

ТЕХНІКА ТА ПРИСТРОЇ НВЧ ДІАПАЗОНУ

УДК 621.372.853

УЗАГАЛЬНЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ НАВАНТАЖЕНЬ
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НВЧ ВУЗЛІВ

Костенко І.М., Рубан В.М., Мірських Г.О.

Наведено методику узагальнення впливу параметрів навантаження на характеристики НВЧ вузлів, яка надає можливість прогнозувати зміни вказаних характеристик при включенні НВЧ вузлів в радіоелектронні системи.

Вступ. Постановка задачі

Кінцева мета проектування будь-якого НВЧ вузла – його прогнозоване та ефективне функціонування в радіоелектронній системі (РЕС). При цьому, часто-густо залишаються поза увагою так звані параметри навантажень (включення) вузла, тобто навантаження на його входах-виходах (далі, для скорочення, і входи і виходи будемо звати входами), при включенні в робочий тракт тої чи іншої системи. Тим часом відомо [1], що характеристики НВЧ вузлів досить суттєво залежать від параметрів тракту, в який ці вузли включаються, що обов'язково слід враховувати в процесі проектування. Використовуючи відомі алгоритми аналізу НВЧ пристроїв [1], взагалі кажучи, можна на стадії проектування врахувати параметри навантажень вузла, однак лише за умови надання їм конкретних значень. В той же час саме параметри навантажень вузла на стадії його розробки мають невизначений характер, що призводить до обмеження можливості (а частіше до неможливості) використання отриманих розрахункових даних. Таким чином для ефективного використання вузла результати згаданих розрахунків необхідно узагальнити, надати їм вигляду, який би був зручним для розробників як вузлів, так і систем.

Основні положення методики

Суть запропонованого методу полягає в статистичному аналізі зміни характеристик вузла при зміні параметрів підключених до його входів навантажень (рис.1), тобто в статистичній обробці результатів розрахунку характеристик вузла, за умови, що параметри навантажень приймають визначену послідовність (сукупність) значень. Таку послідовність будемо називати узагальнюючою послідовністю (УП) параметрів навантажень і характеризувати імовірносними категоріями, тобто задавати функцією розподілення $P(\xi)$ імовірності можливих значень параметрів навантажень (символом ξ позначено параметр, який прийнято для характеристики навантаження, а саме комплексного коефіцієнта відбиття $\Gamma = \Gamma e^{j\varphi}$ або імпедансу $Z = Z^{j\psi}$,

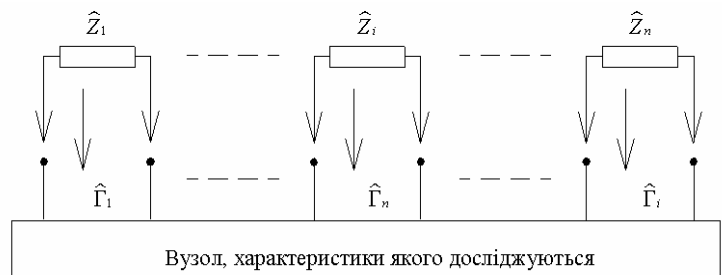


Рис. 1. НВЧ вузол з елементами навантажень

послідовністю (УП) параметрів навантажень і характеризувати імовірносними категоріями, тобто задавати функцією розподілення $P(\xi)$ імовірності можливих значень параметрів навантажень (символом ξ позначено параметр, який прийнято для характеристики навантаження, а саме комплексного коефіцієнта відбиття $\Gamma = \Gamma e^{j\varphi}$ або імпедансу $Z = Z^{j\psi}$,

де j - уявна одиниця, Γ , Z - модулі, φ , ψ – фази відповідних параметрів навантажень). В загальному випадку навантаження є комплексними величинами, УП (для кожного з параметрів) складається з двох послідовностей, одна визначає модуль $P(\Gamma_i)$ або $P(Z_i)$, а друга фазу $P(\varphi_i)$ або $P(\psi_i)$ відповідного (i -го) параметра.

Для практичного використання методу слід сформулювати вимоги до УП параметрів навантаження так, щоб отримані на підставі її використання результати мали чіткий фізичний зміст, дозволяли визначити межі придатності вузла за тих чи інших умов. Крім того, УП має бути зручною з точки зору її створення (генерації), а отримані результати придатними для ефективного використання відомих положень математичної статистики.

Побудова узагальнюючих послідовностей

Побудова УП параметрів навантажень визначається метою, яка має бути досягнута в результаті дослідження характеристик вузла. В контексті даної статті розглянемо побудову УП параметрів навантажень при різних вихідних посилках стосовно проектування вузла.

1. Вузол проектується як складова широкого вжитку.

В даному випадку параметри тракту, в якому передбачається використання вузла невідомі і вимоги до стабільності параметрів вузла відносно параметрів включення формулюються як: параметри вузла повинні задовольняти технічним вимогам при його включенні в тракт де на всіх входах забезпечується коефіцієнт відбиття, модуль якого не перевищує G_i , а фаза φ_i має довільне значення в діапазоні від 0 до 2π рад. За таких вимог УП для $i = 1, 2, \dots, n$ можна визначити як

$$P(\Gamma_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } \Gamma_i < G_i, \\ 1, & \text{при } \Gamma_i \geq G_i. \end{cases} \quad \text{і} \quad P(\varphi_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } 0 \leq \varphi_i \leq 2\pi, \\ 0, & \text{при } \varphi_i > 2\pi \end{cases}.$$

Тобто для значень модулю коефіцієнта відбиття слід прийняти найпростіше розподілення (ε -розподілення), а для фази – прямокутне (рівноймовірне) розподілення імовірностей.

2. Вузол проектується для використання в заданому тракті.

В даному випадку про параметри тракту є значно більше інформації і можна більш визначено говорити про зміни модуля і фази параметрів навантаження. Можна вважати, що модуль i -го параметра навантаження приймає більш-менш визначені значення, які групуються навколо найбільш імовірного. При цьому можна припустити два варіанти зміни значень фази i -го параметра навантаження в визначеному діапазоні $\varphi_{in} \leq \varphi_i \leq \varphi_{ik}$, а саме:

рівноймовірне (в тому числі з можливістю зміни в інтервалі від 0 до 2π);
з групуванням навколо найбільш імовірного значення.

В реальних системах кожне (i -е) навантаження є результат спільного впливу значної кількості складових, які для даного розглядання можна вважати незалежними (наявність багаторазових відбиттів не змінить зага-

льної картини, а лише збільшить кількість складових). Спираючись на принцип суперпозиції, який справедливий в лінійних НВЧ системах, можна представити коефіцієнт відбиття Γ адитивною функцією. Кожен доданок цієї функції - імовірнісна величина. На підставі відомих положень математичної статистики [2] можна стверджувати, що за вказаних умов закон розподілення імовірностей коефіцієнту відбиття Γ (як і інших форм відображення параметрів навантаження, які є функціями коефіцієнту відбиття) є асимптотично нормальним.

Враховуючи вказане, з визначеної мірою достовірності можна вважати, що при групуванні навколо визначеного найбільш імовірного значення модуля (або фази) параметра навантаження, закон розподілення відповідної величини є асимптотично нормальним. За цих умов УП параметрів навантажень вузла, що проектується для використання в тракту конкретної системи матимуть вигляд:

$$\text{для модулю коефіцієнта відбиття } P(\Gamma_i) = \Phi\left(\frac{\Gamma_i - M_{\Gamma_i}}{\sigma_{\Gamma_i}}\right)$$

для фази коефіцієнту відбиття

$$P(\varphi_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } \varphi_{\text{ін}} \leq \varphi_i \leq \varphi_{\text{ік}}, \\ 0, & \text{при } \varphi_i > \varphi_{\text{ік}}, \varphi_i < \varphi_{\text{ін}}, \end{cases} \quad \text{або } P(\varphi_i) = \Phi\left(\frac{\varphi_i - M_{\varphi_i}}{\sigma_{\varphi_i}}\right),$$

де Φ - нормальна функція розподілення імовірності; $M_{\Gamma_i}, \sigma_{\Gamma_i}, M_{\varphi_i}, \sigma_{\varphi_i}$ математичні очікування та середньоквадратичні відхилення модуля та фази коефіцієнту відбиття i -го параметра навантаження.

УП може бути використана і для отримання інформації стосовно можливості "катастрофічних" змін характеристик вузла при деяких значеннях навантажень (самозбудження, додаткові резонансні явища, "розвалювання" характеристики, ін.). На наявність таких змін, взагалі кажучи, вказує величина дисперсії: чим ця величина більша тим більша і чутливість характеристик до параметрів навантажень. Більшу інформацію можна отримати, якщо в процесі обробки результатів розрахунків поруч з математичним очікуванням характеристик визначати величину медіани їх розподілення. Різниця в значеннях медіани і математичного очікування вказує на існування таких значень параметрів включення, при яких характеристики вузла "катастрофічно" відхиляються від номінальних.

Алгоритм дослідження вузла при довільних значеннях параметрів навантаження з узагальненням отриманих результатів матиме вигляд: відповідно до характеру використання вузла визначити характеристики УП параметрів навантаження; генерувати УП; розрахувати шукані характеристики вузла при отриманих значеннях параметрів навантаження на його входах; на підставі отриманих значень характеристик вузла розрахувати їх статистичні параметри (математичних сподівань, дисперсій, медіан, ін.); розрахунки проводити до отримання необхідних параметрів надійності ре-

зультатів.

Приклад використання методики

Для ілюстрації використання запропонованої методики розглянемо результати узагальнення впливу параметрів навантажень на величину втрат смугопропускаючих НВЧ фільтрів в середині смуги пропускання (резонансних втрат). Для дослідження були вибрані каскадні моделі фільтрів з двома, трьома та чотирма резонаторами, кожен з яких включений в "розріз" тракту, утворюючи одну ступінь каскаду. "Розмір" УП вибирався так, щоб при довірчій імовірності 0,95 забезпечити довірчий інтервал математичного очікування резонансних втрат M_L в межах $\pm 0,4\sigma_L$, а довірчий інтервал середньоквадратичного відхилення резонансних втрат σ_L в межах $\pm 0,3\sigma_L$, де σ_L – середньоквадратичне відхилення резонансних втрат. За вказаних умов УП складалася з 30 реалізацій.

Результати дослідження наведені на рис. 2, 3. При цьому вважалося, що фільтр включається в тракт, який забезпечує на обох його входах при незалежних і рівномірнорозподілених значеннях фази однакової модулі коефіцієнтів відбиття (для зручності на рисунках модуль коефіцієнта відбиття перераховано у коефіцієнт стоячої хвилі K_U).

Дані, наведені на рис. 2, показують що при зростанні K_U ма-

тематичне очікування резонансних втрат зростає, причому швидкість цього зростання збільшується по мірі зростання K_U .

На рис. 3 звертає на себе увагу більш сильна "чутливість" до зміни коефіцієнту відбиття характеристик НВЧ фільтрів з парною кількістю резонаторів. Це викликано більшою схильністю амплітудно-частотної характеристики фільтру з парною кількістю резонаторів до ефекту "розвалю ваня" під впливом реактивних складових навантажень.

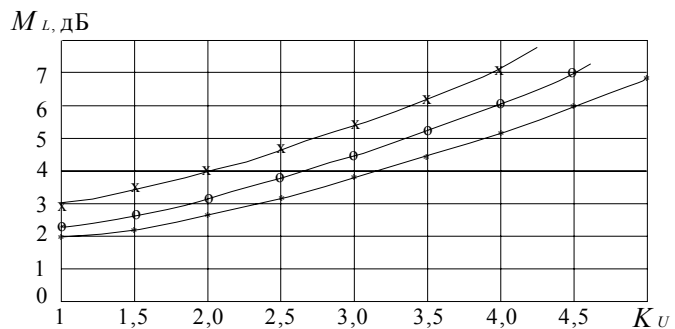


Рис. 2. Залежність від коефіцієнту стоячої хвилі тракту математичного очікування резонансних втрат НВЧ фільтра з двома (- * -), трьома (- o -) та чотирма (- x -) резонаторами.

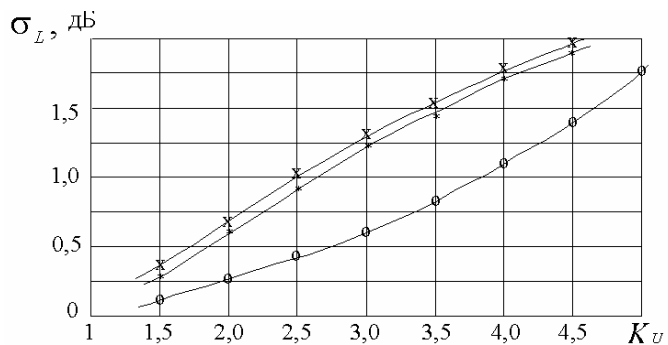


Рис. 3. Залежність від коефіцієнту стоячої хвилі тракту середньоквадратичного відхилення резонансних втрат НВЧ фільтра з двома (- * -), трьома (- o -) та чотирма (- x -) резонаторами.

Висновки

Запропонована методика дозволяє прогнозувати зміни характеристик вузлів на стадії їх проектування, запобігаючи небажаних наслідків впливу параметрів навантаження при використанні цих вузлів в системах

Література

1. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: пер. с англ.- М.: Радио и связь, 1990. - 288 с.
2. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. "Питер", СПб.: 2005, 479 с.

Костенко И.Н., Рубан В.Н., Мирских Г.А. Методика обобщения влияния параметров нагрузок на характеристики СВЧ узлов. Приведена методика обобщения влияния параметров нагрузок на характеристики СВЧ узлов, которая даёт возможность прогнозировать изменения указанных характеристик при включении СВЧ узлов в радиоэлектронные системы.	Kostenko I.M., Ruban V.M., Miskykh G.O. Method of generalization of influence of the parameters of loadings on the characteristics of UHF units. The method of generalization of influence of parameters of loadings on the characteristics of UHF units that enables to predict changes of the characteristics at inclusion of UHF units in the radioelectronics systems is given.
--	--