

В. В. Собчук, А. П. Мусиенко, О. Ю. Ільїн, А. І. Мацько

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ С ИЕРАРХИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Предложенная методика по оценке функциональной устойчивости автоматизированной системы управления предприятием с иерархической организацией средств обеспечения функциональной устойчивости позволяет определить целесообразность функционально устойчивого проекта всей системы путем сопоставления затрат на его осуществление с ожидаемым положительным эффектом (по показателю средней наработки объекта до полного отказа) выявлять слабые места в иерархически организованных средствах обеспечения функциональной устойчивости, которые, в свою очередь, также снижают общую надежность объекта; правильно использовать дополнительные ресурсы на дальнейшее повышение вероятности безотказной работы.

Ключевые слова: функциональная устойчивость; автоматизированная система управления предприятием; внешние и внутренние дестабилизирующие факторы.

V. V. Sobchuk, A. P. Musienko, O. Yu. Ilyin, O. I. Matsko

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF FUNCTIONAL STABILITY OF THE AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEM OF THE ENTERPRISE WITH THE HIERARCHICAL ORGANIZATION OF MEANS OF ENSURING FUNCTIONAL STABILITY

When analyzing and synthesizing complex technical systems, such as automated enterprise management systems, it is advisable to apply a hierarchical approach. Its application to providing functional stability allows us to reach a compromise between the simplicity of describing procedures and the need to account for numerous factors that affect the functioning of an automated enterprise management system.

The proposed methodology for evaluating the quality of functional stability of an automated enterprise management system with the hierarchical organization of means of providing functional stability allows:

- to determine the expediency of a functionally sustainable project of the whole system by comparing the costs of its implementation with the expected positive effect (on average of the object before the complete failure);
- to identify weaknesses in hierarchically organized means of ensuring functional stability, which, in turn, also reduce the overall reliability of the object;
- it is right to use additional resources to further increase the probability of failure-free operation.

Keywords: functional stability; automated enterprise management system; external and internal destabilizing factors.

УДК 621.372.852

О. В. БАРАБАШ, доктор техн. наук, професор;

Н. О. ЛІЩИНОВСЬКА, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ;

Ю. П. БОЙКО, канд. техн. наук, доцент,

Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДОБРОТНОСТІ РЕЗОНАТОРА НЕРЕГУЛЯРНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАВАННЯ

У наближенні малих втрат отримано аналітичні вирази для визначення добротності резонаторів на основі нерегулярних ліній передавання. У результаті дослідження з'ясовано, що завдання синтезу резонатора полягає у визначенні такого закону розподілу сумарних втрат в діелектрику і провідниках, а також такого закону зміни хвильового опорного вздовж лінії, при яких значення добротності буде максимальне.

Ключові слова: добротність резонатора; нерегулярні лінії передавання; селективні властивості; спектр частот; електромагнітне поле; хвильовий опір; крутизна схилів.

Вступ

Резонатори є найважливішим елементом селективних пристроїв, що визначають основні характеристики телекомунікаційних систем. Одним із головних параметрів резонансних систем, як відомо, є добротність, що характеризує селективні властивості резонаторів і визначає крутизну схилів амплітудно-частотної характеристики фільтруючих пристроїв, побудованих на їх основі.

Аналіз дослідження. Одним із напрямків підвищення селективних властивостей резонаторів є збільшення їх добротності завдяки зниженню втрат і використанню ліній зі змінним за довжиною хвильовим опором (нерегулярних ліній). Проте під час використання нерегулярних ліній із втратами виникає проблема з визначенням добротності таких резонаторів, оскільки точного розв'язку телеграфних рівнянь для нерегулярних ліній не існує, є лише точні розв'язки для окремих випадків [1–3] (лінія

© О. В. Барабаш, Н. О. Ліщиновська, Ю. П. Бойко, 2018

з постійним хвильовим опором, з експоненціальним хвильовим опором, параболічний резонатор, резонатор на основі лінії з гіперболічним хвильовим опором).

Метою дослідження є знаходження аналітичного виразу для визначення добротності нерегулярної лінії передавання з довільним хвильовим опором.

Основна частина

Результати дослідження. Під добротністю резонатора розуміємо відношення запасеної потужності до сумарної потужності втрат [4]. Як уже зазначалося, добротність є найважливішою характеристикою у коливальній системі, що визначає її селективні властивості.

У загальному випадку добротність резонатора на нерегулярній лінії визначається через електромагнітне поле [4]. Проте цей метод є досить складний і громіздкий. За його допомогою дістати розв'язок в аналітичному вигляді вдається тільки в окремих випадках [2]. При синтезі резонаторів за спектрами частот (за розділами резонансних частот) немає потреби знаходити проміжні характеристики, оскільки відразу обчислюється хвильовий опір нерегулярної лінії. Тому завдання визначення добротності зводиться або до розв'язку телеграфних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, або до розв'язку нелінійного рівняння Ріккати щодо імпедансу лінії. Розв'язок таких рівнянь можливий лише в окремих приватних випадках, що не дає можливості оцінити селективні властивості резонаторів у повному обсязі, зокрема резонаторів зі складним законом зміни хвильового опору.

Дістанемо наближену формулу для обчислення добротності резонаторів, в яких втрати досить малі. Для цього розглянемо диференціальні рівняння нерегулярних ліній із втратами [2]:

$$\begin{aligned} -\frac{d\bar{u}(x)}{dx} &= (pL(x) + R(x))\bar{i}(x), \\ -\frac{d\bar{i}(x)}{dx} &= (pC(x) + G(x))\bar{u}(x), \end{aligned} \quad (1)$$

де $\bar{u}(x)$, $\bar{i}(x)$ — зображення по Лапласу відповідно напруги і струму в лінії передавання;

$L(x)$, $C(x)$, $R(x)$, $G(x)$ — відповідно погонна індуктивність, погонна ємність, погонний активний опір, погонна активна провідність витоку;

x — поточна довжина (координата);

p — комплексна частотна змінна.

Якщо ввести змінну

$$\tau_{\text{втр}} = \int_0^x \sqrt{\left(L(x) + \frac{R(x)}{p}\right)\left(C(x) + \frac{G(x)}{p}\right)} dx \quad (2)$$

і позначити через

$$W_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}}) = \sqrt{\frac{L(x) + \frac{R(x)}{p}}{C(x) + \frac{G(x)}{p}}} \quad (3)$$

хвильовий опір, то вхідний імпеданс лінії

$$Z_n(\tau_n) = \frac{\bar{u}(x)}{\bar{i}(x)},$$

як випливає з рівнянь (1), задовольняє рівняння Ріккати з комплексним аргументом

$$\frac{dZ_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}})}{d(p\tau_{\text{втр}})} - \frac{Z_{\text{втр}}^2(\tau_{\text{втр}})}{W_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}})} + W_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}}) = 0. \quad (4)$$

Для ліній без втрат $R(x) = G(x) = 0$. У такому разі

$$\tau_{\text{втр}} = \tau(x) = \int_0^x \sqrt{L(x)C(x)} dx. \quad (5)$$

При цьому рівнянні (4) буде мати вигляд

$$\frac{dZ(\tau)}{d(p\tau)} - \frac{Z^2(\tau)}{W(\tau)} + W(\tau) = 0, \quad W(\tau) = \sqrt{\frac{L(\tau)}{C(\tau)}}. \quad (6)$$

Тут $W(\tau)$ є хвильовим опором лінії без втрат; $Z(\tau)$ — вхідний опір нерегулярної лінії.

Припустимо, що лінія має малі втрати (такої умови, як правило, дотримуються на практиці), тобто $R(x) \ll \omega L(x)$, $G(x) \ll \omega C(x)$, де ω — частота коливальності. Тоді, відповідно до виразу (3), $W_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}}) \approx W(\tau_{\text{втр}})$ і замість рівняння (6) можна розглядати співвідношення

$$\frac{dZ_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}})}{d(p\tau_{\text{втр}})} - \frac{Z_{\text{втр}}^2(\tau_{\text{втр}})}{W_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}})} + W(\tau_{\text{втр}}) = 0. \quad (7)$$

Порівняльний аналіз рівнянь (6), (7) показав, що

$$Z_{\text{втр}}(\tau_{\text{втр}}) \approx Z(\tau_{\text{втр}}). \quad (8)$$

Тепер через l можна визначити геометричну довжину резонатора, а через $t_{\text{з.втр}} = \tau_{\text{втр}}(l)$, $t_3 = \tau(l)$. Фізична величина $t_3 = \tau(l)$ визначається як час затримки лінії без втрат довжини l . Величина $t_{\text{з.втр}} = \tau_{\text{втр}}(l)$ характеризує час затримки лінії з втратами.

Із наведених виразів випливає, що за малих втрат $t_{\text{з.втр}} = t_3 + \Delta t_3$, де

$$\Delta t_3 = \frac{1}{2p} \int_0^l \frac{R(x)C(x) + L(x)G(x)}{\sqrt{L(x)C(x)}} dx. \quad (9)$$

Після цього через $\alpha = \omega t_3$ позначимо електричну довжину резонатора без втрат. Тоді з виразу для резонатора із втратами маємо $\omega t_{\text{з.втр}} \approx \alpha$. Звідси комплексна частота ω коливань буде такою, що дорівнює

$$\omega = \frac{\alpha}{t_{\text{з.втр}}} = \frac{\alpha}{t_3 + \Delta t_3} = \frac{\alpha}{t_3} \left(1 - \frac{\Delta t_3}{t_3} \right) = \omega' + j\omega'', \quad (10)$$

$$\omega'' = \frac{1}{2t_3} \int_0^l \frac{R(x)C(x) + L(x)G(x)}{\sqrt{L(x)C(x)}} dx.$$

Частота ω' — це резонансна частота резонатора без втрат. Наявність уявної складової ω'' зумовлено втратами. Знаючи дійсну та уявну частини частоти коливань, знаходимо добротність:

$$Q = \frac{\omega'}{2\omega''} = \frac{\omega'}{\frac{1}{t_3} \int_0^l \frac{R(x)C(x) + L(x)G(x)}{\sqrt{L(x)C(x)}} dx}. \quad (11)$$

З огляду на те, що погонне загасання в провіднику та діелектрику описується співвідношеннями

$$\alpha_{\text{пр}}(x) = \frac{R(x)}{2W(x)}, \quad \alpha_{\text{д}}(x) = \frac{G(x)W(x)}{2},$$

то добротність можна розрахувати за таким виразом:

$$Q = \frac{\omega' t_3}{2 \left(\int_0^l \alpha_{\text{пр}}(x) dx + \int_0^l \alpha_{\text{д}}(x) dx \right)}. \quad (12)$$

Таким чином, вирази (11) і (12) дають змогу за відомими законами розподілу втрат та відомим хвильовим опором обчислити добротність резонатора нерегулярної лінії передавання.

Обговорення результатів проведеного дослідження. Із аналізу виразів (11) і (12) випливає, що різні закони розподілу втрат і хвильового опору в резонаторі приведуть до різних значень його добротності. Тому завдання синтезу резонатора полягає у визначенні такого закону розподілу сумарних втрат в діелектрику і провідниках та такого закону зміни хвильового опору вздовж лінії, при яких значення добротності буде максимальне.

Далі наведемо вирази, що визначають розподілені втрати для мікрополоскових конструкцій ліній передавання (рис. 1) [5].

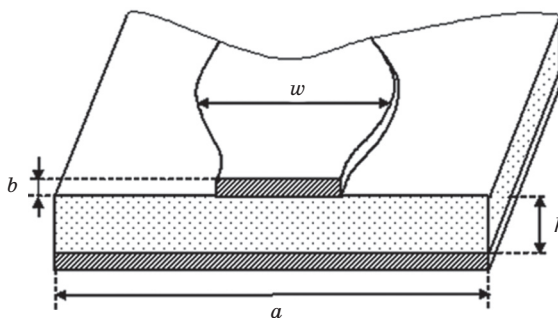


Рис. 1. Плавно-нерегулярна мікрополоскова лінія

Втрати в мікрополосковій лінії складаються з втрат у провіднику і діелектрику. Вирази для їх обчислення наведено у [5–9]. Зокрема, формула для обчислення загасання $\alpha_{\text{пр}}$ в провіднику провідної смужки, дБ/м, може бути записана у такому вигляді:

$$\alpha_{\text{пр}} = 1,38A \frac{R_S 32 - \left(\frac{w_e}{h}\right)^2}{hW_0 + \left(\frac{w_e}{h}\right)^2}, \quad \left(\frac{w}{h}\right) < 1, \quad (13)$$

$$\alpha_{\text{пр}} = 6,1 \cdot 10^{-5} A \frac{R_S w_e \epsilon_{re}}{h} \left(\frac{w_e}{h} + \frac{0,667 \frac{w_e}{h}}{\frac{w_e}{h} + 1,444} \right), \quad \left(\frac{W}{h}\right) > 1, \quad (14)$$

де

$$\frac{w_e}{h} = \frac{w}{h} + \frac{\Delta w}{h}; \quad A = 1 + \frac{w}{h} \left(1 + \frac{1}{\pi} \ln \frac{2B}{t} \right); \quad R_S = \sqrt{\pi f \mu_0 \rho};$$

$B = h$ при $\frac{w}{h} \geq \frac{1}{2\pi}$; $B = 2\pi w$ при $\frac{w}{h} < \frac{1}{2\pi}$; ρ — питомий опір полоскового провідника.

Втрати в діелектрику описуються такою залежністю:

$$\alpha_d = 27,3 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - 1} \frac{\epsilon_r - 1}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{\text{tg} \delta}{\lambda_0}, \quad (15)$$

де $\text{tg} \delta$ — тангенс кута діелектричних втрат діелектрика.

Висновки

Якщо значення (13) – (15) підставити в (12), то дістанемо вирази для добротності нерегулярного мікрополоскового резонатора. Так, наприклад, при використанні виразів (13), (15) маємо

$$Q = \frac{\omega' t_3}{2 \left(\int_0^l \alpha_{\text{пр}}(x) dx + \int_0^l \alpha_d(x) dx \right)} = \frac{\omega' t_3}{2 \left(\int_0^l \left[1,38A(x) \frac{R_S}{hW_0(x)} \frac{32 - \left(\frac{w_e(x)}{h}\right)^2}{32 + \left(\frac{w_e(x)}{h}\right)^2} \right] dx + \int_0^l \left[27,3 \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r(x) - 1} \frac{\epsilon_r(x) - 1}{\sqrt{\epsilon_{re}(x)}} \frac{\text{tg} \delta}{\lambda_0} \right] dx \right)}, \quad (16)$$

де λ_0 — довжина хвилі у вільному просторі; $W_0(x)$ — хвильовий опір лінії без втрат; $\epsilon_{re}(x)$ — еквівалентна діелектрична проникність; $\epsilon_r(x)$ — діелектрична проникність.

Список використаної літератури

1. Бударазин Р. В., Радионов А. А., Титаренко А. А. Расчет плавных переходов в коаксиальной линии передачи // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2001. № 2. С. 53–57.
2. Литвиненко О. Н., Сошников В. И. Теория неоднородных линий и их применение в радиотехнике. Москва: Сов. радио, 1964. 535 с.
3. Клименко Д. Н., Плавский Л. Г. Использование нерегулярных линий в полосно-пропускающих фильтрах в качестве резонансных элементов // Современные проблемы радиоэлектроники: сб. науч. ст. Красноярск: Сибирский федер. ун-т; Политехн. ин-т, 2007. С. 246–248.
4. Никольский В. В., Никольская Т. И. Электродинамика и распространение радиоволн. Москва: Издат. группа URSS, 2014. 544 с.
5. Гупта К., Гардж Р., Чадха Р. Машинное проектирование СВЧ устройств. Москва: Радио и связь, 1987. 429 с.
6. Guptar K. C. Analysis and Design of Planar Microwave Components. Institute of Electrical and Electronic Engineering, 2002. 586 p.
7. Gerald C. Alexander, Andreas Weissahaas, Vijai K. Tripathi [et al.]. Transmission Lines and Wave Propagation. CRC Press, 2000. 536 p.
8. Fawwaz T. Ulaby. Fundamentals of Applied Electromagnetics. Prentice Hall, 2003. 464 p.
9. Magnetically tunable microstrip linear resonator on polycrystalline ferrite / R. Pourush, A. Jangid, G. S. Tyagi [et al.] // Microwave and Optical Technology Letters. 2007. Vol. 49. № 11. P. 2868–2870.

Рецензент: доктор техн. наук, професор С. В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

О. В. Барабаш, Н. О. Лищиновская, Ю. П. Бойко

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА НЕРЕГУЛЯРНОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

В приближении малых потерь получены аналитические выражения для определения добротности резонаторов на основе нерегулярных линий передачи. В результате исследования установлено, что задача синтеза резонатора заключается в определении такого закона распределения суммарных потерь в диэлектрике и проводниках, а также такого закона изменения волнового сопротивления вдоль линии, при которых значения добротности будет максимальным.

Ключевые слова: добротность резонатора; нерегулярные линии передач; селективные свойства; спектр частот; электромагнитное поле; волновое сопротивление; крутизна склонов.

O. V. Barabash, N. O. Lishchynovska, Y. P. Boiko

THE METHOD OF QUALITY FACTOR CALCULATION OF IRREGULAR TRANSMISSION LINE RESONATOR

In the approximation of small losses obtained analytical expressions for determining the quality factor resonators based on irregular transmission lines. The study found that the synthesis resonator task is to determine the distribution of this law the total losses in dielectrics and conductors such law and impedance changes along the line, in which the value of merit will be maximum.

Resonators are an essential element of selective devices that determine the basic characteristics of telecommunication systems. One of the main parameters of the resonance is known, is the quality factor characterizing selective properties of resonators determines the steepness of the slopes amplitude-frequency characteristics of filter devices built on them. One of the ways to increase selective properties resonators are increasing their quality factor by reducing losses and use of lines of varying the length of characteristic impedance (irregular lines). However, using irregular lines loss is a problem with the definition of quality factor resonators such as the exact solution of the telegraph equation for irregular lines there is only accurate solution for individual cases.

In the synthesis resonators for the frequency spectrum (sections resonance frequencies) there is no need to find intermediate characteristics once defined characteristic impedance irregular lines and therefore the problem of determining quality factor is reduced to solving telegraph equations with variable coefficients or to solve nonlinear Riccati equation regarding impedance line. Decisions above equation is possible only in certain special cases, not to evaluate selective resonator properties to the full, particularly with complex resonator impedance changes in the law.

Keywords: Q-factor of the resonator; irregular transmission lines; selective properties; frequency range; electromagnetic field; wave resistance; slope steepness.

Шановні колеги!

Передплата на загальногалузевий науково-виробничий журнал завжди триває!

Її ви можете оформити за «Каталогом видань України» та «Каталогом видань зарубіжних країн»:

- ❖ у відділеннях поштового зв'язку
- ❖ в операційних залах поштамтів
- ❖ у пунктах приймання передплати
- ❖ на сайті ДП «Преса» www.presa.ua
- ❖ на сайті УДППЗ «Укрпошта» www.ukrposhta.ua

ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС

74224



Підтримуйте фахове галузеве видання — завжди надійне джерело достовірної інформації!