

Ж.А. КИРЕЕВА, канд. техн. наук.,

В.А. КИРЕЕВ, канд. техн. наук.,

И.В. ПОЛЯКОВ, канд. техн. наук

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОПУСКОВ НА КОМПОНЕНТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Розглянуто і реалізовано метод оптимізації допусків на компоненти радіоелектронних пристроїв, що поєднує теорію чутливості і штрафних функцій. Приведено приклад, що дозволяє судити про ефективність запропонованого методу.

Рассмотрен и реализован метод оптимизации допусков на компоненты радиоэлектронных устройств, которые объединяют теорию чувствительности и штрафных функций. Приведен пример, который позволяет судить про эффективность предложенного метода.

Введение. Проблема оптимизации допусков имеет важное техническое и экономическое значение, поскольку повышение требований к величине допусков на компоненты электронных цепей вызывает повышение стоимости радиоэлектронных устройств (РЭУ). В то же время эту проблему практически невозможно решить путем макетирования, поскольку проектировщик не имеет возможности изменять характеристики полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Цель работы – оптимизация допусков на компоненты электронных цепей с помощью ЭВМ.

Расчетные соотношения. Весьма эффективным для практики оказалось сочетание теории чувствительности и метода штрафных функций для решения задачи проектирования РЭУ с оптимальными допусками на его компоненты.

Функция чувствительности $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ электронной цепи определяется в [1] как

$$S_i = \frac{\partial y}{\partial x_i} = S_i(y, x_i). \quad (1)$$

Относительное отклонение характеристики определяется из соотношения (2)

$$\frac{\Delta y}{y} = \sum_{i=1}^N S_i \frac{\Delta x_i}{x_i}. \quad (2)$$

Чувствительность S_i можно определить из формулы

$$S_i = \frac{\left| y(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) - y(x_1, x_2, x_n, x_n) \right| x_i}{y(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \Delta x_i}. \quad (3)$$

На практике $\frac{\Delta x_i}{x_i}$ можно принять равным 0,001-0,01.

Для моделирования наихудшего случая определим верхний $\frac{\Delta y'}{y'}$ и нижний $\frac{\Delta y''}{y''}$ уход характеристики из выражений:

$$\frac{\Delta y'}{y} = \sum \alpha_i |S_i| \frac{d_i}{x_i}; \quad \frac{\Delta y''}{y''} = \sum -\alpha_i |S_i| \frac{d_i}{x_i}, \quad (4)$$

где α_i – величина допуска на i -й компонент.

Знак α_i определяется выражением $\alpha_i = \text{sign}(S_i)$.

Для обеспечения работоспособности РЭУ необходимо, чтобы верхний и нижний уходы характеристики не превышали допустимые D' и D'' :

$$\Delta y' \leq D'; \quad \Delta y'' \leq D''. \quad (5)$$

Условия (5) можно записать алгоритмически в виде штрафной функции:

$$\begin{aligned} \psi &= \psi' + \psi''; \\ \psi' &= \gamma_1 \|D' - \Delta y'\| - (D' - \Delta y'); \\ \psi'' &= \gamma_2 \|D'' - \Delta y''\| - (D'' - \Delta y''), \end{aligned} \quad (6)$$

где γ_1 и γ_2 – весовые коэффициенты.

Преимущества такой формы для ψ в том, что $\psi = 0$ в области допустимых $\Delta y < D$. Можно предположить, что стоимость элемента цепи C_i обратно пропорциональна допуску [2, 6] и определяется из соотношения

$$C_i = c_i \left[\frac{x_i}{d_i} \right]^n, \quad (7)$$

где n – коэффициент задаваемый приближенно; c_i – коэффициент, пропорциональный чувствительности S_i .

Теперь необходимо минимизировать функцию (8) с учетом ограничений (5), используя штрафную функцию (6)

$$C = \sum_{i=1}^N \left[c_i \left(\frac{x_i}{d_i} \right)^n \right] + \psi. \quad (8)$$

Минимизация функции (8) представляет собой задачу нелинейной оптимизации поскольку функция ψ является нелинейной.

Практика проектирования различных РЭУ с помощью программного комплекса [3, 4] позволила анализировать РЭУ, вычислять функции чувствительности и показала, что целевая функция (8) позволяет легко определить оптимальные допуски на компоненты РЭУ на компьютере.

На рис. 1 приведена схема полувзвена фильтра нижних частот, для которого вычислены допуски на элементы.

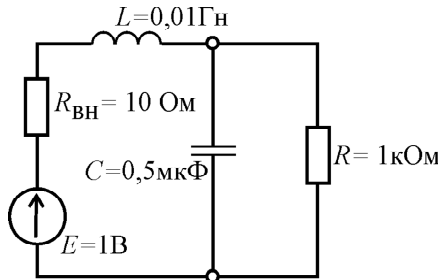


Рис. 1

Для сравнения приводятся допуски на элементы без учета и с учетом оптимизации. Результаты расчета следующие:

до оптимизации:

$$d(1)(R_{вн}, \%) = 1.4204515754E + 00;$$

$$d(2)(C, \%) = 8.8831386161E - 02;$$

$$d(3)(R, \%) = 1.261544902E - 01;$$

$$d(4)(L, \%) = 8.883138616E - 02,$$

после оптимизации:

$$d(1)(R_{вн}, \%) = 2.589783471E + 00;$$

$$d(2)(C, \%) = 1.619583938E - 01;$$

$$d(3)(R, \%) = 2.30006301E - 01;$$

$$d(4)(L, \%) = 1.61958393E - 01.$$

Выводы.

1. Оптимизация допусков на элементы РЭУ позволяет уменьшить их стоимость.

2. Разработанный комплекс программ позволяет анализировать ра-

диоэлектронные устройства в частотной области, вычислять чувствительности, определять допуски на компоненты и оптимизировать их в интерактивном режиме.

Список литературы: 1. *Гехер К.* Теория чувствительности и допусков электронных цепей. – М.: Сов. Радио, 1973. 2. *Калниболотский Ю.М., Казанджан Н.Н., Нестер В.В.* – К.: Техніка, 1982. 3. *Киреев В.А., Лахно В.И.* Алгоритмы и программы анализа чувствительностей электронных схем. – Харьков. 1992. 4. *Гаврюк В.С., Курилин В.И., Орехов Е.Ф., Ширяев В.В.* Расчет на ЦВМ допусков параметров элементов по заданным допускам выходных характеристик // Автоматизация проектирования в электронике. – 1972. – Вып. 5. – С. 53-58. 5. *Алексеев О.Г., Гаев С.М.* Оптимизация допусков на элементы систем автоматического управления. – В кн.: Технические средства автоматики. – М.: Наука, 1971. – С. 343-351. 6. *Кривошейкин А.В.* Расчет допусков на элементы микросхем по критерию стоимости // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. – 1976. – Т. 19. – № 6. – С. 108-112. 7. *Каширский И.С.* Минимизация чувствительности радиотехнических схем методом "крутых оврагов" // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. – 1969. – Т. XII. – № 8. – С. 845-851.

Поступила в редколлегию 15.10.2008