

**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», Львів, Україна

**OPTIMIZATION OF LINEAR PARAMETRIC CIRCUITS BY THE CONTROL
OF STABILITY**

*Shapovalov Yu., Doc. Of Sci (Technics), associate professor;
Mandziy B., Doc. Of Sci (Technics), Professor; Bachyk D., postgraduate student
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine*

Вступ

У роботах [1-5] показано, що частотний символічний метод (ЧС-метод) є ефективним засобом аналізу усталених режимів лінійних параметричних кіл у частотній області. Цей метод ґрунтується на розв'язуванні рівняння Л.А.Заде [3] та апроксимації спряженої передавальної функції $W(s,t)$ лінійного параметричного кола [4] тригонометричним поліномом Фур'є, який зручно представляти комплексною формою [5]

$$\hat{W}(s,t) = W_0(s) + \sum_{i=1}^k [W_{+i}(s) \cdot \exp(+j \cdot i \cdot \Omega \cdot t) + W_{-i}(s) \cdot \exp(-j \cdot i \cdot \Omega \cdot t)], \quad (1)$$

де $s = j\omega$ — комплексна змінна перетворення Лапласа, t — час, $T = 2\pi/\Omega$ — період зміни параметра параметричного елемента, k — кількість членів у апроксимаційному поліномі.

Оцінка стійкості (асимптотичної стійкості) кола також здійснюється на основі ЧС-методу, але за нормальною передавальною функцією $G(s, \xi)$ [4] (ξ — момент подачі на коло дельта-імпульсу), яка визначається з диференціального рівняння [3], подібного до рівняння Л.А.Заде, за умови її апроксимації таким же тригонометричним поліномом Фур'є виду (1).

Розв'язування обох згаданих диференціальних рівнянь Л.А.Заде та йому подібного за апроксимації розв'язків виразом (1) у обох випадках переводиться у розв'язування незалежної від часу системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), зазвичай, при тому, що s , та деякі або всі параметри елементів кола задані символами [2]. Результатом розв'язування СЛАР є шукані дробово-раціональні вирази $W_0(s)$, $W_{+i}(s)$, $W_{-i}(s)$ апроксимаційних поліномів виду (1). Значення k обирається таким, що забезпечує необхідну точність збігу функцій $W(s,t)$ та $\hat{W}(s,t)$, а також $G(s, \xi)$ та $\hat{G}(s, \xi)$ [1, 2].

Сформовані за ЧС-методом спряжена передавальна функція $W(s, t)$ за заданими вхідними сигналами визначає вихідні сигнали, а нормальна передавальна функція $G(s, \xi)$ за наявності тільки від'ємних дійсних частин коренів знаменника — асимптотичну стійкість усталеного режиму кола [4].

У пропонованій роботі для визначення оптимальних значень параметрів елементів параметричного кола використовуються згадані спряжені передавальні функції, для оцінки стійкості — нормальні. Обчислення проводяться у середовищі MATLAB за допомогою програми SAPC [5].

Формулювання задачі оптимізації

Зазвичай, у оптимізаційних задачах функцією цілі (критерієм оптимальності) називають функцію, яка оцінює якість проведеної оптимізації та передбачає наявність варійованих параметрів, значення яких в процесі оптимізації змінюються і впливають на значення функції цілі. Розв'язком оптимізаційної задачі вважають такі кінцеві значення варійованих параметрів, що забезпечують мінімальне (максимальне) значення функції цілі при заданих обмеженнях.

При оптимізації характеристик електричних кіл формування функції цілі часто відбувається за допомогою інших двох функцій — функції мети, що визначає бажані характеристики кола (мету оптимізації), та функції характеристики кола при обраних значеннях його варійованих параметрів. Функція мети визначається у просторі незалежних змінних, у нашому випадку, комплексної змінної s та часу t і не залежить від варійованих параметрів. Функція характеристики кола визначається у просторі тих же незалежних змінних s та t , проте залежить від варійованих параметрів. Мірою збігу цих двох функцій — функції мети та функції характеристики — і є функція цілі, яка формується на їх основі обраним методом [6]. При цьому збіг визначається для ряду конкретних значень незалежних змінних $s_i = j\omega_i$ та t_j , які, зазвичай, у процесі оптимізації залишаються фіксованими, а тому функція цілі є функцією тільки варійованих параметрів.

Область зміни варійованих параметрів обирається так, щоб вона знаходилась всередині області стійкості усталеного режиму кола в просторі цих же варійованих параметрів.

У роботі функція цілі F формується на основі передавальних функцій вигляду (1). Прийmemo, що параметричним елементом кола є параметрична емність, яка періодично змінюється у часі t за виразом:

$$c(t) = c_0(1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot t)). \quad (2)$$

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 модуля M_W передавальної функ-

ції кола $W(c_0, m, \omega, t)$ з модулем $M_0(\omega, t)$ заданої функції у частотних ω_i та часових t_j точках, нехай, за критерієм мінімуму суми квадратів відхилень [6]:

$$F(c_0, m) = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (M_W(c_0, m, \omega_i, t_j) - M_0(\omega_i, t_j))^2, \quad (3)$$

і у той же час забезпечують стійкість кола.

Визначення області стійкості кола приводить до нерівності:

$$m < f(c_0), \quad (4)$$

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

Функції $M_0(\omega, t)$ та $M_W(c_0, m, \omega, t)$ — це функція мети та функція характеристики, відповідно. Отже, розв'язування оптимізаційної задачі полягає у визначенні значень c_0^* та m^* , які забезпечують мінімальне значення функції цілі $F(c_0, m) = F_{\min}$, виконання умови стійкості кола $m^* < f(c_0^*)$ та умови фізичної реалізованості параметричного елемента: $c_0^* > 0$, $0 < m^* < 1$.

Процедура оптимізації

Процедуру оптимізації реалізуємо за такою методикою:

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 визначаємо граничне значення m_{zp} , при якому стійкість кола змінюється на нестійкість. Апроксимувавши визначену залежність $m_{zp} = f(c_0)$ степеневим поліномом, визначаємо область асимптотичної стійкості кола у вигляді нерівності (4).

3. Функцію мети $M_0(\omega, t)$, як функцію двох змінних, задаємо множиною значень у дискретних точках ω_i, t_j , як поверхню у координатах частота-час.

4. Функцію характеристики кола $W(c_0, m, \omega, t)$ визначаємо частотним символічним методом у вигляді (1) за умови, що варійовані параметри у ній задані символами. За отриманим виразом обчислюємо множину значень функції характеристики в тих самих дискретних точках ω_i, t_j , що і функцію мети, проте з невідомими (варійованими) параметрами, заданими у символічному вигляді.

5. Функцію цілі $F(c_0, m)$ (критерій оптимальності) формуємо як суму квадратів відхилень між значеннями функції характеристики та функції мети у вибраних дискретних точках ω_i, t_j , як поверхню в координатах варійованих параметрів.

6. Мінімальне значення функції цілі, визначене за одним з обраних методів оптимізації при умові стійкості кола $m < f(c_0)$ та умові фізичної реалізованості параметричного елемента кола $c_0^* > 0$, $0 < m^* < 1$, визначає шукані значення варійованих параметрів.

Оптимізація у наступному прикладі виконана засобами MATLAB за функцією [7,8]: «patternsearch».

Приклад

Провести оптимізацію і визначити величини c_0^* та m^* , що забезпечують мінімум функції цілі $F(c_0, m) = F_{\min}$, яка сформована у діапазоні частот ω_i та діапазоні часу t_j для параметричної передавальної функції

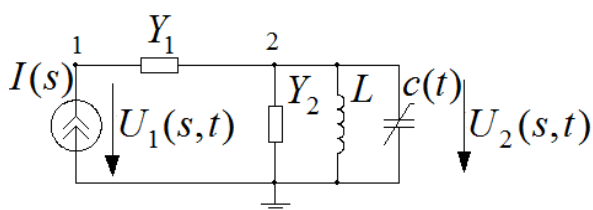


Рис.1. Одноконтурний параметричний підсилювач. $c(t) = c_0(1 + m \cdot \cos(4 \cdot 10^8 \pi t))$ Ф, $I(s) = 10^{-4} \exp(j \cdot 2 \cdot 10^8 \pi t - \pi/4)$ А, $L = 253.3$ нГн, $Y_1 = 0.25$ См, $Y_2 = 0.4$ мСм, $\Omega = 4 \cdot 10^8 \pi$.

$Z(s, t) = U_2(s, t) / I(s)$ одноконтурного параметричного підсилювача з рис.1 при умові його асимптотичної стійкості та фізичній реалізованості параметричного елемента $c(t)$.

За процедурою оптимізації виконуємо наступні дії.

1. За ЧС-методом формуємо знаменник $\Delta_G(s)$ функції $G(s, \xi)$ від струму сигналу $I(s)$ у напругу $U_2(s, t)$ для кола з рис.1 при символічних значеннях c_0 , m та s :

$$\begin{aligned} \Delta_G(s) = & \left(-0.20315e - 44 \cdot c_0^3 + 0.10157e - 44 \cdot c_0^3 \cdot m^2 \right) \cdot s^6 + \left(-0.24378e - 47 \cdot \right. \\ & \cdot c_0^2 + 0.40630e - 48 \cdot c_0^2 \cdot m^2 \left. \right) \cdot s^5 + \left(-0.64161e - 26 \cdot c_0^3 + 0.40100e - 38 \cdot c_0^2 \cdot \right. \\ & \cdot m^2 - 0.97511e - 51 \cdot c_0 + 0.32079e - 26 \cdot c_0^3 \cdot m^2 - 0.24060e - 37 \cdot c_0^2 \left. \right) \cdot s^4 + \\ & + \left(0.64161e - 30 \cdot c_0^2 \cdot m^2 - 0.19248e - 40 \cdot c_0 - 0.13001e - 54 - 0.51327e - 29 \cdot \right. \\ & \cdot c_0^2 \left. \right) \cdot s^3 + \left(-0.38497e - 44 - 0.63324e - 20 \cdot c_0^2 \cdot m^2 + 0.25329e - 8 \cdot c_0^3 \cdot m^2 - \right. \\ & - 0.50658e - 8 \cdot c_0^3 - 0.96528e - 31 \cdot c_0 \left. \right) \cdot s^2 + \left(-0.38199e - 34 - 0.20263e - 11 \cdot \right. \\ & \cdot c_0^2 \left. \right) \cdot s - 0.12703e - 24 + 0.99997e - 13 \cdot c_0 - 0.19999e - 1 \cdot c_0^2 . \end{aligned} \quad (5)$$

Вираз (5) є розв'язком диференціального рівняння [5]:

$$\begin{aligned} \left(1 + Y_2 \cdot s \cdot L + L \cdot c_0 \cdot (1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot \xi)) \cdot s^2 \right) \cdot G(s, \xi) + \left(-Y_2 \cdot L - 2 \cdot L \cdot c_0 \cdot \right. \\ \left. \cdot (1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot \xi)) \cdot s \right) \cdot G'(s, \xi) + \left(L \cdot c_0 \cdot (1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot \xi)) \right) \cdot G''(s, \xi) = 1 \end{aligned} \quad (6)$$

яке, своєю чергою, витікає з диференціального рівняння, що описує коло з рис.1 відносно вхідного струму $i(t)$ та напруги $u_2(t)$:

$$u_2'' \cdot c(t)L + u_2' \cdot (LY_2 + 2c'(t)L) + u_2 \cdot (Lc''(t) + 1) = i'L. \quad (7)$$

2. За коренями полінома (5) при різних c_0 визначаємо граничні значення параметра m_{zp} , що формують межу зони нестійкості. Зона нестійкості, визначена за ЧС-методом, показана на рис.2, значення m_{zp} наведені у табл. 1.

З табл. 1, апроксимуючи граничну криву степеневим поліномом четвертого степеня, визначаємо аналітичний вираз для зони стійкості у вигляді:

$$m < 3.7912e45 \cdot c_0^4 - 1.8939e35 \cdot c_0^3 + 3.5213e24 \cdot c_0^2 - 2.87963e13 \cdot c_0 + 87.4433. \quad (8)$$

Оскільки функція «patternsearch» вимагає нестрогої нерівності, то з запасом, наприклад, 5% можемо записати:

$$0,95m_{zp} \leq 3.7912e45 \cdot c_0^4 - 1.8939e35 \cdot c_0^3 + 3.5213e24 \cdot c_0^2 - 2.87963e13 \cdot c_0 + 87.4433.$$

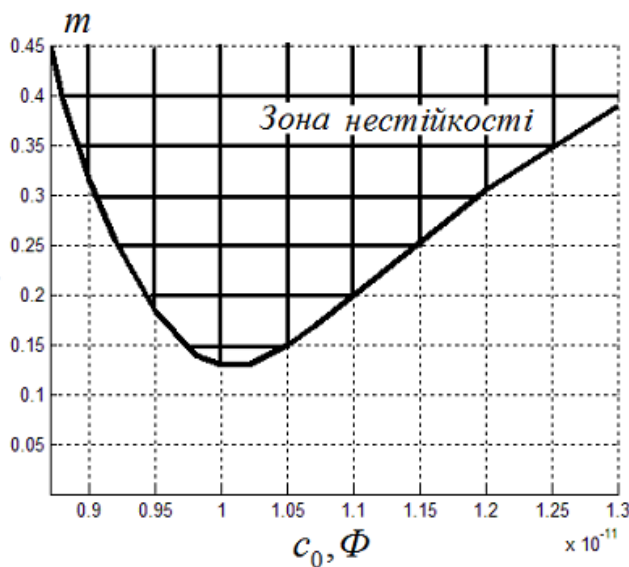


Рис.2. Зона нестійкості, визначена за ЧС-методом

Таблиця 1.

№ п/п	c_0, Φ	m_{zp}
1	8.7e-12	0.450
2	8.8e-12	0.395
3	9e-12	0.315
4	9.2e-12	0.254
5	9.5e-12	0.184
6	9.8e-12	0.140
7	10e-12	0.129
8	10.2e-12	0.130
9	10.5e-12	0.150
10	10.7e-12	0.168
11	11e-12	0.200
12	12e-12	0.305
13	13e-12	0.389

Отриману нерівність використовуємо при застосуванні функції оптимізації «patternsearch».

3. Згідно ЧС-методу [1,2,4] параметрична передавальна функція $Z(s, t)$ має вигляд:

$$Z(m, c_0, s, t) = \frac{U_2(s, t)}{I(s)} = Z_0(m, c_0, s) + Z_{-1}(m, c_0, s) \cdot \exp(-j \cdot 4\pi 10^8 \cdot t) + Z_{+1}(m, c_0, s) \cdot \exp(j \cdot 4\pi 10^8 \cdot t), \quad (9)$$

де дробово-раціональні вирази

$$Z_0(m, c_0, s) = \frac{z_0(m, c_0, s)}{\Delta_z(m, c_0, s)}, \quad Z_{-1}(m, c_0, s) = \frac{z_{-1}(m, c_0, s)}{\Delta_z(m, c_0, s)},$$

$Z_{+1}(m, c_0, s) = \frac{z_{+1}(m, c_0, s)}{\Delta_z(m, c_0, s)}$ при символічних значеннях s, m, c_0 мають вигляд:

$$z_0(m, c_0, s) = -0.25330e - 6 \cdot (0.25330e - 6 \cdot c_0 \cdot s^2 + (-636.61 \cdot i \cdot c_0 + 0.10132e - 9) \cdot s + 1 - 0.12732 \cdot i - 0.40000e12 \cdot c_0) \cdot (0.25330e - 6 \cdot c_0 \cdot s^2 + (636.61 \cdot i \cdot c_0 + 0.10132e - 9) \cdot s + 1 + 0.12732 \cdot i - 0.40000e12 \cdot c_0) \cdot s;$$

$$z_{-1}(m, c_0, s) = 0.25330e - 6 \cdot s \cdot (0.25330e - 6 \cdot c_0 \cdot s^2 + (636.61 \cdot i \cdot c_0 + 0.10132e - 9) \cdot s + 1 + 0.12732 \cdot i - 0.40000e12 \cdot c_0) \cdot (0.12665e - 6 \cdot c_0 \cdot s^2 \cdot m - 318.31 \cdot i \cdot c_0 \cdot m \cdot s - 0.19999e12 \cdot c_0 \cdot m);$$

$$z_{+1}(m, c_0, s) = 0.25330e - 6 \cdot (0.25330e - 6 \cdot c_0 \cdot s^2 + (-636.61 \cdot i \cdot c_0 + 0.10132e - 9) \cdot s + 1 - 0.12732 \cdot i - 0.40000e12 \cdot c_0) \cdot (0.12665e - 6 \cdot c_0 \cdot s^2 \cdot m + 318.309445 \cdot i \cdot c_0 \cdot m \cdot s - 0.199993015e12 \cdot c_0 \cdot m) \cdot s;$$

$$\Delta_z(m, c_0, s) = \left(-0.16252e - 19 \cdot c_0^3 + 0.81260e - 20 \cdot c_0^3 \cdot m^2 \right) \cdot s^6 + \left(-0.19502e - 22 \cdot c_0^2 + 0.32504e - 23 \cdot c_0^3 \cdot m^2 \right) \cdot s^5 + \left(-0.51327e - 1 \cdot c_0^3 - 0.78009e - 26 \cdot c_0 - 0.19248e - 12 \cdot c_0^2 + 0.32080e - 13 \cdot c_0^2 \cdot m^2 + 0.25665e - 1 \cdot c_0^3 \cdot m^2 \right) \cdot s^4 + \left(-0.15399e - 15 \cdot c_0 - 0.10401e - 29 - 0.41061e - 4 \cdot c_0^2 + 0.51328e - 5 \cdot c_0^2 \cdot m^2 \right) \cdot s^3 + \left(-0.77222e - 6 \cdot c_0 - 50658 \cdot c_0^2 \cdot m^2 - 0.40528e17 \cdot c_0^3 + 0.20263e17 \cdot c_0^3 \cdot m^2 - 0.30797e - 19 + 7.7079 \cdot c_0^2 \right) \cdot s^2 + \left(-0.30560e - 9 + 0.56296e - 2 \cdot c_0 - 0.16211e14 \cdot c_0^2 \right) \cdot s - 1.0162 - 0.16000e24 \cdot c_0^2 + 0.80000e12 \cdot c_0.$$

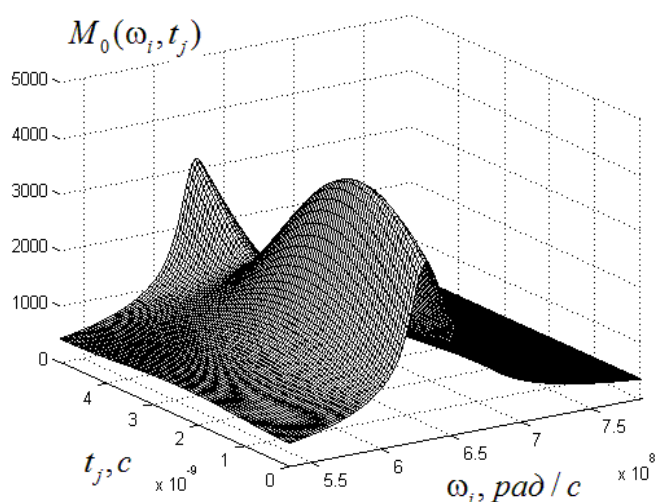


Рис.3. Модуль $M_0(\omega_i, t_j)$ функції мети одно-контурного параметричного підсилювача.

$M_0(\omega_i, t_j)$ у вигляді модуля передавальної

функції кола $Z(\omega_i, t_j)_0 = Z_0(\omega_i) + Z_{-1}(\omega_i) \cdot \exp(-j \cdot 4\pi 10^8 \cdot t_j) +$

Функцію мети в даному прикладі оберемо у такий спосіб, щоб підсилювач з рис.1 зміг її реалізувати, і визначимо її виразом (9), обравши значення c_0 та m довільно в межах фізичної реалізованості параметричного елемента. Ці значення повинні бути знайдені за результатом подальшої оптимізації як c_0^* та m^* , що свідчатиме про коректність процесу оптимізації.

Задамо функцію мети

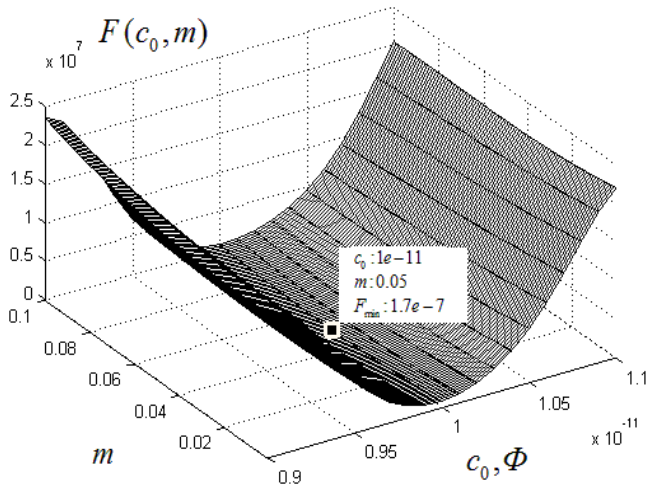


Рис.4. Функція цілі $F(c_0, m)$ в координатах c_0 та m

гляді модуля $M_Z(c_0, m, \omega_i, t_j)$ передавальної функції

$Z(m, c_0, \omega_i, t_j) = Z_0(m, c_0, \omega_i) + Z_{-1}(m, c_0, \omega_i) \cdot \exp(-j \cdot 4\pi 10^8 \cdot t_j) + Z_{+1}(m, c_0, \omega_i) \cdot \exp(+j \cdot 4\pi 10^8 \cdot t_j)$ кола при $\omega = \omega_i, t = t_j$, що обрані за аналогією з функцією мети: $1.7 \cdot \pi \cdot 10^8 - 2.5 \cdot \pi \cdot 10^8$ рад/с з кроком $0.02 \cdot \pi \cdot 10^8$ рад/с та $0 - 5 \cdot 10^{-9}$ с з кроком $0.05 \cdot 10^{-9}$ с, відповідно.

5. За виразом (3) формуємо функцію цілі у діапазоні частот ω_i та діапазоні часу t_j у вигляді:

$$F(c_0, m) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{11} (M_Z(c_0, m, \omega_i, t_j) - M_0(\omega_i, t_j))^2, \quad (10)$$

На рис.4 наведено графічний вигляд функції цілі $F(c_0, m)$ при обраних значеннях c_0, m в межах $9 \cdot 10^{-12} - 11 \cdot 10^{-12} \Phi$ з кроком $0.02 \cdot 10^{-12} \Phi$ та $0.001 - 0.1$ з кроком 0.001 , відповідно, для тих же значень t_j та ω_i , що й для функцій мети та характеристики кола.

6. За функцією оптимізації «patternsearch» при виконанні визначеної умови стійкості кола (8) та при початкових значеннях $c_0 = 0.9 \cdot 10^{-11} \Phi, m = 0.01$ за 7 ітерацій визначено мінімум F_{\min} при $c_0^* = 1 \cdot 10^{-11}$ та $m^* = 0.05$, позначений на рис.4 символом \blacksquare . Ці значення збігаються з обраними вище при формуванні функції мети.

Висновки

1. Частотний символічний метод аналізу усталених режимів лінійних параметричних кіл дає змогу розв'язувати оптимізаційні задачі проекту-

+ $Z_{+1}(\omega_i) \cdot \exp(+j \cdot 4\pi 10^8 \cdot t_j)$ при $c_0 = 10$ пФ, $m = 0.05$ та $\omega = \omega_i, t = t_j$. На рис.3 наведено графічний вигляд модуля $M_0(\omega_i, t_j)$ функції мети при значеннях t_j та ω_i , обраних в межах

$1.7 \cdot \pi \cdot 10^8 - 2.5 \cdot \pi \cdot 10^8$ рад/с з кроком $0.02 \cdot \pi \cdot 10^8$ рад/с та $0 - 5 \cdot 10^{-9}$ с з кроком $0.05 \cdot 10^{-9}$ с, відповідно.

4. Функцію характеристики підсилювача обираємо у вигляді передавальної функції

вання 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 – комплексну змінну s та час t .

4. Для наведеного прикладу використана функція оптимізації MATLAB 7.6.0 «patternsearch» правильно визначила мінімум цільової функції за 7 ітерацій.

5. Максимальні значення змінних i та j функції цілі визначені практичними можливостями MATLAB 7.6.0 у комп'ютері з процесором AMD TurionX2 Dual Core Mobile RM-76 2.30 GHz та оперативною пам'яттю 3,00 ГБ.

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

Література

1. Shapovalov Yu. The peculiarities of analysis of linear parametric circuit performed by frequency-symbolic method / Yu. Shapovalov, B. Mandziy, S. Mankovsky // Przegląd Elektrotechniczny. — 2010. — Vol.86, № 1. — P.158—160.

2. Шаповалов Ю.І. Символьний аналіз лінійних параметричних кіл: стан питань, зміст і напрямки застосування / Ю. І. Шаповалов, Б. А. Мандзій // Теоретична електротехніка. — 2007. — Вип. № 59.— С.3—9.

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

4. Шаповалов Ю. І. Частотний символний метод оцінки асимптотичної стійкості лінійних параметричних кіл / Ю. І. Шаповалов, Б. А. Мандзій, Д. Р. Смаль // Міжнародний науковий журнал "Комп'ютинг". — 2012. — Том 11. — Випуск 2.— С. 156—165.

5. Шаповалов Ю. І. Розвиток теорії символного аналізу лінійних параметричних кіл у частотній області: Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: спец. 05.09.05. «Теоретична електротехніка» / Шаповалов Юрій Іванович; Національний університет «Львівська політехніка». — Львів, 2012. — 413 с.

6. Автоматизация схемотехнического проектирования / [В. Н. Ильин, В. Т. Фролкин, А. И. Бутко и др.]; под ред. В. Н. Ильина. — М. : Радио и связь, 1987. — 368 с.

7. Трунов О. М. Довідник. Matlab7.0. Optimization functions / О. М. Трунов, С. О. Волкова. — Миколаїв : МДГУ ім. Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія», 2008. — 68 с.

8. Триус Ю. В. Оптимізація багатоекстремальних функцій за допомогою гібридних методів у середовищі MATLAB R2007A / Ю. В. Триус, В. Ю. Триус // Вісник Черкаського університету. Серія «Прикладна математика. Інформатика». — 2010. — Випуск № 172. — С. 104—122.

References

1. Shapovalov Yu. The peculiarities of analysis of linear parametric circuit performed by frequency-symbolic method / Yu. Shapovalov, B. Mandziy, S. Mankovsky // Przegląd Elektrotechniczny. – 2010. – Vol.86, № 1. – P.158–160.
2. Shapovalov Yu.I. Symvolnyi analiz liniinukh parametrychnykh kil: stan pytannia i napriamy zastosuvannia / Yu.I. Shapovalov , B.A. Mandziy // Teoretychna elektrotekhika. - 2007. - Vup.№ 59. - S.3-9.
3. Solodov A.V. Lineinuiie avtomatichieskiie sistiemu s pieriemiennumi paramietrami /A.V. Solodov,F.S. Pietrov. -M.:Nauka, 1971.- 620 s.
4. Shapovalov Yu.I. Chastotnyi symvolnyi metod ocinky asymptotychnoi stiikosti liniinukh parametrychnykh kil / Yu. I. Shapovalov, B.A. Mandziy, D.R. Smal. // Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal “Komp'iutynh”. - 2012. - Tom 11.- Vypusk 2.- S. 156-165.
5. Shapovalov Yu.I. Rozvytok teorii symvolnoho analizu liniinukh parametrychnykh kil u chastotnii oblasti: Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia doktora tekhnichykh nauk: spets. 05.09.05. «Tepretychna elektrotekhika» / Shapovalov Yurii Ivanovych; Natsionalnyi Universytet «Lvivska politekhnika». – Lviv, 2012. – 413 s.
6. Avtomatizatsiia skhemotiekhnichieskoho proiektirovaniia / [V.N Ilin, V.T. Frokin , A. I. Butko i dr.] pod ried. V.N Iliina. – M.:Radio i sviaz, 1987. – 368 s.
7. Trunov O.M. Dovidnyk. Matlab7.0. Optimization functions / O.M. Trunov, S.O. Volkova. – Mykolaiv : MDHU im. Petra Mohyly kompleksu «Kyievo-Mohylianska akademiia», 2008. – 68 s.
8. Tryus Yu.V. Optymizatsiia bahatoekstremalnykh funktsii za dopomohoiu hibrydnykh metodiv u seredovyshchi MATLAB R2007A / Yu.V. Tryus, V. Yu. Tryus // Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriia «Prykladna matematika. Informatyka». - 2010. – Vypusk № 172. – S. 104-122.

Шаповалов Ю. И., Мандзий Б. А., Бачик Д. Р. Оптимізація лінійних параметричних кіл за умови контролю їх стійкості. Розглянуто можливість застосування частотного символного методу аналізу лінійних параметричних кіл до розв'язування оптимізаційної задачі за контролю стійкості усталеного режиму. Наведено приклади оптимізації одноконтурного параметричного підсилювача за функцією цілі, що основана на обчисленні параметричних передавальних функцій за апроксимації їх тригонометричними поліномами Фур'є. Допустима область зміни варійованих параметрів визначається з попередньої оцінки асимптотичної стійкості кола.

Ключові слова: частотний символний метод, асимптотична стійкість, функція цілі, функція характеристика.

Шаповалов Ю. И., Мандзий Б. А., Бачик Д. Р. Оптимизация линейных параметрических цепей при условии контроля их устойчивости. Рассмотрена возможность применения частотного символного метода анализа линейных параметрических цепей к решению оптимизационной задачи при контроле устойчивости установившегося режима. Приведены примеры оптимизации одноконтурного параметрического усилителя с целевой функцией, основанной на вычислении параметрических передаточных функций, аппроксимированных тригонометрическими полиномами Фурье. Допустимая область изменения варьируемых параметров определяется на основании предварительной оценке асимптотической устойчивости цепи.

Ключевые слова: частотный символный метод, асимптотическая устойчивость, функция цели, функция характеристика.

Shapovalov Yu., Mandziy B., Bachyk D. Optimization of linear parametric circuits by the control of stability.

Introduction. A brief description of the symbolic frequency method for linear parametric circuit analysis is adduced. In particular it comes to parametric transfer functions and assessment of asymptotic stability of such circuits.

The formulation of optimization task. The objective function formation is done via two functions - the function of goal defined by desirable circuit characteristics (goal of optimization) and function characteristics of circuit defined by the selected values of the varied parameters during optimization of electrical circuit characteristics. The coincidence degree of these two functions is objective function which is formed on their basis by the chosen method.

The procedure of optimization. The solution of optimization task is determining the values c_0^* and m^* that provide minimum value of objective function, satisfy the condition of circuit stability and conditions of physical parametric element realizability.

Example. There is example of single-circuit parametric amplifier optimization using the objective function based on the calculation of parametric circuit transfer function with a symbolic representation of the parametric capacity parameters.

Conclusions. Frequency symbolic analysis method allows solving optimization task of parametric linear circuits designing in the frequency domain based on use of the frequency symbolic transfer functions which are approximated by trigonometric polynomials of Fourier, particularly in complex form.

Keywords: frequency symbolic method, asymptotic stability, objective function, function – characteristics.