

# 3D-моделирование микрополоскового фильтра высоких частот в пакете HFSS

Сергей Грищенко, Дмитрий Дерачиц, Наталья Кисель (г. Таганрог)

В статье рассмотрены вопросы конструирования фильтра высоких частот, предназначенного для снижения уровня помех промышленного или иного происхождения в сигнальном тракте РЭА.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень промышленного развития, широкое внедрение радиотехнических и телекоммуникационных систем неизбежно приводят к ухудшению электромагнитной обстановки. Повышенный уровень внеполосного излучения радиопередающих устройств различного назначения, промышленных помех, сигналов радиоэлектронного противодействия, а также помех, вызванных различными природными явлениями, вызывает сбои действующей радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Для защиты РЭА от помех и для решения задачи электромагнитной совместимости необходимо использовать фильтры с большим (не менее 60 дБ) затуханием в полосе заграждения. Устройства такого типа должны не только эффективно подавлять помеху в требуемом диапазоне частот, но и обладать хорошей экранировкой от проникновения в РЭА наводимых помех.

В настоящей статье рассмотрены вопросы конструирования фильтра высоких частот (ФВЧ) в сигнальном тракте РЭА с целью снижения уровня помех промышленного или иного происхождения. При этом за счёт подавления шумов на частотах ниже границы спектра частот полезного сигнала значительно улучшается соотношение сигнал/шум всего устройства. Для расчёта конструкции фильтра, помещённо-

го в защитный корпус, использовалась САПР HFSS.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРА ВЫСОКИХ ЧАСТОТ

Было выполнено моделирование ФВЧ с частотой среза 90 МГц, у которого затухание в рабочей полосе составляло не более 0,8 дБ, а подавление вне полосы пропускания – не менее 90 дБ. Столь глубокое затухание в полосе режекции фильтра гарантирует эффективное подавление сильных помех, например, от мощных радиопередатчиков, находящихся в непосредственной близости от приёмного устройства.

На этапе схемотехнического моделирования [1, 2] фильтр реализован как ФВЧ двадцатого порядка, и представляет собой параллельно соединённые последовательные колебательные контуры (см. рис. 1). Порядок фильтра определяется граничными частотами среза и задержания, а также минимальным затуханием в полосе пропускания  $a_{\min}$  и максимальным затуханием в полосе режекции  $a_{\max}$  [1, 2]:

$$n \geq \frac{\operatorname{arch} \sqrt{\frac{10^{0,1 a_{\min}} - 1}{10^{0,1 a_{\max}} - 1}}}{\operatorname{arch} \frac{\omega_{сФВЧ}}{\omega_{сРВЧ}}}$$

Каждый из контуров проектируемого многозвенного фильтра имеет ёмкостную связь с соседним кон-

туром и работает как заграждающий фильтр, настроенный на одну из частот подавления. Перекрытие полос каждым из фильтров реализует всю полосу заграждения ФВЧ, заданную в диапазоне 0...90 МГц.

В результате схемотехнического моделирования рассчитаны ёмкости и индуктивности схемы фильтра, АЧХ которого показана на рисунке 2. Видно, что минимальное подавление в заграждаемой полосе частот от 0 до 70 МГц получилось на уровне 90 дБ, а затухание в рабочей полосе частот оказалось не более 0,2 дБ.

После расчёта номиналов элементов разрабатываемого фильтра на этапе схемотехнического моделирования переходим ко второму этапу разработки конструкции ФВЧ в пакете программ СВЧ HFSS. Отметим, что схемотехническое моделирование основывается на уравнениях теории электрических цепей, а полное 3D-электромагнитное моделирование в пакете HFSS производится с помощью уравнений теории электромагнитного поля. По сути, на первом этапе устанавливаются предельно достижимые характеристики фильтра, к которым посредством моделирования на этапе расчёта конструкции возможно только приблизиться. При выполнении полного 3D-электромагнитного моделирования появляется возможность нахождения параметров фильтра с учётом металлического корпуса и возможного влияния между каскадами за счёт поверхностных волн, возникающих на диэлектрической подложке фильтра.

При моделировании с использованием пакета HFSS в качестве исход-

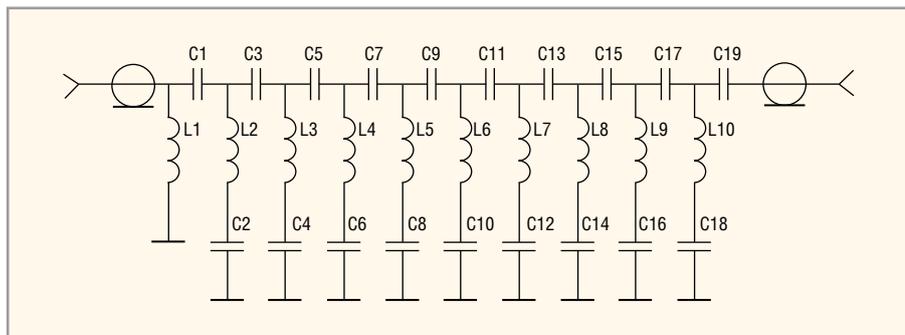


Рис. 1. Электрическая схема ФВЧ двадцатого порядка

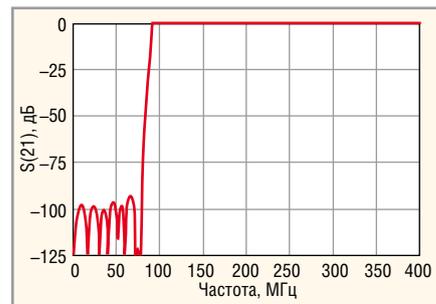


Рис. 2. АЧХ разработанного ФВЧ двадцатого порядка

ных данных использовались параметры сосредоточенных пассивных элементов фильтра, полученные на первом этапе схемотехнического моделирования. Фильтр спроектирован по планарной технологии на основе микрополосковой линии передачи (МПЛ) с применением диэлектрической подложки из стеклотекстолита FR4 толщиной 1 мм, диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4,6$  и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\delta = 0,015$ . На рисунке 3 изображена модель проектируемого ФВЧ в пакете HFSS, а на рисунке 4 – зависимости АЧХ для S-параметров, расчёт которых был выполнен без экранирования друг от друга всех каскадов фильтра.

Согласно рисунку 4, в области режекции ФВЧ от 0 до 70 МГц наблюдался неравномерный характер АЧХ. При этом уровень подавления изменялся в значительных пределах: от -60 дБ до -105 дБ. Минимальный уровень подавления оказался на 20 дБ меньше аналогичного параметра, достигнутого на первом этапе моделирования (см. рис. 2). В результате взаимное влияние каскадов ФВЧ друг на

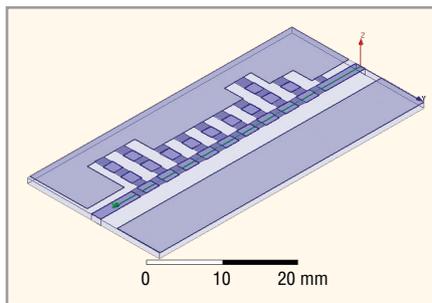


Рис. 3. 3D-модель ФВЧ в пакете HFSS

друга из-за возникновения поверхностных волн в диэлектрической подложке, которые на первом этапе схемотехнического моделирования никак не учитываются, в действительности на 20 дБ (или в 10 раз) ухудшили ослабляющие свойства фильтра в полосе частот заграждения.

Для уменьшения электромагнитной связи между каскадами, которая из-за возникновения поверхностных волн влияет на характеристики ФВЧ (особенно в полосе заграждения), были использованы стальные экраны в виде пластин, отделяющих друг от друга все каскады фильтра. Модели описанного фильтра без корпуса и в корпусе,

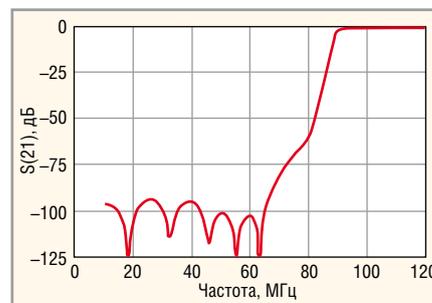


Рис. 4. АЧХ фильтра без экранирования

а также АЧХ для S-параметров фильтра показаны на рисунках 5 и 6, соответственно.

Сравнение АЧХ, представленных на рисунке 6, показало, что применение экранирующих пластин существенно улучшило подавление сигналов в полосе режекции проектируемого фильтра. При этом наименьший уровень ослабления сигнала составил не менее -90 дБ. Наличие корпуса практически не оказывает влияния на характеристики фильтра и в полосе пропускания, и в области заграждения. АЧХ фильтра с экранированием (см. рис. 6) практически совпала с предельно достижимой частотной харак-

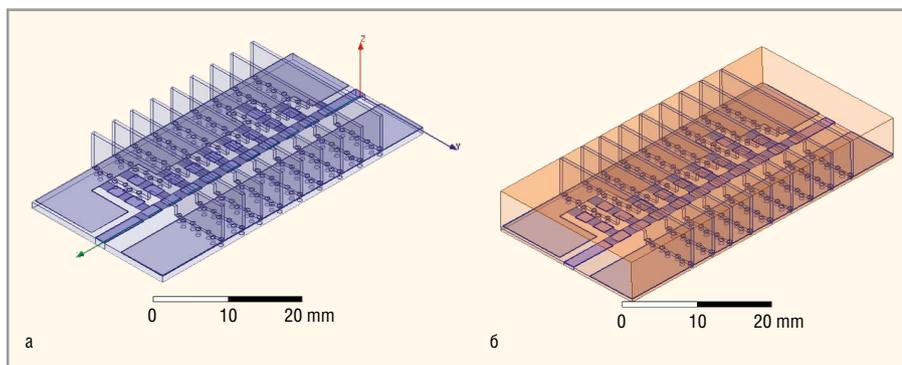


Рис. 5. Модель ФВЧ с экранированием между каскадами без корпуса (а) и в корпусе (б)

теристикой, полученной на первом этапе схемотехнического моделирования (см. рис. 2).

Таким образом, использование экранов существенно влияет на поверхностную и пространственную волны и значительно уменьшает их уровень внутри объема фильтра.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Использование САПР HFSS при решении задачи проектирования фильтра

позволяет разрабатывать конструкцию фильтра с учётом влияния на характеристики фильтра корпуса и связей между звеньями фильтра. При проектировании фильтров с большим уровнем подавления необходимо применять схемы высокого порядка и выполнять трёхмерный электромагнитный анализ всего устройства с помощью специализированных сред электронного моделирования. Пакет HFSS обеспечивает анализ параметров электромагнитного

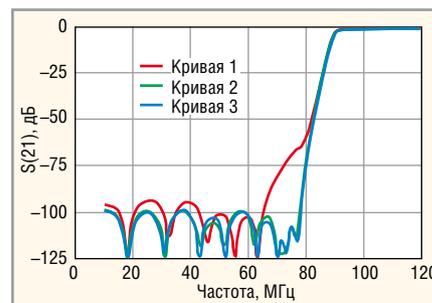


Рис. 6. АЧХ фильтра без экранирования каскадов (кривая 1), с экранированием каскадов без корпуса (кривая 2) и в корпусе (кривая 3)

поля в объёме проектируемого фильтра и осуществляет строгий расчёт его технических характеристик.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Херреро Д., Уиллонер Г. Синтез фильтров. Советское радио. 1971.
2. Ханзел Г.Е. Справочник по расчёту фильтров. Советское радио. 1974.
3. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчёт антенн и СВЧ-структур с помощью HFSS Ansoft. ЗАО «НПП «РОДНИК». 2009.



**Новости мира News of the World Новости мира**

**«Микран» открыл в Томске завод радиоэлектроники**

Губернатор Томской области Сергей Жвачкин вместе с генеральным директором НПФ «Микран» Владимиром Доценко открыли в Томске предприятие по производству радиоэлектронной аппаратуры имени Виктора Гюнтера.



Производство на новом заводе было запущено нажатием «зелёной» кнопки, которая символизирует начало нового этапа в развитии деятельности компании. «Даже в эту экономическую непогоду томское предприятие открывает новейшее высокотехнологичное производство. Мы не на словах, а на деле решаем две важнейшие государственные задачи – проблему импортозамещения и создания новых высокопроизводительных и высокооплачиваемых рабочих мест. Такие компании как «Микран» ценны своими идеями и высокотехнологичными разработками. За счёт них здесь про-

изводится продукция, которую покупают вместо западных образцов, потому что она намного выше по качеству и ниже по стоимости. Томский «Микран» – это компания федерального значения, которая успешно конкурирует с ведущими мировыми брендами», – отметил губернатор Томской области Сергей Жвачкин.

Генеральный директор показал главе региона производственные площадки нового завода, где будет собираться радиоэлектронное оборудование. Они позволят увеличить в пять раз выпуск СВЧ-приборов, в восемь раз – выпуск систем радиорелейной связи, расширить географию поставок до 75 стран. Также был презентован новый Энергоцентр, который работает в режиме тригенерации (на входе газ, на выходе – электроэнергия, тепло и холод) и который в перспективе сможет обеспечить теплом и электроэнергией расположенные рядом с НПФ «Микран» предприятия.

«Новый завод – это порядка 950 рабочих мест. У нас четыре основных направления: СВЧ-модули, телекоммуникации, радиоизмерительное и радиолокационное оборудование. И по всем этим направлениям мы планируем увеличить выручку минимум на 40%», – сказал журналистам генеральный директор предприятия Владимир Доценко. «Я имел возможность посе-



тить Энергоцентр. Могу с уверенностью сказать, что такому томскому комплексу, который одновременно может производить электроэнергию, тепло и холод, будут завидовать. Очень здорово, что сегодня есть такие предприятия и что традиции, заложенные основателем, продолжают и укрепляются», – сказал мэр Томска Иван Кляйн.

В церемонии открытия завода также приняли участие заместители губернатора Леонид Резников и Михаил Сонькин, ректор Национального исследовательского Томского политехнического университета Петр Чубик, ректор ТУСУРа, председатель Томского профессорского собрания Александр Шелупанов, президент Национального исследовательского Томского государственного университета Георгий Майер, руководитель Томского отделения Сбербанка России Михаил Гребенников.

[www.micran.ru](http://www.micran.ru)