

УДК 621.372.2.052.3.018.78

А.О. Мелкозеров, И.Е. Самотин, Р.И. Аширбакиев, И.В. Еремин

Структурная оптимизация многокаскадного модального фильтра по двум критериям

Описана процедура составления целевой функции для структурной оптимизации многокаскадного фильтра по двум критериям. Представлены результаты оптимизации перебором, подтверждающие корректность полученной целевой функции.

Ключевые слова: модальный фильтр, оптимизация, конструкция.

В лаборатории «БЭМС РЭС» при кафедре телевидения и управления ТУСУРа в настоящее время совместно с ООО «Твердь» ведутся работы по разработке модальных фильтров [1] для защиты аппаратуры от опасных коротких импульсов. В процессе проектирования модальных фильтров особую важность имеет задача поиска оптимальной конструкции конкретного фильтра, которая позволяла бы получить требуемые характеристики и удовлетворяла дополнительным требованиям, таким как простота и надежность конструкции. Для решения подобных задач структурной оптимизации целесообразно применять такие алгоритмы синтеза и оптимизации, как генетические алгоритмы или эволюционные стратегии. При этом первый шаг в работе с ними – формулирование так называемой целевой функции, которая сопоставляет набору параметров модального фильтра некую меру качества, в большинстве случаев – действительное число.

Цель данной работы – описать процедуру составления целевой функции для структурной оптимизации многокаскадного фильтра по двум критериям, а также представить результаты оптимизации перебором, подтверждающие корректность полученной целевой функции.

В данной работе рассматривается семикаскадный модальный фильтр (рис. 1) с $R_{\text{акт}} = 100 \text{ Ом}$, в соответствии с волновым сопротивлением линии.

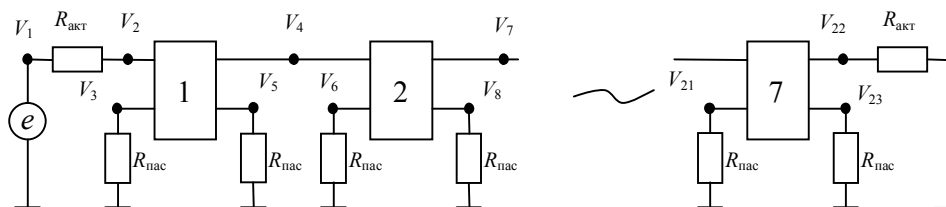


Рис. 1. Семикаскадный модальный фильтр

Задача оптимизации состоит в нахождении такого набора нагрузок линий передач $R_{\text{пасс}}$, при котором полученный модальный фильтр удовлетворяет двум критериям:

1. Амплитуда напряжения в узле 22 (рис. 1) минимальна.
2. Амплитудно-частотная характеристика для узла 22 не имеет резонансов до 100 МГц.

Параметрами оптимизации являются значения сопротивления 14 пассивных резисторов $R_{\text{пасс}}$. С целью упрощения и снижения стоимости конструкции был выбран вариант, при котором имеются только два значения $R_{\text{пасс}}$: короткое замыкание и холостой ход. В целевой функции эти значения были обозначены соответственно нулем и единицей, что позволило кодировать значения сопротивления всех 14 резисторов в виде одного 14-битного двоичного числа. Затем данное число может либо напрямую использоваться в генетическом алгоритме, либо быть преобразовано в действительное представление для использования с алгоритмами, работающими с пространствами поиска из действительных чисел.

В случае, если оптимизация ведется с действительными числами, то внутри целевой функции выполняется декодирование 14 битов числа в набор значений для резисторов: если первый бит 0, то ставим вместо первого резистора короткое замыкание, иначе – холостой ход, и т.д. Для полученного модального фильтра вычисляются временной отклик и амплитудно-частотная характеристика для диапазона 0–105 МГц с шагом 1 МГц с помощью модуля вычисления отклика RESPONSE. По временному отклику выполняется

проверка первого критерия оптимизации – минимальности амплитуды напряжения в узле 22, а затем, по АЧХ – проверка второго критерия. Амплитуда напряжения при этом становится значением целевой функции, которое непосредственно минимизирует алгоритм оптимизации. Вторым критерий вводится в значение целевой функции в виде штрафного условия – если до 100 МГц имеется хотя бы один резонанс, то значение целевой функции умножается на 1000. Это делает его заведомо большим, чем значения целевой функции для модальных фильтров без резонансов до 100 МГц (значения целевой функции для них имеют порядок не более десятков вольт), и алгоритм оптимизации отбрасывает такие решения.

Для тестирования правильности описанной процедуры оптимизации была выполнена ее реализация в программном комплексе для решения задач взаимовлияния электрических сигналов TALGAT2008 [2]. Вся процедура описывается в виде одного файла на языке скриптов TALGAT2008 и состоит из следующих этапов:

1. Расчет матриц параметров R , L , C , G для 7 однотипных линий передач в модальном фильтре с помощью модуля анализа двумерных конфигураций MOM2D.
2. Задание целевой функции в виде динамической команды.
3. Вызов алгоритма оптимизации, которому в качестве параметра передается имя динамической команды с целевой функцией.

В качестве простейшего алгоритма оптимизации был использован полный перебор, так как для 14 резисторов с 2 возможными значениями сопротивления число возможных комбинаций составляет всего лишь 16383. На компьютере класса Pentium 4 3 ГГц полный перебор 16383 комбинаций занял 50 ч. В результате была найдена следующая оптимальная комбинация значений сопротивлений: XX (холостой ход) – КЗ (короткое замыкание) – XX – КЗ – XX – КЗ – КЗ – XX – КЗ – XX – КЗ – XX – XX – XX. При этом на основе экспертной оценки конструкции модального фильтра была предложена комбинация КЗ – XX – КЗ – XX ... – XX, для которой максимальная амплитуда напряжения в узле 22 равна $\max(V_{22}) = 5,69$ В. Для оптимальной комбинации, полученной перебором, $\max(V_{22}) = 5,19$ В. Так как для ускорения вычисления целевой функции характеристики модального фильтра вычислялись с пониженной точностью, данные значения находятся в пределах погрешности расчетов друг от друга. Таким образом, с помощью описанной целевой функции был получен модальный фильтр с теми же характеристиками, что и у фильтра, подобранного экспертом. Это говорит о корректности реализации целевой функции.

На рис. 2 представлена АЧХ модального фильтра, полученного посредством оптимизации перебором.

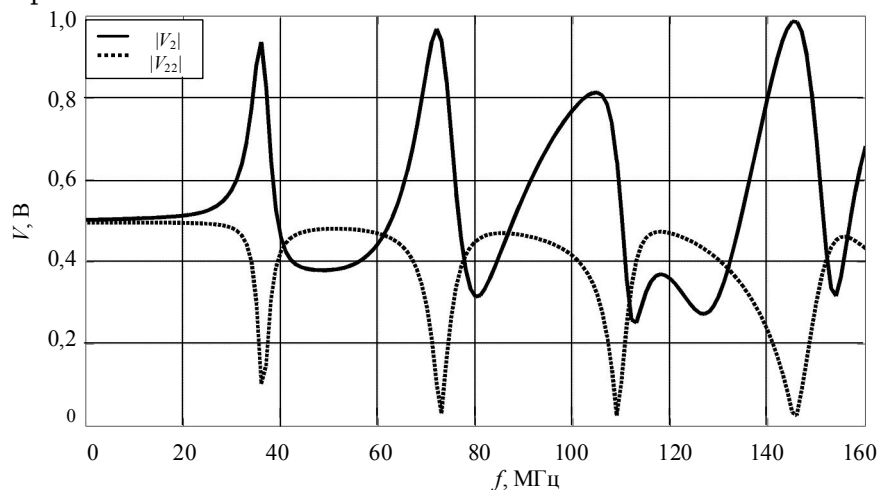


Рис. 2. АЧХ для оптимального модального фильтра

Из рис. 2 видно, что полученный перебором оптимальный модальный фильтр не удовлетворяет второму критерию для оптимизации – АЧХ имеет 3 резонанса в полосе до 100 МГц. Действительно, максимальная амплитуда напряжения в узле 22 $\max(V_{22})$ составляет 5,19 В, в то время как значение целевой функции для этого фильтра равно 5196,22. Это говорит о том, что штрафное условие из-за наличия резонансов до 100 МГц выполнилось и целевая функция была умножена на 1000. Однако данный модальный фильтр все равно является лучшим решением поставленной задачи, так как анализ файла с данными о результатах полного перебора показывает, что второму критерию не

удовлетворяет ни одна из 16383 комбинаций. Таким образом, для решения поставленной задачи оптимизации необходимо варьировать дополнительные параметры конструкции модального фильтра, например длину линий передач.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в соответствии с договором № 2148 от 05.07.2010 г. в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ.

Литература

1. Газизов Т.Р. Модальное разложение импульса в отрезках связанных линий как новый принцип защиты от коротких импульсов / Т.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий // Технологии ЭМС (Москва). – 2006. – №4 (19). – С. 40–44.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009614871. TALGAT2008 / Т.Р. Газизов, А.О. Мелкозеров, Т.Т. Газизов и др. – М.: Роспатент, 08.09.2009. – Бюл. – № 4. – С. 313.

Мелкозеров Александр Олегович

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУР
Тел.: (382-2) 41-33-68
Эл. почта: ame@tu.tusur.ru

Самотин Иван Евгеньевич

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУР
Тел.: (382-2) 41-33-68
Эл. почта: iesam_84@mail.ru

Аширбакиев Ренат Иксанович

Инженер-программист ООО «Твердь»
Тел.: (382-2) 41-33-68
Эл. почта: cr4cpp.2@gmail.com

Еремин Иван Владимирович

Заведующий лабораторией НИИ ПММ ТГУ
Тел.: (382-2) 52-94-88
Эл. почта: iveremin@niipmm.tsu.ru

Melkozerov A.O., Samotin I.E., Ashirbakiev R.I., Eremin I.V.

Dual Criteria Structural Optimization of Multi-stage Modal Filter

A procedure of the fitness function construction for dual criteria structural optimization of multi-stage modal filter is described. Exhaustive search optimization results confirming the correctness of the obtained fitness function are presented.

Keywords: modal filter, optimization, design.
