

Преимущества каскадирования малоотражающих СВЧ-фильтров

Мэтью А. Морган, Mini-Circuits

Перевод: Алексей Лезинов

В статье рассматриваются преимущества малоотражающих фильтров СВЧ при каскадировании для получения более высоких параметров крутизны среза и режекции.

ВВЕДЕНИЕ

Последовательное каскадирование СВЧ-фильтров широко распространено для улучшения режекции вне полосы пропускания и увеличения крутизны среза. Данная техника также может быть использована для комбинирования ФНЧ и ФВЧ и создания полосовых фильтров. Хотя использование

последовательно соединённых фильтров позволяет получить необходимый результат, традиционные фильтры полностью отражают сигнал вне полосы пропускания обратно в цепь, при этом отражённые сигналы формируют стоящую волну в линии передачи между двумя соседними фильтрами. Данный эффект может привести к иска-

жению амплитуды проходящих сигналов, а также к нестабильности их фазы, из-за чего может наблюдаться деградация параметров системы.

Неотражающие фильтры серии X фирмы Mini-Circuits [1, 2] благодаря своей новейшей топологии поглощают сигнал вне полосы пропускания, а не отражают его обратно в источник. Эта характеристика фильтров придаёт разработке радиоэлектронных систем ряд преимуществ по сравнению с использованием традиционных фильтров. Одно из таких преимуществ – возможность последовательно каскадировать несколько фильтров и получать предсказуемый эффект, тогда как при каскадировании традиционных фильтров эффект зачастую трудно поддаётся прогнозам.

Данная статья демонстрирует, как малоотражающие фильтры исключают проблему плохой предсказуемости результатов при каскадировании, позволяя обеспечить гибкость разработки и улучшение параметров системы.

Симуляция

Для примера будем использовать малоотражающий фильтр модели XLF-421+. Это малоотражающий ФНЧ с полосой пропускания от нуля до 420 МГц. Он обеспечивает 1,4 дБ потерь в полосе пропускания, 14-дБ загораживание в полосе от 0,9 до 5,2 ГГц и 24-дБ загораживание в полосе от 5,2 до 18 ГГц.

Результаты симуляции S-параметров двух последовательно каскадированных фильтров XLF-421+ показаны на рисунке 1.

Результаты симуляции вносимых потерь (см. рис. 2) демонстрируют ожидаемое улучшение режекции в полосе загораживания и увеличение крутизны среза.

В то же время, влияние на обратные потери по входу и выходу минимально (см. рис. 3 и 4).

Обратите внимание: результаты симуляции указывают на отсутствие «гребёнки» (искажения формы АЧХ каскадированных фильтров) или других нежелательных эффектов для двух каскадированных фильтров, которые

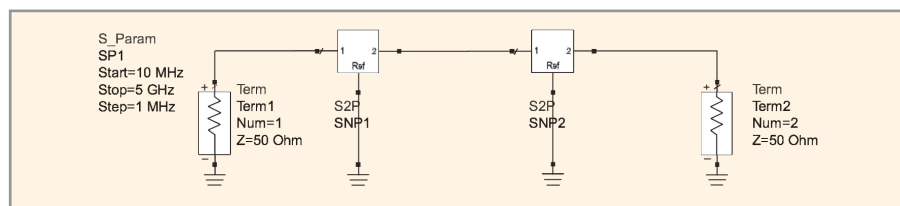


Рис. 1. Симуляция двух последовательно каскадированных малоотражающих ФНЧ XLF-421+

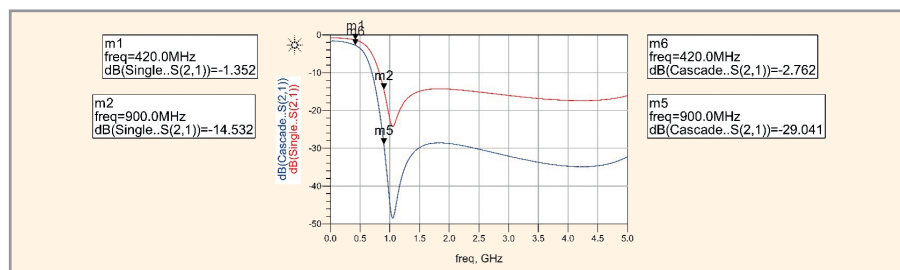


Рис. 2. Результаты симуляции вносимых потерь: один фильтр против двух каскадированных

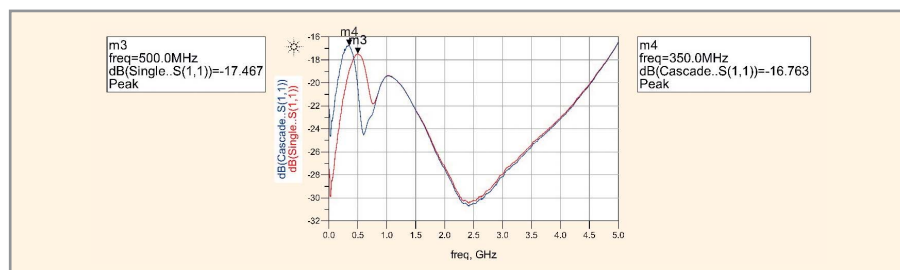


Рис. 3. Результаты симуляции обратных потерь по входу: один фильтр против двух каскадированных

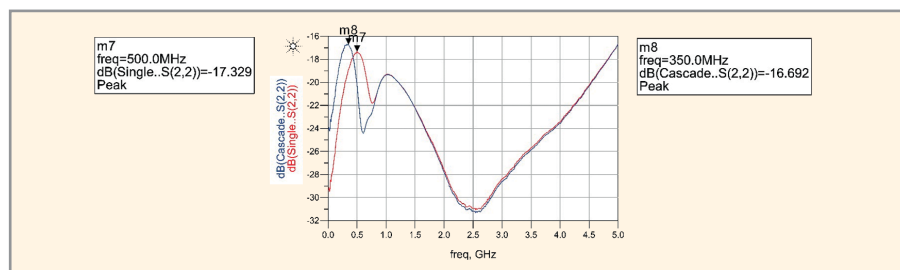


Рис. 4. Результаты симуляции обратных потерь по выходу: один фильтр против двух каскадированных

могли бы быть, если бы отражённый сигнал присутствовал в цепи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Для утверждения результатов моделирования были проведены измерения для одиночного фильтра, а также двух каскадированных фильтров. Помимо малоотражающих фильтров XLF-550+, измерения были проведены и с традиционным фильтром NLP-550+.

Для проведения измерений каждый фильтр был припаян на тестовую плату. Платы соединялись друг с другом последовательно и подключались к векторному анализатору цепей.

Малоотражающие фильтры были измерены в вариантах без каскадирования и с последовательным каскадированием двух и трёх фильтров. Традиционные фильтры были протестированы в режиме «один фильтр против двух каскадированных». Вносимые потери, обратные потери по входу и выходу и групповая задержка были измерены в диапазоне частот от нуля до 5 ГГц для каждого варианта. Результаты измерений приведены на рисунках 5 и 6.

Графики вносимых потерь (см. рис. 5) для каскадированных традиционных фильтров показывают ожидаемое увеличение режекции в полосе заграждения. В то же время в полосе заграждения наблюдается явная «гребёнка» из-за нестабильностей фаз, возникающих при взаимодействии падающего и отражённого сигналов. Дополнительно, паразитная «волнистость» возникла в полосе пропускания рядом с её краем для двух каскадированных фильтров. Причиной является ухудшение обратных потерь в полосе пропускания и наличие отражённого сигнала в районе среза фильтров.

В противоположность этому, результаты измерения вносимых потерь для малоотражающих фильтров в точности повторяют смоделированные и предсказанные результаты при каскадировании двух и трёх фильтров. Графики показывают отсутствие каких-либо «гребёнок» или искажений формы АЧХ.

На рисунках 6 представлены графики результатов измерений обратных потерь для каскадированных фильтров. Традиционные фильтры при каскадировании демонстрируют значительную деградацию обратных потерь по входу и выходу в полосе пропускания. Ухудшение на некоторых частотах составляет до 20 дБ.

Для малоотражающих фильтров в каскадированном режиме также

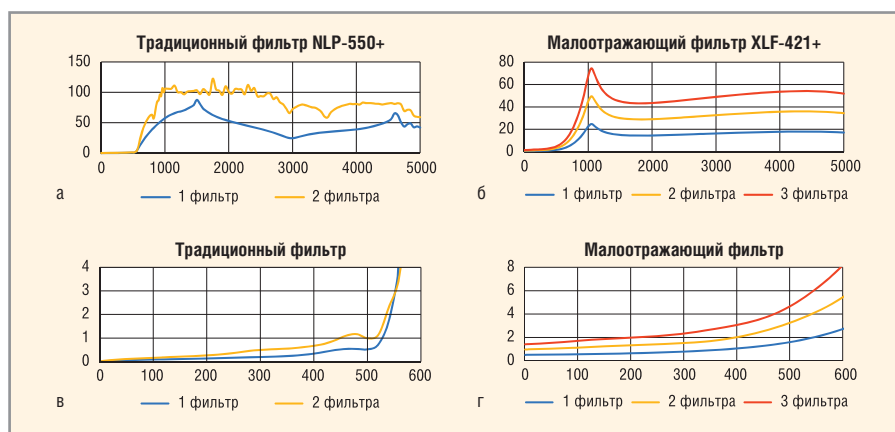


Рис. 5. Вносимые потери для всего диапазона традиционного фильтра NLP-550+ для 1 и 2 фильтров (а) и фильтра XLF-421+ для 1, 2 и 3 фильтров (б) и в полосе пропускания фильтра NLP-550+ для 1 и 2 фильтров (в) и фильтра XLF-421+ для 1, 2 и 3 фильтров (г)

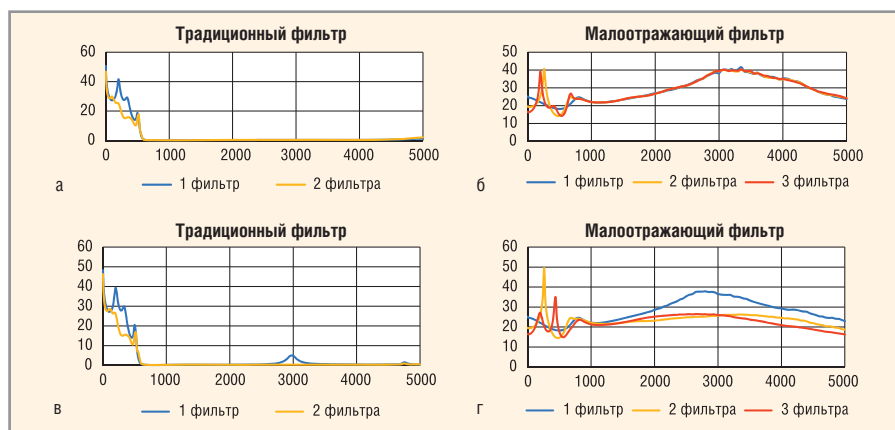


Рис. 6. Обратные потери по входу NLP-550+ для 1 и 2 фильтров (а) и XLF-421+ для 1, 2 и 3 фильтров (б) и по выходу NLP-550+ для 1 и 2 фильтров (в) и XLF-421+ для 1, 2 и 3 фильтров (г)

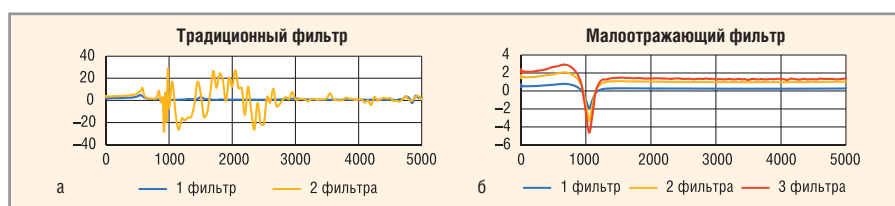


Рис. 7. Групповая задержка NLP-550+ для 1 и 2 фильтров (а) и XLF-421+ для 1, 2 и 3 фильтров (б)

наблюдается изменение обратных потерь по входу и выходу, но очевидной деградации параметров не наблюдается. Напротив, для некоторых частот обратные потери становятся выше по сравнению с одиночным фильтром. Это иллюстрирует тот факт, что малоотражающие фильтры при каскадировании имеют значительно лучшие характеристики обратных потерь по сравнению с традиционными фильтрами.

Наконец, групповая задержка (см. рис. 7), измеренная для двух каскадированных традиционных фильтров, имеет очень сильную вариативность от частоты, которая приводит к искажению сигналов в полосе пропускания. Напротив, групповая задержка для каскадированных малоотражающих фильтров очень стабильна при изменении частоты. Это

означает, что каскадированные малоотражающие фильтры исключают искажения, выраженные в нестабильности фазы проходящих сигналов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из преимуществ малоотражающих фильтров является возможность последовательного соединения нескольких фильтров и устранение разрушительного эффекта от отражённых сигналов. Данное свойство делает малоотражающие фильтры весьма гибким инструментом для построения систем, где необходима высокая режекция и крутизна среза.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.mini-circuits.com
2. www.yeint.ru/minicircuits

