

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЧАСТОТНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СХЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛИЗА

И.В. Прасол, О.Г. Аврунин, С.О. Котомин
 Харьковский национальный университет радиоэлектроники
 Кафедра БМЭ ХНУРЭ, пр. Ленина 14, г. Харьков, 61166, Украина
 Тел.: (057) 702-1364, E-mail: prasol_iv@mail.ru

Annotation – To assess the adequacy of simplified frequency model based on the methods of interval analysis is proposed. This enables us to dynamically control the dimension and the error generated models at various stages of the optimization process for automated parametric synthesis of circuits biomedical electronics.

Key words – frequency model, electrical analysis, analog electronic circuit, adequacy of a model, CAD.

Современные биомедицинские электронные устройства характеризуются наличием разнородных частей: датчиков, преобразователей, аналоговых, цифровых, а также аналогово-цифровых схем, различных оконечных устройств. Эффективное проектирование таких устройств невозможно без применения САПР, которые позволяют автоматизировать отдельные проектные процедуры. В основе автоматизированного проектирования лежит математическая модель (ММ), которая во многом определяет эффективность самой САПР.

В ряде случаев целесообразно, а также необходимо использование электрических упрощенных моделей (УМ). Упрощенные модели электронных схем (ЭС) требуют меньших вычислительных затрат, чем модели на основе объединения ММ отдельных компонентов (так называемые «полные» математические модели - ПММ), но должны иметь достаточную для практических целей точность и форму, удобную для применения в САПР[1]. Особенно актуально применение упрощенных (агрегированных) моделей на этапе параметрической оптимизации схем, поскольку он связан с многократными расчетами схем одной структуры, но с различными наборами параметров, что является наиболее трудоемким. Однако процесс построения УМ для решения задач оптимизации параметров имеет свои особенности, а к самим УМ должны быть предъявлены специфические требования. Одни из них касаются области адекватности (ОА). Сформулируем их следующим образом.

1) ОА УМ должна задаваться в пространстве внешних переменных, расширенном варьируемыми параметрами схемных элементов, т.е. необходима адекватность УМ «полной модели» не только по отношению к внешним переменным, но и вариациям параметров этих элементов.

2) Область допустимых значений, определенная в пространстве внешних и управляемых параметров, должна включаться в ОА УМ. Поэтому не допустима ситуация, когда в процессе поисковой оптимизации варьируемые параметры принимают такие значения, для которых при некоторых наборах внешних переменных погрешность УМ выходит за границы допустимых значений. Графическая иллюстрация такого случая для двумерного пространства представлена на рис. 1, где ОА УМ ограничена линиями $j=1, j=2, j=3$, задаваемыми уравнениями $|\varepsilon_j(X)| = \delta, j=1,2,3$. Здесь δ — число, равное предельно допустимой по-

грешности модели. Если внешние и варьируемые параметры изменяются в диапазонах $X'_3 \leq X_{внш} \leq X''_3$, $X'_1 \leq X_{вар} \leq X''_1$ соответственно, то появляются запрещенные зоны, отмеченные на рисунке штриховкой. В этих зонах погрешность превышает максимально допустимую. Разрешенной областью значений будет, например, вписанный в ОА прямоугольник $X'_4 \leq X_{внш} \leq X''_4$, $X'_2 \leq X_{вар} \leq X''_2$. Т.к. обычно управляют наиболее существенными параметрами, удовлетворить это требование в широком диапазоне значений управляемых параметров и внешних воздействий совсем нетривиально.

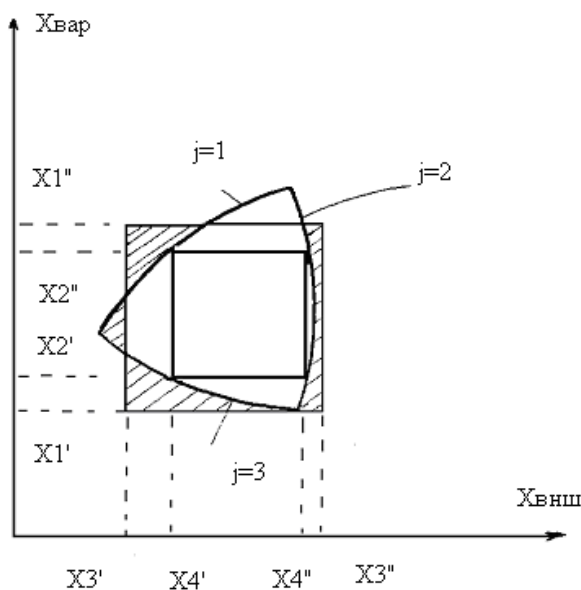


Рис. 1 Области адекватности модели и допустимых значений в пространстве внешних и управляемых параметров

Кроме того, различия в требованиях к структуре УМ, изменяющихся в процессе оптимизации, обуславливают необходимость перманентного преобразования информации о схеме к виду, адаптированному к текущему состоянию оптимизационного процесса. Каждый шаг такого преобразования выполняется по соответствующему алгоритму. В результате выполнения очередного шага УМ переводится из одного состояния в другое. Обычно начальное состояние со-

ответствует модели, построенной в базе узловых потенциалов. Текущее состояние зависит от набора управляемых параметров, удаления текущей точки пространства переменных УМ от начальной, разности значений текущего значения целевой функции и начального. Конечное состояние зависит от степени достижения предполагаемого оптимального значения целевой функции и временных затрат.

В работе [2] предложен способ редукции частотной модели схемы на основе исключения внутренних переменных исходной математической модели, построенной в однородном координатном базисе узловых потенциалов. Этот способ редукции обладает свойством адаптации к условиям его применения, так как модель формируется для заданного априори частотного диапазона, а при фиксированных границах диапазона имеется возможность динамически настраивать модель по точности путём варьирования состава множества существенно влияющих емкостей схемы. Это позволяет включать в состав маршрута схемотехнических расчётов этап редукции модели с последующим использованием их в процедурах анализа и параметрической оптимизации. Однако остаётся открытым вопрос оперативного определения адекватности полученной модели в свете сформулированных выше требований. Понятия достоверности и адекватности являются условными, поскольку нельзя рассчитывать на полное соответствие упрощенной модели ПММ. Поэтому в процессе моделирования следует учитывать адекватность не модели вообще, а именно тех ее свойств, которые являются существенными с точки зрения проводимого исследования. В процессе проверки модели необходимо установить включение в модель только наиболее существенных факторов [3,4].

В связи с этим предлагается оценивать адекватность такой частотной модели на основе метода интервальных переменных (интервальной математики).

Интервальный подход состоит в применении интервальных методов решения линейных уравнений как с интервальными коэффициентами, так и с интервальной правой частью [5]. При этом для повышения точности оценок необходимо учитывать как интервальные только те параметры, изменения которых приводят к независимым вариациям элементов матрицы модели. В частности, оценивая ОА частной модели с монотонными характеристиками, строится гиперпараллелепипед в пространстве внешних переменных QE, не содержащем измерение, соответствующее частоте входного сигнала. Решение интервальных уравнений производится для фиксированного набора частот из диапазона $[w_{\min}, w_{\max}]$. Это не позволяет избежать многовариантного анализа, но значительно сокращает объём вычислений.

С учетом изложенного было проверено, выполняется ли условие адекватности частотной УМ схемы активного RC фильтра НЧ для значения $C1=0,1$ мкФ в цепи ОС в области изменения внешних параметров $0 \leq w \leq 2000$ Гц, $10 \text{ кОм} \leq R_n \leq 20 \text{ кОм}$ при допустимом уровне относительной ошибки 3%, где R_n — величина сопротивления нагрузки, подключенной к выходу фильтра.

Используя обычную интервальную арифметику и интервальное расширение функций, получаем интервальные значения модуля коэффициента передачи ПММ и УМ схемы по напряжению для набора частот в заданном диапазоне (табл. 1).

Таблица 1

Частота, Гц	$ \dot{K}_u $, ПММ	$ \dot{K}_u $, УМ	ε , %
0	0.7576,0.7937	0.7576,0.7937	0,0
500	0.5757,0.6031	0.5785,0.6061	0.5,0.5
1000	0.3821,0.7400	0.3861,0.4045	1,1
1500	0.2745,0.2876	0.2789,0.2922	1.6,1.6
2000	0.2117,0.2273	0.2164,0.2268	2.2,2.2

Анализ интервальной погрешности показывает, что фактическая ОА вложена в заданную. Следует отметить, что точность рассмотренного подхода может снижаться при увеличении размерности пространства QE.

Таким образом, выделены некоторые особенности получения упрощенных электрических ММ аналоговых электронных схем, предназначенных для использования в САПР электронной аппаратуры на этапе параметрической оптимизации. В частности, это касается области адекватности, которая должна строиться не только в пространстве внешних переменных, а в расширенном варьируемыми (управляемыми) схемными параметрами. Предложено производить оценку ОА частотной УМ с помощью средств интервальной арифметики. Это позволяет оперативно проверять точность частотной модели в априори заданном частотном диапазоне. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

[1] Прасол И.В., Семенец В.В. Проблемы агрегирования моделей при решении задачи электрического анализа сложных электронных схем /Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Частина 4.- Київ, Інститут електродинаміки НАН України, 2009.- С. 98-101.

[2] Прасол И.В., Семенец В.В. Редукция модели при частотном анализе схем // Радиоэлектроника и информатика, № 1(1). -Харьков, ХТУРЭ.-1997.- С.95-96.

[3] Мельников Ю.Б. Об определении и оценке адекватности модели/ Ю.Б. Мельников, Г.В. Ваганова, Е.П. Матвеева/ Образование и наука, № 6(10), 2007, с. 3-14.

[4] Суворов А.И. Методы оценки свойств математических моделей и управления ими//Программные продукты и системы.-1997.-N2.-с.10-19.

[5] M. Fiedler, J. Nedoma, J. Ramik, J. Rohn, K. Zimmermann. Linear optimization problems with inexact data. – New York: Springer Science+Business Media, 2006. – 214 p.

