

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЛІНІЙНИХ ПАРАМЕТРИЧНИХ КІЛ ЗА УМОВИ КОНТРОЛЮ ЇХ СТІЙКОСТІ

Шаповалов Ю. І., д.т.н., доцент; Мандзій Б. А., д.т.н., професор;  
Бачик Д. Р., аспірант.

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

У роботі [1] показано, що частотний символічний метод (ЧС-метод) є ефективним засобом аналізу усталених режимів лінійних параметричних кіл у частотній області та оцінки їх асимптотичної стійкості. Метод базується на розв'язуванні диференціальних рівнянь типу рівняння Л. А. Заде [2] та апроксимації спряженої передавальної функції  $W(s, t)$  і нормальної передавальної функції  $G(s, \xi)$  ( $s$  — комплексна змінна,  $t$  — час,  $\xi$  — момент подачі на коло дельта-імпульсу) тригонометричним поліномом Фур'є. Функція  $W(s, t)$  за заданими вхідними сигналами визначає вихідні сигнали, а  $G(s, \xi)$  за наявності тільки від'ємних дійсних частин коренів знаменника — асимптотичну стійкість усталеного режиму кола [1].

Для формування функції цілі  $F$  та визначення оптимальних значень параметрів елементів параметричного кола використовуються спряжені передавальні функції, для оцінки стійкості — нормальні. Обчислення проводяться у середовищі MATLAB за допомогою програми SAPC [1].

Приймемо, що параметричним елементом кола є параметрична ємність, яка періодично змінюється у часі  $t$  за виразом:

$$c(t) = c_0(1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot t)). \quad (1)$$

Параметри  $c_0$  та  $m$  обираємо варійованими, тому при обчисленні передавальних функцій кола вони повинні бути залишені у вигляді символів. Змінюючи останні, необхідно визначити такі їх оптимальні значення  $c_0^*$  та  $m^*$ , що забезпечують максимальний збіг, нехай, модуля  $M_W$  передавальної функції кола  $W(c_0, m, \omega, t)$ , як функції характеристики, з модулем  $M_0(\omega, t)$  заданої функції, як функції мети, у частотних  $\omega_i$  та часових  $t_j$  точках за критерієм мінімуму суми квадратів відхилень:

$$F(c_0, m) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (M_W(c_0, m, \omega_i, t_j) - M_0(\omega_i, t_j))^2, \quad (2)$$

і у той же час забезпечують асимптотичну стійкість кола.

Визначення області стійкості кола приводить до нерівності:

$$m < f(c_0), \quad (3)$$

яка має такий зміст: при її виконанні коло асимптотично стійке, при невиконанні — не стійке.

Зміст процедури оптимізації полягає у тому, що:

1. За ЧС-методом формуємо знаменник  $\Delta_G(s)$  функції  $G(s, \xi)$  при символічних значеннях  $c_0$  та  $m$ .

2. Для кожного значення  $c_0$  з ряду значень заданого діапазону за допомогою  $\Delta_G(s)$  визначаємо граничне значення  $m_{zp}$ , при якому стійкість кола змінюється на нестійкість. Апроксимували визначену залежність  $m_{zp} = f(c_0)$  степеневим поліномом, визначаємо область асимптотичної стійкості кола у вигляді нерівності (3).

3. Функцію мети  $M_0(\omega, t)$  задаємо множиною значень у дискретних точках  $\omega_i, t_j$ . Функцію характеристики кола  $W(c_0, m, \omega, t)$  визначаємо ЧС-методом і обчислюємо множину її значень в тих самих дискретних точках  $\omega_i, t_j$ , що і  $M_0(\omega, t)$ , проте з символічними варійованими параметрами.

4. Функцію цілі  $F(c_0, m)$  формуємо у вибраних дискретних точках  $\omega_i, t_j$ , як поверхню в координатах варійованих параметрів.

5. Мінімальне значення функції цілі, визначене за функцією «patternsearch» при умовах стійкості кола  $m_{zp} < f(c_0)$  та фізичної реалізованості параметричного елемента  $c_0 > 0, 0 < m < 1$  визначає шукані значення варійованих параметрів.

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні основні висновки.

1. Частотний символічний метод аналізу усталених режимів лінійних параметричних кіл дає змогу розв'язувати оптимізаційні задачі проектування таких кіл у частотній області за умови контролю їх асимптотичної стійкості.

2. Для визначення зони стійкості необхідно розрахувати граничну залежність стійкості між варійованими параметрами і відтак апроксимувати її аналітичним виразом, на основі якого формується умова оптимізації для функції «patternsearch».

3. Поверхні функцій цілі у випадку лінійних параметричних кіл формуються з передавальних функцій, які, своєю чергою, представляються поверхнями, оскільки містять дві (а не одну, як у випадку лінійних кіл з постійними параметрами) незалежні змінні  $s$  та  $t$ .

4. Описаний підхід до оптимізації лінійних параметричних кіл не обмежує вибору кількості варійованих параметрів, оскільки цього не обмежує використаний частотний символічний метод.

#### **Література**

1. Шаповалов Ю. І. Розвиток теорії символічного аналізу лінійних параметричних кіл у частотній області: Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.09.05./ Шаповалов Юрій Іванович — Львів, 2012. — 413с.

2. Солодов А. В. Линейные автоматические системы с переменными параметрами / А. В. Солодов, Ф. С. Петров. — М. : Наука, 1971. — 620 с.