]dx + C \cdot \cos\left[\frac{2\omega_o}{\vartheta} l + arctq\frac{2\rho(0)X_H}{X_H^2}\right] ; \qquad (27)$$

$$B_o = \frac{1}{\rho(l_o)}\int_o^{l_o} \frac{d\rho(x)}{dx} \exp\left(-2\int_x^{l_o} \alpha(x)dx \right) \cdot \sin\left[\frac{2\omega_o}{\vartheta}(l-x)\right]dx +$$

$$+ C \cdot \sin\left[\frac{2\omega_o}{\vartheta} l + arctq\frac{2p(0)X_H}{\left[\rho^2(0) - R_H^2\right] + X_H^2}\right] ; \qquad (28)$$

$$C = \frac{\rho(0)}{\rho(l_o)} \cdot \left[\frac{\left(\left[\rho^2(0) - R_H^2\right] - X_H^2\right)^2 + 4\rho^2(0) X_H^2}{\left(\left[\rho(0) + R_H\right]^2 + X_H^2\right)^2} \right] \cdot \exp\left(-2\int_o^{l_o} \alpha(x) dx \right), \quad (29)$$

де α - стала згасання;

ϑ - фазова швидкість.

Висновки. Розроблений алгоритм знаходження зовнішніх характеристик коливальної системи на базі неоднорідної лінії. Розрахунки, проведені за даними формулами для експоненціальної лінії $\rho(x) = \rho(0)e^{-\alpha x}$ при α = 0,3 на частоті 1800 МГц при X_H =-29,4 Ом добре співпадають з експериментальними результатами.

Література.

1. Курилин Б.И. Отрезок неоднородной линии как колебательная система. / Б.И.Курилин // Радиотехника, -1969 - № 1.- С. 107- 109.
2. Фельдштейн А.Л. Синтез 4-х полюсников и 8-ми полюсников на СВЧ. / А.Л.Фельдштейн, Л.Р.Явич.- М.: Связь,1965.- 326 с.
3. Удод В.О. Синтез динамічних лінійних систем методом випадкових функцій. / В.О.Удод // Вісник СНАУ. - Вип 5,. сер. ”Механізація та автоматизація виробничих процесів”.- Суми: Козацький вал.- 2000.- С.41-46.
4. Удод В.О. Аналіз похибок вимірювальних чотириполюсників за допомогою випадкових функцій. / В.О.Удод // Вісник САУ..- Вип. 2 , сер.”Механізація та автоматизація виробничих процесів”.- Суми: Козацький вал.-1998.- С.81-84.

УДК 658.5.011.56

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ УМОВ ПРАЦІ ЛЮДИНИ – ОПЕРАТОРА В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

Пасько Н.Б.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Ергономічне проектування систем "людина-машина" передбачає одночасне урахування ергономічних умов до технічних засобів та до умов праці людини-оператора. Проектування умов праці на робочих місцях є невід’ємною частиною кваліметричного ергономічного проектування. Покращення умов праці дає можливість отримати не тільки оздоровчий, а й економічний ефект, так як при цьому активізується людський фактор, підвищується працездатність, зменшуються втрати робочого часу через хвороби та травми, знижується плинність кадрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою співставлення різноманітних умов праці та визначення її тяжкості на науковій основі була розроблена медико - фізіологічна класифікація труда за тяжкістю [1,7,8]. В основу цієї класифікації покладений підхід, згідно якому організм людини-оператора як єдина цілісна система інтегрально реагує на одночасну дію різноманітних виробничих факторів умов праці. Беручи за основу показники інтегральних реакцій, можна зробити висновки про рівень самих умов праці.

Відповідно до вказаного підходу, задача кількісної оцінки тяжкості праці може бути вирішена без проведення в кожному конкретному випадку спеціальних медико-фізіологічних досліджень. При цьому враховується, що несприятливі виробничі фактори, що впливають на працюючого в процесі роботи, формують певний функціональний стан організму. В цьому випадку шкідливі, важкі, напружені, небезпечні умови праці можуть бути приведені до "спільного знаменника" та оцінені об’єктивно через показники, що