

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 пропонованого 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.

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.

В связи с этим задача оптимизация допусков на компоненты электронных цепей с помощью ЭВМ является актуальной.

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 характеристики электронной цепи

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

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 (3)

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

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

Для моделирования наихудшего случая определим верхний $\frac{\Delta y^{\mathcal{C}}}{y^{\mathcal{C}}}$ и нижний

$\frac{\Delta y^{\mathcal{C}}}{y^{\mathcal{C}}}$ уход характеристики из выражений

$$\frac{\Delta y^{\mathcal{C}}}{y^{\mathcal{C}}} = \dot{\mathbf{a}} \alpha_i |S_i| \frac{d_i}{x_i}$$

$$\frac{\Delta y^{\mathcal{C}}}{y^{\mathcal{C}}} = \dot{\mathbf{a}} - \alpha_i |S_i| \frac{d_i}{x_i}, \quad (4)$$

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 $D^{\mathcal{C}}$ и $D^{\mathcal{C}}$, т.е.

$$\begin{aligned} \Delta y^{\mathcal{C}} &\leq D^{\mathcal{C}} \\ \Delta y^{\mathcal{C}} &\leq D^{\mathcal{C}} \end{aligned} \quad (5)$$

Условия (5) можно записать алгоритмически в виде штрафной функции (6)

$$\begin{aligned} \psi^{\mathcal{C}} &= \gamma_1 \|D^{\mathcal{C}} - \Delta y^{\mathcal{C}}\| - (D^{\mathcal{C}} - \Delta y^{\mathcal{C}}) \\ \psi^{\mathcal{C}} &= \gamma_2 \|D^{\mathcal{C}} - \Delta y^{\mathcal{C}}\| - (D^{\mathcal{C}} - \Delta y^{\mathcal{C}}) \\ \psi &= \psi^{\mathcal{C}} + \psi^{\mathcal{C}} \end{aligned} \quad (6)$$

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 может быть определена из соотношения

$$C_i = c_i \frac{\dot{\mathbf{e}} x_i \dot{\mathbf{u}}^n}{\dot{\mathbf{e}} d_i \dot{\mathbf{u}}} \quad (7)$$

где коэффициент n может быть приближенно задан, а c_i коэффициент, пропорциональный чувствительности S_i . Теперь необходимо минимизировать функцию (8) с учетом ограничений (5), используя штрафную функцию (6).

$$C = \dot{\mathbf{a}} \sum_{i=1}^N \frac{\dot{\mathbf{e}} c_i \dot{\mathbf{e}} x_i \dot{\mathbf{e}} \dot{\mathbf{u}}^n}{\dot{\mathbf{e}} d_i \dot{\mathbf{e}} \dot{\mathbf{u}}} + \psi, \quad (8)$$

Это задача 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.

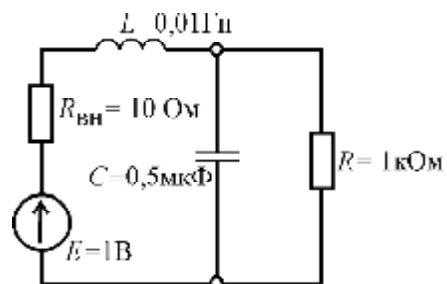


Рис. 1

На рис. 1 приведена схема полузвена фильтра нижних частот, для которого вычислены допуски на элементы. Для сравнения приводятся допуски на элементы без учета и с учетом оптимизации.

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

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

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

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

а после оптимизации:

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

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

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

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

Выводы:

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

2. Разработанный комплекс программ позволяет анализировать радиоэлектронные 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. Расчет на ЦВМ допусков параметров элементов по заданным допускам выходных характеристик. В.С. Гаврюк, В.И. Курилин, Е.Ф. Орехов, В.В. Ширяев.– 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 автоматизации. М., Наука, 1971, С. 343-351. 6. Кривошейкин А.В. Расчет допусков на элементы микросхем по критерию стоимости. – Изв. Вузов СССР, 1976, 19. Сер. Радиоэлектро-

ника, № 6, С. 108-112. 7. *Каширский И.С.* Минимизация чувствительности радиотехнических схем методом "круглых оврагов". – Известия вузов СССР. Радиэлектроника, 1969, т. XII, № 8, С.845-851.

Поступила в редколлегию 15.10.2008