

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ЗНАЧЕНИЯМ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРОГРАММЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОРАЗРЯДНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ

Зуевич А. А.<sup>1</sup>

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Горяинов А. Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ТУСУР

ksandr1a.tyz@yandex.ru

### Введение

В компании «50ohm Technologies» ведётся разработка программного обеспечения Combinatorics, предназначенного для автоматизации определения порядка включения секций многоразрядных СВЧ-устройств, таких как ступенчатые аттенюаторы (СА) и фазовращатели (СФ) [1]. Программа выполняет все возможные перестановки секций внутри устройства и рассчитывает комплекс целевых частотных характеристик. Каждая перестановка секций фактически формирует новое схемное решение, которое будет отличаться по частотным характеристикам от других комбинаций [2]. Количество таких комбинаций для одного проектируемого устройства может исчисляться сотнями и даже тысячами. Ручное создание такого количества вариантов займет недели работы проектировщика, и проектировщик, как правило, ограничивается проверкой не более 5-10 комбинаций. Разрабатываемая программа позволяет создать и качественно сравнить все возможные комбинации секций в течение нескольких минут. Таким образом, пользователь (проектировщик СВЧ-устройств) может выбрать оптимальный на его взгляд порядок включения секций (комбинацию секций) и перейти к разработке топологии конечного устройства. Это значительно сокращает время разработки всего устройства и позволяет получить решение с более качественными характеристиками.

Для упрощения поиска оптимального порядка включения секций необходимо разработать модуль фильтрации комбинаций секций по значениям их частотных характеристик. При создании фильтра программа отобразит пользователю гистограмму значений выбранной частотной характеристики; а после создания фильтра программа отобразит решения, удовлетворяющие условиям фильтра, что упростит задачу поиска им оптимального решения.

Целью работы является разработка модуля фильтрации схемных решений по значениям характеристик в программе автоматизированного проектирования многоразрядных СВЧ-устройств Combinatorics.

### Основная часть

Результаты моделирования комбинаций выводятся пользователю в единую таблицу. Каждое решение описывается уникальным номером (номер определяет комбинацию секций), строкой (специальный формат, описывает порядок включения секций) и значениями частотных характеристик. Например: решение 2 имеет строку «(4, 2, 1, 3)» для описания порядка секций, и имеет значения характеристик  $|S_{21}|_{REF} = -3,293$  дБ,  $|S_{11}| = -11,512$  дБ и т. д. Всего каждое решение характеризуется порядка 5-7 частотными характеристиками. Таким образом, пользователь видит перед собой таблицу с 5-7 числовыми столбцами и несколькими сотнями или тысячами строк. Данный список решений является входными данными для модуля фильтрации.

К модулю предъявляются следующие требования:

1. Фильтр задаётся процентами от мин. и макс. значения характеристики.
2. Возможность создания только одного фильтра для каждой характеристики.
3. Возможность создания нескольких фильтров в проекте.

4. Отображение гистограммы значений целевой характеристики для фильтра.
5. Возможность сохранения фильтров внутри файла проекта устройства.
6. Отображение предсказания количества оставшихся решений после применения текущего фильтра и после применения всех фильтров.

В приложении Combinatorics в качестве архитектурного паттерна используется паттерн MVVM (Model–View–ViewModel) [3]. На основе функциональных требований в слоях приложения созданы и модифицированы следующие классы:

- В слое Model: FilterModel – класс, хранящий информацию о фильтре; DistributionService – класс, выполняющий распределение значений характеристики; в классы Project, описывающий проект устройства, и ProjectDto, являющийся объектом передачи данных проекта, добавлены свойства, хранящие список фильтров;

- В слое View: FilterItemControl – элемент управления, отображающий один фильтр; FilterControl – элемент для отображения и управления списком фильтров; BarChartControl – элемент для отображения гистограммы с результатами распределения значений характеристики; RangeSliderControl – элемент для выбора диапазона фильтрации характеристики; FilterWindow – всплывающее окно создания и редактирования фильтра. Также добавлены словари стилей и цветов для соответствия цветовому стилю приложения;

- В слое ViewModel: помимо классов, являющихся моделью представления для описанных выше элементов управления и окон, были добавлены классы: FilterVMService – класс, содержащий вспомогательные методы для модели представления окна фильтрации; RangeSelectionVMValidator – класс, отвечающий за проверку вводимых значений на RangeSliderControl; в модель представления решений SolutionsVM добавлены свойства и методы, отвечающие за хранение списка фильтров и фильтрацию решений.

После внедрения модуля фильтрации в программу Combinatorics проведены интеграционное и модульное тестирование. Результаты тестирования подтверждают корректность реализованного модуля с точки зрения функциональных требований.

### **Выводы**

Разработан модуль фильтрации схемных решений по значениям характеристик в программе автоматизированного проектирования многоразрядных СВЧ-устройств Combinatorics. Новый модуль предоставляет пользователю инструменты для отбора схемных решений по значениям их частотных характеристик, что упрощает задачу поиска оптимального схемного решения и позволяет получить устройство с более качественными характеристиками.

### **Литература**

1. Калентьев А.А. Синтез СВЧ интегральных ступенчатых аттенюаторов и фазовращателей в интеллектуальной САПР «Смекалец» // Российский форум “Микроэлектроника 2024, 10-я научная конференция “ЭКБ и микроэлектронные модули”. - Федеральная территория “Сириус”, 23-28 сентября 2024).
2. Зуевич А.А., Ларионов К.А., Данилов И.А., Горяинов А.Е. Способ ранжирования принципиальных схем в задаче поиска оптимального порядка включения секций ступенчатого аттенюатора // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XXI Международной научно-практической конференции (26–28 ноября 2025 г.): в 3 ч. – Ч. 1. – Томск: ТУСУР, В-Спектр (ИП Бочкарева В.М.), 2025. – С. 65-68.
3. Vice R. MVVM Survival Guide for Enterprise Architectures in Silverlight and WPF. – Birmingham: Packt Publishing, 2012. – 491 с.

Автор \_\_\_\_\_ Зуевич А.А.

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Горяинов А.Е.