

Разработка и моделирование СВЧ-фильтра с контактами типа flip-chip

С. Сковородников¹, Д. Семенов²

УДК 621.372 | ВАК 2.2.2

В рамках совместной работы по проектированию и организации серийного производства полосно-пропускающего фильтра Х-диапазона специалистами ООО «СДС Электроникс» была выполнена разработка СВЧ-фильтра с контактами типа flip-chip. В статье представлены результаты моделирования СВЧ полосно-пропускающего фильтра с использованием отечественной САПР «Гамма» и сравнение их с параметрами, измеренными на серийных образцах. Исследована возможность оценки диэлектрической проницаемости материалов, применяемых для изготовления СВЧ-фильтров.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проведения разработки полосно-пропускающего фильтра Х-диапазона с контактами типа flip-chip определяется рядом факторов.

Во-первых, современные требования к СВЧ-модулям по массо-габаритным характеристикам, плотности компоновки и стоимостным параметрам не позволяют придерживаться сложившегося сегодня подхода к проектированию достаточно больших микросборок. Если полупроводниковые СВЧ-элементы могут быть интегрированы в кристалл, то пассивные высокочастотные компоненты (фильтры, делители, квадратурные мосты, мосты Ланге, ферритовые циркуляторы) и СВЧ-проводники, как правило, выполняются в виде дискретных габаритных компонентов.

Необходимо также принимать во внимание доступность СВЧ-компонентов на российском рынке, их высокую стоимость и длительные сроки разработки и изготовления. Следует также учитывать юридические ограничения применения ведущих САПР (CST, Ansys, HFSS) для моделирования и расчета основных электрических параметров как СВЧ-компонентов, так и СВЧ-модулей.

Преимуществами СВЧ-компонентов с контактами типа flip-chip являются:

- совместимость с технологией SMD-монтажа (отсутствие ручных операций при монтаже, отверточная сборка, клейка, разварка, селективная пайка, необходимость настройки/регулировки основных электрических параметров);

- минимальные габариты СВЧ-компонента и площади, занимаемой им на печатной плате;
- отсутствие «газящих» материалов, что актуально для применения их в герметичных СВЧ-модулях;
- индивидуальная маркировка для организации прослеживаемости партий и исключения контрафакта;
- высокая электромагнитная совместимость;
- унификация и доступность материалов и технологического процесса.

В рамках разработки полосно-пропускающего фильтра Х-диапазона специалисты ООО «СДС Электроникс» ставили перед собой следующие задачи:

- познакомить разработчиков с методологией применения и моделирования СВЧ-компонентов с контактами типа flip-chip;
- обеспечить при необходимости быструю смену рабочих частот выпускаемых фильтров;
- оценить влияние применяемых материалов различных производителей на основные электрические параметры фильтров;
- «обкатать» отечественную САПР для применения в разработке СВЧ-устройств.

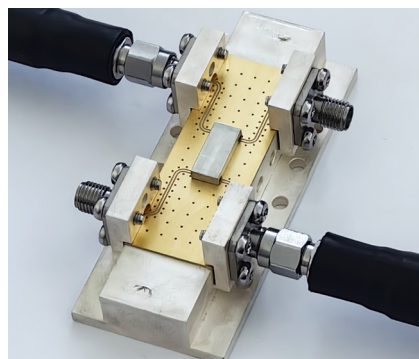


Рис. 1.
Полосно-пропускающий фильтр с контактами типа flip-chip с отладочной платой

¹ ООО «СДС Электроникс», технический директор, SkovorodnikovS@sds-e.net.

² ООО «СДС Электроникс», стратегический директор, Semenov@sds-e.net.

ОСОБЕННОСТИ СВЧ-ФИЛЬТРОВ С КОНТАКТАМИ ТИПА FLIP-CHIP

Фильтр представляет собой керамическую подложку с нанесенной на неё по планарной технологии топологии параллельных шлейфов (полуволновых резонаторов с боковой связью). На подложку устанавливается контактная группа столбиковых выводов (bump). Подложка помещается в корпус с проводящим покрытием.

В нашем случае для фильтра был использован типовой корпус от серийно изготавливаемого циркулятора (рис. 1). Топология фильтра также была изготовлена по типовому технологическому процессу, благодаря чему обеспечивается унификация разрабатываемых и выпускаемых СВЧ-приборов (рис. 2). За счет того, что топология размещается под корпусом, достигается эффект экранировки и электромагнитной совместимости.

Фильтр является 4-звенным, полоса пропускания составляет 20% относительно центральной частоты (рис. 3), вносимые потери – порядка 1,2 дБ.

Проверка основных электрических параметров проводилась на тестовой плате, являющейся фрагментом печатной платы модуля.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВЧ-ФИЛЬТРА В САПР «ГАММА»

Современные САПР для моделирования и расчета СВЧ-устройств являются мощным конструкторским инструментом. Вместе с тем, они требуют от разработчика ряда профессиональных навыков (в том числе при реверс-инжиниринге): филигранной точности построения модели, знания технологического процесса изготовления разрабатываемых устройств, учета электротехнических параметров конструкционных материалов, правильной оценки располагаемыми вычислительными мощностями при построении моделей.

СВЧ-приборы с контактами типа flip-chip работают как объемные системы на диэлектрических резонаторах, несмотря на то, что сам функциональный узел (топология на керамической подложке) является планарным. Сложность построения модели таких приборов в САПР связана с тем, что параметры устройства обеспечиваются, в том числе, за счет подводящих линий, прилегающего объема несущей платы около корпуса, группы переходов между несущей платой и керамической подложкой. По сути, это комплексная трехмерная модель, в которую с высокой точностью нужно заложить технологические зазоры и девиации размеров. Необходимо также точно указать фактические значения физических параметров используемых материалов: проводимость, диэлектрическую проницаемость, тангенс угла потерь и др. Для максимального приближения расчетных данных к реальным параметрам опытные разработчики могут использовать уточненные данные параметров



Рис. 2.
Групповая заготовка с фильтрами с контактами типа flip-chip

физических свойств материалов и частотную коррекцию АЧХ по результатам измерений.

В САПР «Гамма» была полностью воспроизведена модель разработанного фильтра с тестовой платой. Некоторые элементы фильтра и тестовой платы были импортированы из других САПР. Заданы основные параметры физических свойств используемых материалов, необходимых для проведения электромагнитного анализа и расчета S-параметров фильтра. АЧХ полосно-пропускающего фильтра с контактами типа flip-chip, рассчитанная в САПР «Гамма» и измеренная на серийном образце, представлена на рис. 4.

Для оценки экранирования в САПР «Гамма» были построены распределения амплитуд электрических полей в разных плоскостях фильтра (рис. 5). Оценка распределения полей показывает, что их затухание за пределами корпуса фильтра составляет более 60 дБ относительно подводящих микрополосковых волноводов.

Важным вопросом при расчете параметров СВЧ-устройств является то, какие значения параметров физических свойств материалов указывать в моделях. Производители материалов для СВЧ-приборов зачастую указывают в каталогах нормированные значения, получаемые

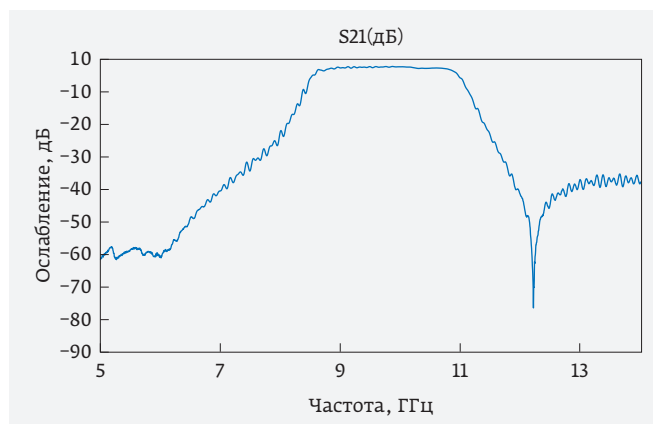


Рис. 3. Типовая АЧХ полосно-пропускающего фильтра X-диапазона с контактами типа flip-chip (рабочая полоса 20% относительно центральной частоты)

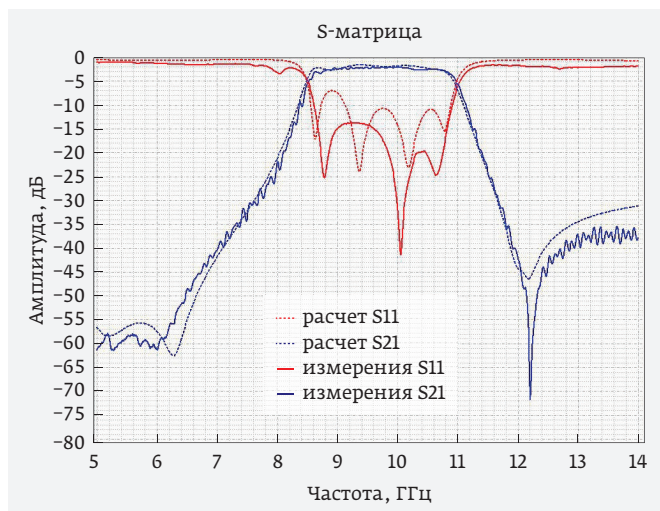


Рис. 4. АЧХ полосно-пропускающего фильтра с контактами типа flip-chip, рассчитанная в САПР «Гамма» и измеренная на серийном образце

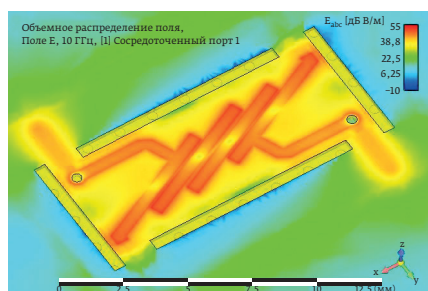


Рис. 5. Распределение электромагнитных полей полосно-пропускающего фильтра с контактами типа flip-chip, рассчитанное в САПР «Гамма»

в результате аттестационных измерений, и отдельно значения параметров для расчетов в САПР. Иногда указанная девиация параметра, например, такого как диэлектрическая проницаемость, имеет настолько большое значение, что без верификации параметров конкретной партии материала не представляется возможным изготовление СВЧ-прибора.

Как корректно оценить параметры используемых материалов, особенно с учетом наличия разных поставщиков материалов? Одним из инструментов оценки может стать сопоставление АЧХ фильтра, рассчитанной в САПР и измеренной на серийном образце. По результатам измерения АЧХ фильтров, изготовленных из материалов разных поставщиков, можно изменять значение диэлектрической проницаемости в модели фильтра в САПР до такой величины, при которой совпадут измеренные и расчетные АЧХ. Полученное значение можно качественно зафиксировать для данного материала, материала данной партии, материала от конкретного поставщика. Затем в САПР можно скорректировать топологию фильтра.

В данной работе была проведена оценка керамического материала одного из поставщиков. Изготовленный образец фильтра имел смещение рабочей полосы вверх

по частоте порядка 230 МГц (рис. 6). По расчетам в САПР «Гамма» данное смещение соответствовало разнице величины диэлектрической проницаемости между используемым и предоставленным материалом, равной 0,7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были получены следующие результаты:

- хорошее согласование между измеренными параметрами АЧХ фильтра X-диапазона с контактами типа flip-chip и результатами моделирования в отечественной САПР «Гамма»;
- проведена качественная оценка значения диэлектрической проницаемости применяемых материалов различных поставщиков для изготовления СВЧ-фильтров при помощи отечественной САПР «Гамма»;
- моделирование фильтра X-диапазона с контактами типа flip-chip в САПР «Гамма» подтвердило его эффективную экранировку и, как следствие, хорошую электромагнитную совместимость;
- подтверждена возможность конвертации моделей из различных САПР в отечественную САПР «Гамма».

Предложенная методология и инструментарий позволяют выполнить разработку данного класса СВЧ-устройств с контактами типа flip-chip в 3-месячный срок от утверждения ТЗ до изготовления и измерения образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахарев С.И., Вольман В.И., Либ Ю.Н. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств, 1982.
2. <https://www.sevsu.ru/innovation/sapr-gamma/>.

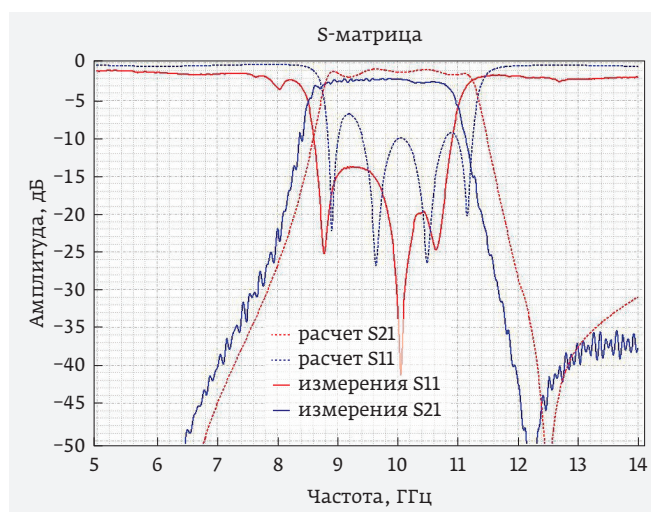


Рис. 6. АЧХ полосно-пропускающего фильтра X-диапазона с контактами типа flip-chip и ее расчетное значение в САПР «Гамма» с отличным от номинального значения диэлектрической проницаемости подложки на 0,7