

Оптимізація радіоелектронних схем за коефіцієнтом нелінійних спотворень

Ігор Заячук¹, Любомира Кіт²

¹ с. н. с., к. т. н., Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Дж. Дудаєва, 15, Львів, 79005, e-mail: igorzaj@litech.lviv.ua

² Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Дж. Дудаєва, 15, Львів, 79005

Розроблено методику оптимізації за коефіцієнтом гармонік електричних кіл, які описують системою нелінійних алгебраїчних рівнянь. Методами якісного аналізу встановлено зв'язок між коефіцієнтом гармонік і статичним режимом роботи схеми, а відтак, за допомогою оптимізаційних процедур, здійснюють оптимальний вибір параметрів, що забезпечують цей режим.

Ключові слова: коефіцієнт гармонік, коефіцієнт підсилення, електрична схема, споживана потужність, цільова функція.

Вступ. Для пошуку оптимальних значень параметрів радіоелектронної схеми, як правило, використовують класичні методи оптимізації, які викликають труднощі, пов'язані з числовими затратами і формуванням цільової функції для кожного конкретного випадку. Незважаючи на це, класичні методи успішно використовуються для оптимального проектування нелінійних радіоелектронних схем, а отримані результати висвітлені у багатьох наукових роботах. Так, у праці [1] розв'язується задача лінійного програмування для пошуку параметрів резистивної частини кола. Тут якість роботи схеми виражається лінійною цільовою функцією і задаються вимоги до режиму роботи схеми. У роботі [2] розв'язується задача нелінійного програмування для пошуку бажаного режиму за середньоквадратичного критерію.

Використання існуючих алгоритмів спільно з універсальними програмами аналізу, які описують коло в довільних координатних базисах, викликає певні труднощі. Тому в даній роботі пропонується методика оптимізації радіоелектронних схем, у якій критерієм оптимальності роботи схеми є коефіцієнт нелінійних спотворень (вибрано коефіцієнт гармонік, як частковий випадок). Оптимального значення коефіцієнта гармонік від параметрів схеми можна досягти, використовуючи методи якісного аналізу спільно з методами оптимізації. Методами якісного аналізу [3] встановлюється зв'язок між коефіцієнтом гармонік і режимом роботи схеми, а тоді оптимальним вибором параметрів кола забезпечується такий режим.

Методика оптимізації радіоелектронних схем за коефіцієнтом гармонік

Нехай досліджувана радіоелектронна схема описується системою рівнянь

$$\begin{aligned} \mathbf{A}x + f(x) &= b^{(0)} + ay_{ex}, \\ y_{вих.} &= c^T x + gy_{ex} + W^{(0)}, \end{aligned} \quad (1)$$

де \mathbf{A} — матриця розміру $n \times n$, x — n -вимірний вектор невідомих, $f(x) = (f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n))^T$ — n -вимірна функція, $b^{(0)}$, a , c — n -вимірні вектори, $y_{ex.}(t)$, $y_{вих.}(t)$, g , $W^{(0)}$ — скаляри, n — кількість невідомих, T — операція транспонування.

Нехай вхідний сигнал $y_{ex.} = Y \cos t$, де Y — амплітуда вхідного сигналу.

Необхідно визначити параметри кола, за яких коефіцієнт гармонік для вхідного сигналу $y_{вих.}(t)$ був би мінімальним з урахуванням заданих обмежень.

Можливими обмеженнями є:

1) коефіцієнт підсилення

$$K_0 = \frac{Y_{вих.}}{Y},$$

де $Y_{вих.}$ — амплітуда першої гармоніки вихідного сигналу;

2) потужність, що споживає схема при значенні вхідного сигналу $y_{ex.} = 0$.

Розв'язок системи (1) при значенні вхідного сигналу $y_{ex.} = 0$ позначимо через $x^{(0)}$, $y_{вих.}^{(0)}$ і введемо нові змінні

$$z = x - x^{(0)}, v = y_{вих.} - y_{вих.}^{(0)}.$$

Тоді із системи (1) маємо

$$\mathbf{A}z + \mathbf{A}x^{(0)} + [f(x^{(0)} + z) - f(x^{(0)})] + f(x^{(0)}) = b^{(0)} + ay_{ex.},$$

$$y_{вих.}^{(0)} + v = c^T (x^{(0)} + z) + gy_{ex.}.$$

При зведенні подібних членів отримана система набуде вигляду

$$\mathbf{A}z + F(z) = ay_{ex.},$$

$$v = c^T z + gy_{ex.}, \quad (2)$$

де $F(z) = f(x^{(0)} + z) - f(x^{(0)})$.

Систему (2) будемо розв'язувати методом Ньютона. Приймавши за нульове наближення $z^{(0)} = 0$, отримаємо

$$z^{(1)} = [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} ay_{ex.}(t),$$

$$v^{(1)} = \left\{ c^T [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} a + g \right\} y_{ex}. \quad (3)$$

З рівності (3) знайдемо коефіцієнт підсилення K_0 , який за визначенням рівний

$$K_0 = c^T [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} a + g. \quad (4)$$

Для оцінки коефіцієнта гармонік з використанням модифікованого методу Ньютона [4] отримаємо друге наближення для системи (2)

$$z^{(2)} = [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} a y_{ex} - [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} [\mathbf{A}(\mathbf{A} + F'(0))]^{-1} a y_{ex} + F(z^{(1)} - a y_{ex}).$$

Після перетворень маємо

$$z^{(2)} = [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} a y_{ex} + [\mathbf{A} + F'(0)] F'(0) [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} a y_{ex} - [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} F(z^{(1)}).$$

З урахуванням структури функції $F(z)$ запишемо для неї наступне співвідношення

$$F(z^{(1)}) = F'(0) z^{(1)} + \varphi(z^{(1)}).$$

Тоді отримаємо такі вирази для $z^{(2)}$ та $v^{(2)}$

$$z^{(2)} = [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} a y_{ex} + [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} \varphi(z^{(1)}),$$

$$v^{(2)} = K_0 y_{ex} + c^T [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} \varphi(z^{(1)}).$$

За визначенням

$$\varphi(z) = f(x^{(0)} + z) - f(x^{(0)}) - f'(x^{(0)})z,$$

де $f' = \text{diag}(f'_1(x_1), f'_2(x_2), \dots, f'_n(x_n))^T$.

Введемо позначення $l = \left\{ [\mathbf{A} + F'(0)]^{-1} \right\}^T c$.

Тоді коефіцієнт підсилення K_0 та функція $v^{(2)}$ набувають вигляду

$$K_0 = \sum_{s=1}^n l_s a_s + g,$$

$$v^{(2)} = K_0 y_{ex} + \sum_{s=1}^n l_s \varphi_s(z^{(1)}).$$

З урахуванням сказаного вище, для заданого коефіцієнта підсилення задача мінімізації коефіцієнта гармонік полягає у наступному: мінімізувати функцію

$$W = \sum_{s=1}^n l_s \varphi_s(z^{(1)}), \quad (5)$$

де $z^{(1)} = (r_1 y_{ex}, r_2 y_{ex}, \dots, r_n y_{ex})^T$, $r = [A + F'(0)]^{-1} a$,
за умови

$$\sum_{s=1}^n l_s a_s + g \geq K_0. \quad (6)$$

Врахувавши у функції $\varphi(z)$ тільки квадратичні члени, запишемо

$$\varphi(z) = (\alpha_1 z_1^2, \alpha_2 z_2^2, \dots, \alpha_n z_n^2),$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — відомі константи. Тоді функція W набуває вигляду

$$W = \sum_{s=1}^n l_s \alpha_s^2 r_s^2 Y^2 \cos^2 \omega t = Y^2 \cos^2 \omega t \sum_{s=1}^n l_s \alpha_s^2 r_s^2.$$

У цьому випадку задача (5), (6) зводиться до мінімізації функції

$$\tilde{W} = \sum_{s=1}^n \alpha_s^2 r_s^2 l_s \quad (7)$$

за умови

$$\sum_{s=1}^n l_s a_s + g \geq K_0, \quad (8)$$

де $r = [A + F'(0)]^{-1} a$.

Висновки. Запропонована методика оптимізації за коефіцієнтом гармонік радіоелектронних схем значно спрощує процес оптимізації за величиною обчислень і часових затрат.

Відмінність запропонованого підходу від інших полягає у тому, що процес оптимізації поділено на два етапи — аналітичний розрахунок якісного характеру, за результатами якого надалі числовими методами проводиться пошук оптимальних значень параметрів схеми для вибраної цільової функції з заданими обмеженнями.

Розроблена методика може застосовуватися для проектування радіоелектронних схем.

Література

- [1] Бондарь М. А., Ланнэ А. А. Машинный метод расчета и оптимизации линейных резистивных цепей // Обмен опытом в радиоэлектронной промышленности. — 1973. — Вып. 10. — С. 15-19.

- [2] Fletcher R., Reves C. H. Function minimization by conjugate gradients // Comput. dis. — 1964. — V. 7. — P. 149-154.
- [3] Синицкий Л. А. Элементы качественной теории нелинейных электрических цепей. — Львов: Вища школа, 1975. — 152 с.
- [4] Логан Дж. Моделирование при проектировании схем и систем // Автоматизация в проектировании / Под. ред. Д. Калахана. — М.: Мир, 1972. — С. 112-122.

Optimization of Electronic Circuit Based on Non-Linear Distortion Coefficient

Igor Zayachuk, Lubomyra Kit

The optimization method based on the coefficient of harmonic electronic circuiti describing by the system of non-linear algebraic equations has been considered. Based on the qualitative analysis methods a relationships between harmonic coefficient and the static regime of circuit functioning is established. Further, this regime is supported by the optimal choice of parameters via optimization procedures.

Оптимизация радиоэлектронных схем по коэффициенту нелинейных искажений

Игор Заячук, Любомира Кит

Разработана методика оптимизации по коэффициенту гармоник электрических цепей, которые описывают системой нелинейных алгебраических уравнений. Методами качественного анализа установлена связь между коэффициентом гармоник и статическим режимом работы схемы, на основании чего с помощью оптимизационных процедур реализуют оптимальный выбор параметров, обеспечивающих этот режим.

Отримано 07.12.05