

## ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

При оптимальном проектировании электронных схем, особенно с использованием векторного критерия качества, естественным является желание разработчика знать вид поверхности отклика каждого из критериев в допустимой области. Обладая этой информацией, разработчик может сделать задачу оптимизации более корректной и подобрать наиболее приемлемый для данного случая алгоритм оптимизации, что в конечном счете сказывается на времени решения задачи и приближении полученного результата к желаемому.

Кроме указанного выше, на время и, в большей степени, на точность решения задачи оптимизации влияет выбор вида нормировки отдельных критериев и определения параметров нормирования.

В практике оптимального проектирования встречается довольно много подходов к нормированию критериев качества. Одним из наиболее часто применяемых подходов является следующий.

Пусть задача оптимального проектирования ставится таким образом: найти вектор параметров  $X^0 = \{x_i^0, i = 1, 2, \dots, n\}$ , при котором критерии качества  $f_j$  принимают максимальные значения. Очевидно, что в данном случае сталкиваются с понятием компромисса при принятии решения. Компромиссным в оптимальном смысле будем считать решение  $X^0$ , приводящее к минимизации потерь по каждому из критериев. Потери критерия можно оценить по следующей формуле

$$\tilde{f}_j = \frac{f_j - f_j'}{f_j' - f_j''}, j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

где  $f_j$  – текущее значение критерия;  $f_j'$  – лучшее значение критерия в допустимой замкнутой области  $\Omega \subset X^n$ ;  $f_j''$  – худшее значение критерия в этой же области. Таким образом мы пронормировали критерии. Очевидно, что нормированные критерии качества теперь будут изменяться в допустимой области от 0 до 1.

После выбора вида нормировки становится ясно, что время на решение задачи векторной оптимизации будет включать в себя еще и время на поиск экстремумов каждого из критериев, что может быть гораздо более трудоёмким, нежели непосредственно поиск компромиссного решения.

Использование в формуле (1) оценочных значений экстремумов взамен точных позволяет снизить общие потери времени на нормировку функций. Оценки экстремумов можно получить несколькими путями.

1. Покрыть область допустимых значений равномерной сеткой и выбрать лучшие и худшие значения критериев в её узлах.
2. Вычислить значения критериев в  $k$  случайных точках пространства  $\Omega$  и выбрать среди них граничные.
3. Определить точно лучшие значения критериев, а в качестве худших выбрать худшие на множестве точек экстремумов остальных критериев.
4. Определить точно лучшие значения критериев, а худшие искать в процессе определения лучших.

В 1-м и во 2-м случаях стоит задача оценки необходимого количества точек для разрешения компромисса между трудоёмкостью и точностью решения задачи, в 3 и 4 случаях вопрос стоит лишь о точности нормировки. В любом случае разработчик должен отдавать себе отчет в том, что точность решения задачи в огромной степени зависит от точности нормирования критериев.

В данной работе авторы ставят перед собой цель исследовать зависимость решения векторной задачи оптимизации от оценки экстремальных значений критериев различными способами.

На рис. 1 изображена схема активного фильтра. Качественными характеристиками, достаточно полно описывающими работу фильтров, являются: отклонение от заданной резонансной частоты ( $\Delta f$ ), выходное напряжение ( $U_{\text{вых}}$ ) и входное сопротивление ( $R_{\text{вх}}$ ) на резонансной частоте

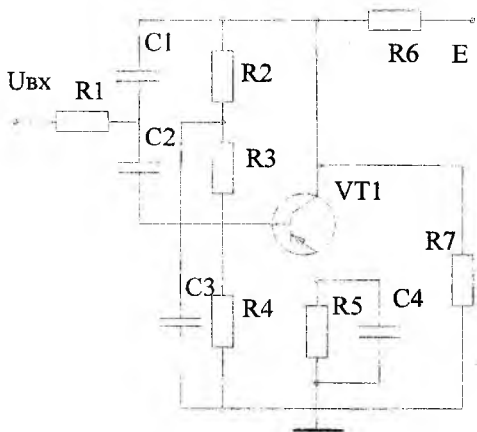


Рис. 1

$$R_{ex} = \frac{U_{ex}}{I_{ex}} \Big|_{f = f_{рез}} \quad (2)$$

Ограничимся при оптимизации данного устройства этими тремя критериями.

Допустим, что для достижения оптимального результата достаточно найти значения элементов R1 и C2. Поверхность отклика критериев приведена на рис. 2.

- существуют критерии с несколькими экстремумами в допустимой области. Эти экстремумы могут показывать как лучшие, так и худшие значения (в любом случае для нормировки необходимо искать и те и другие);

- для точного определения экстремумов необходимо применять методы глобального поиска, включающие метод Монте-Карло;

- в большинстве случаев экстремумы принадлежат границам допустимой области.

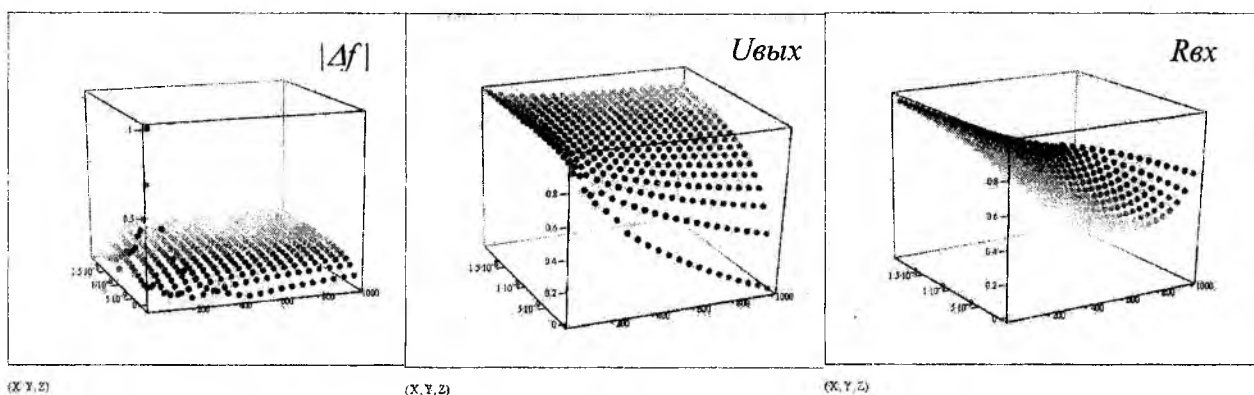


Рис. 2

Это позволяет предположить, что для определения приближений экстремальных значений функций лучше использовать равномерную сетку, покрывающую допустимую область. Остается выяснить, какой плотности должна быть эта сетка для получения необходимой точности приближения полученного решения от решения при точной нормировке.

Проанализировав форму критериев, можно сделать следующие выводы:

Исследования привели к результатам, сведенным в таблицу.

Таблица

Сетка		$\Delta f$ , Гц	$U_{вых}$ , В	$R_{вх}$ , кОм	$R1_{opt}$ , кОм	$C2_{opt}$ , мкФ
10x10	Max	323107,2	3,2	850,4	0,4092	5,64
	Min	548,2	0,1	6,5		
30x30	Max	323107,2	3,2	850,4	0,4100	5,6
	Min	79,4	0,1	6,3		
50x50	Max	323107,2	3,2	850,4	0,4100	5,6
	Min	65,3	0,1	6,4		
80x80	Max	323107,2	3,2	850,4	0,4100	5,6
	Min	10,6	0,1	6,3		
110x110	Max	323107,2	3,2	850,4	0,4100	5,6
	Min	10,6	0,1	6,3		

Здесь под оптимальными значениями R1 и C2 понимаются такие, в которых достигается наилучшее, с точки постановки задачи, решение. При поиске искомого решения точность была не хуже

$10^{-3}$ . Проанализировав таблицу, находим, что чрезмерное увеличение числа узлов сетки не приводит к существенному изменению координат решения многокритериальной задачи.

Проверим, принадлежит ли найденное решение области компромиссов. В работе [1] предложен способ определения принадлежности какой-либо точки области компромиссов.

Определим в полученной точке векторы-градиенты оптимизируемых функций, причем для этого не нужно делать дополнительных вычислений критериев, так как эту информацию можно взять из данных, полученных в процессе нахождения их экстремальных значений:

$$\nabla \Delta f = (-38889; -300), \nabla U_{вых} = (0,83; -0,086), \nabla R_{вх} = (555; 17,2). \quad (3)$$

Если построить векторную диаграмму полученных результатов, станет очевидным, что найденная точка принадлежит области компромиссов.

Оценим теперь точность найденного решения. В работе [2] предложен способ определения погрешности решения при неточной нормировке через оценки отдельных компонент аддитивной сверки критериев:

$$F(X) = \sum_j \lambda_j f_j(X), \quad (4)$$

где  $f_j$  – критерии качества;  $\lambda_j$  – весовые коэффициенты.

Введем следующие обозначения:

$$M_j = f_j^{луч} (X); m_j = f_j^{худ} (X); d_j = M_j - m_j. \quad (5)$$

Обозначим через  $G(X)$  функцию  $\sum_j \lambda_j \frac{f_j(X)}{d_j}$ , которая представляет собой сумму неточно нормированных критериев.

В области, граничащей с квазиоптимальной точкой, по имеющимся данным можно определить  $C_j$  такие, что  $|f_j'(X)| \leq C_j$ .

В результате модуль вектора отклонения точки полученного решения от действительного вычисляется по формуле:

$$|X_0 - X_0^*| \leq |G''(X_0)^{-1}| * \left| \sum_j \lambda_j \varepsilon_j \frac{C_j}{M_j} \right|.$$

Весовые коэффициенты были определены с использованием результатов работы [3], основанной на специфических свойствах функции (2), а все остальные компоненты, необходимые для определения точности, вычислены по имеющимся данным о значениях критериев качества, полученным в результате поиска оценок их экстремальных значений. В результате получили, что точность определения компромиссного решения при таком способе неточной нормировки не превышает 0,045. Данная точность вполне приемлема при оптимизации электронных схем.

**Список литературы:** 1. Куник Е.Г., Храпцов В.Н. . Об алгоритмах выделения Паретто-оптимальных решений в задачах векторной оптимизации // АСУ и приборы автоматики. 1985. Вып. 74. С. 20-23. 2. Куник Е.Г. Оценка погрешности нахождения компромиссного решения многокритериальной задачи при неточной нормировке критериев // Радиотехн. летательных аппар.: Темат. сб. науч. трудов. Харьков: ХАИ, 1987. С.113-118. 3. Куник Е.Г., Довнар А.И. Алгоритм решения минимаксных задач оптимизации электронных схем с помощью аддитивных сверток // Автоматизация проектирования в электронике. 1984. № 30. С.14-19.

Харьковский государственный технический университет радиотехники

Поступила в редколлегию 10.07.2001