

УДК 621.3.088

И.Ф. Калимулин

Оценка электромагнитной наводки со входа на выход посадочного места ПАВ-фильтра

Для корректной работы ПАВ-фильтра необходим высокий уровень развязки между сигнальными контактными площадками в посадочном месте. Его можно обеспечить без дополнительных конструктивных элементов, только за счет выбора подходящих материалов и размеров печатной платы. В работе показано, как с помощью моделирования можно оценить уровень развязки, а также показано, что при моделировании необходимо учитывать контактные площадки, соединённые с корпусом.

Ключевые слова: ПАВ-фильтр, посадочное место, электромагнитная наводка, печатная плата, TALGAT.

При проектировании электронных устройств недостаточно только разработать принципиальную схему, конструкция печатной платы также играет значительную роль. Влияние параметров платы надо учитывать уже на этапе проектирования принципиальной схемы [1]. Например, при согласовании СВЧ-компонентов надо выбирать параметры согласующих элементов с учетом влияния параметров трасс и материалов диэлектрика платы. Уменьшение размеров компонентов приводит к уменьшению расстояния между контактными площадками, что увеличивает паразитные связи между ними. Такая связь будет ухудшать характеристики некоторых прецизионных компонентов, поэтому, например, зарубежные производители ПАВ-фильтров в документации приводят требуемый уровень развязки между сигнальными контактами, а также рекомендации к конструкции посадочного места [2].

В технической документации [3] на полосовой ПАВ-фильтр ФП-592 1587В51 МГц указано, что топология печатной платы должна обеспечивать уровень электромагнитной наводки не хуже $-(65-70)$ дБ. Эта фраза подразумевает, что конструкция платы должна обеспечивать коэффициент передачи между сигнальными контактными площадками не хуже $-(65-70)$ дБ. Производитель приводит рекомендуемую схему включения и вид посадочного места (рис. 1) [3], однако не дает рекомендаций по выполнению данного условия.

Цель данной работы – представить методику возможной оценки уровня электромагнитной наводки посадочного места ПАВ-фильтра на печатной плате.

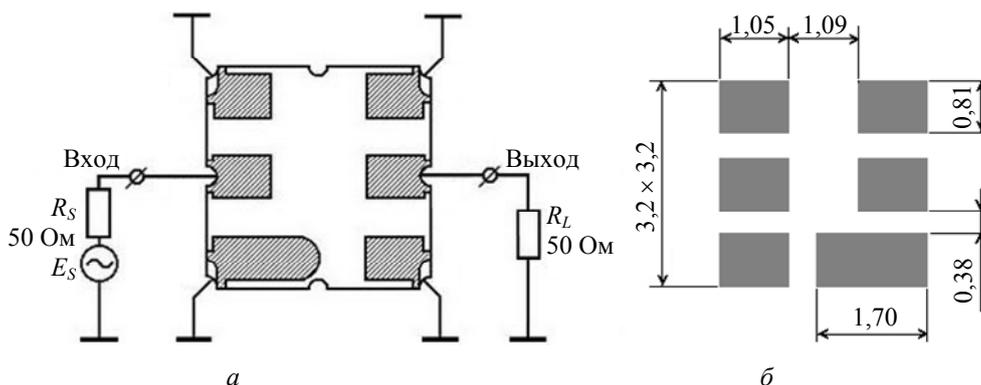


Рис. 1. Схема включения фильтра (а) и рекомендуемый вид посадочного места (б) на печатной плате

Вычисление электромагнитной наводки для посадочного места компонента. Оценить коэффициент передачи можно с помощью измерений, но для этого нужно изготовить измерительную оснастку в виде печатной платы с СВЧ-разъемами. Во время измерений также необходимо выполнить калибровку либо исключение неоднородностей, вносимых разъемами и соединительными трассами. Кроме этого, точность измерений снизится из-за разброса параметров при изготовлении платы. Поэтому первую оценку коэффициента передачи целесообразно выполнить с помощью моделирования.

Малая длина (~3 мм) посадочного места позволяет считать его электрически коротким при условии $\lambda/10 < 3$ мм, откуда $\lambda < 30$ мм, а значит, частота $f = 10$ ГГц. Эта оценка сделана для скорости распространения света в вакууме, тогда как в реальном диэлектрическом заполнении она будет в $\sqrt{\epsilon_r}$ раз меньше, что, например, для стеклотекстолита марки FR-4, означает ее уменьшение примерно в 2 раза. Таким образом, до частоты 5 ГГц вполне адекватно моделирование посадочного места цепью с сосредоточенными параметрами. Простейший вариант цепи состоит из емкостей, но получение их корректных значений требует 3D-анализа посадочного места, поскольку его длина и ширина сопоставимы. Значит, моделирование электромагнитной наводки можно выполнить посредством квазистатического анализа в два независимых шага, вычислив для посадочного места емкостную матрицу и уровень электромагнитной наводки через эквивалентную схему. Оба их можно выполнить в системе TALGAT [4].

При моделировании использованы следующие параметры печатной платы: полная толщина фольгированного стеклотекстолита – 500 мкм; толщина проводников – 35 мкм; соответственно, толщина диэлектрика – 430 мкм. Материал диэлектрика – FR-4. Печатная плата двухсторонняя, нижний слой – земля, верхний слой – сигнальный. Вычисление емкостной матрицы выполнено с последовательным уточнением сегментации до сходимости ее значений.

Посадочное место имеет 6 контактных площадок, но сигнальными являются 2, тогда как остальные 4 заземлены. Для оценки их влияния сначала выполнено моделирование только для сигнальных площадок, а потом – всех. На рис. 2 показана геометрическая модель посадочного места для 2 контактных площадок, а результат моделирования приведен в (1). Видно, что все диагональные элементы матрицы равны, поскольку погрешность вычислений мала, а диагональные элементы равны в силу симметричности структуры.

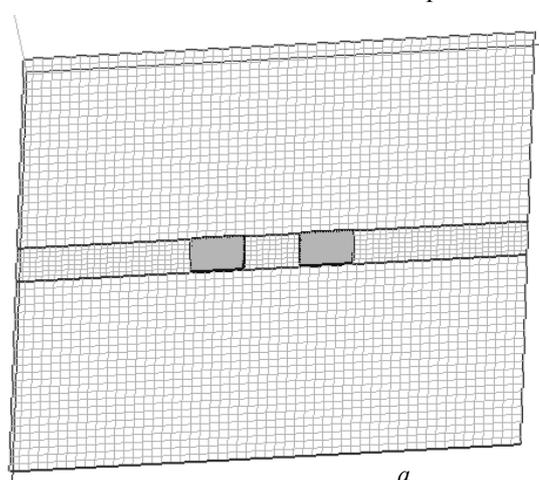
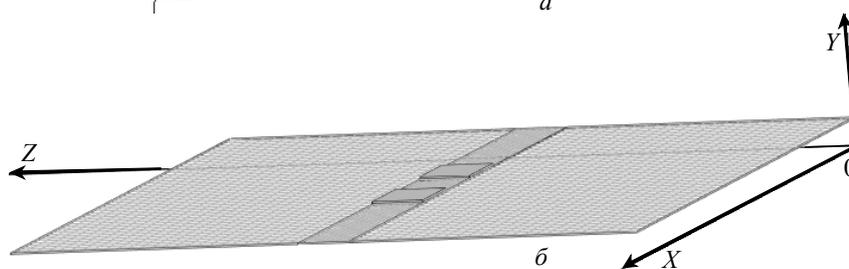


Рис. 2. 3D-модель посадочного места полосового ПАВ-фильтра:
а – 2 контактные площадки, вид сверху;
б – вид сбоку



$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,56787e-13 & -1,87005e-15 \\ -1,87005e-15 & 1,56787e-13 \end{bmatrix} \Phi, \quad (1)$$

Для эквивалентной схемы тракта 50 Ом (рис. 3) взаимная емкость между контактными площадками $C_3 = 1,87005e-15$ Ф, а собственная емкость контактных площадок $C_1 = C_2 = C_{11} - C_3 = 1,56787e-13$ Ф. Подставив значения емкостей в схему, рассчитаем уровень электромагнитной наводки (рис. 5, а).

На рис. 4 показана геометрическая модель полного посадочного места, имеющего 6 контактных площадок, а результат моделирования приведен в табл. 1. Видна нефизическая асимметрия матрицы, вызванная погрешностью вычислений. Для ее количественной оценки рассчитана матрица ошибок (табл. 2). По ней видно, что максимальная ошибка мала, около 1%.

Учитывая (см. рис. 4), что сигнальными являются входная контактная площадка 2 и выходная контактная площадка 1, а остальные контактные площадки 3–6 являются заземленными (соединены с корпусом фильтра), из емкостной матрицы (см. табл. 1) можно вырезать строки 3–6 и столбцы 3–6 и получить емкостную матрицу для сигнальных контактных площадок (2):

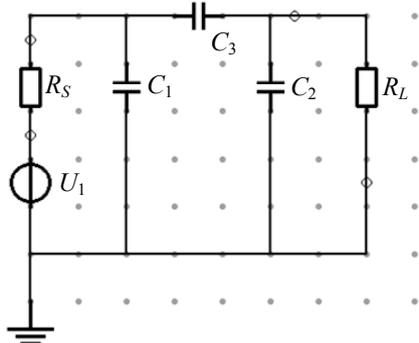


Рис. 3. Эквивалентная схема посадочного места для моделирования уровня электромагнитной наводки

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,61326e-13 & -3,3367e-16 \\ -3,32275e-16 & 1,61494e-13 \end{bmatrix} \Phi. \quad (2)$$

Рассчитанная матрица ошибок (3) для матрицы (2) также мала:

$$C_{\text{ERROR}} = \begin{bmatrix} 0 & 0,209435 \\ 0,209435 & 0 \end{bmatrix} \%. \quad (3)$$

Выполнив операцию симметрирования, получим взаимную емкость между контактными площадками $C_3 = 3,32973e-016 \Phi$, а собственная емкость контактных площадок равна $C_1 = C_{11} - C_3 = 1,60993027e-13 \Phi$ и $C_2 = C_{22} - C_3 = 1,61161027e-13 \Phi$. Подставив значения емкостей в схему (см. рис. 3), рассчитаем уровень электромагнитной наводки (рис. 5, б).

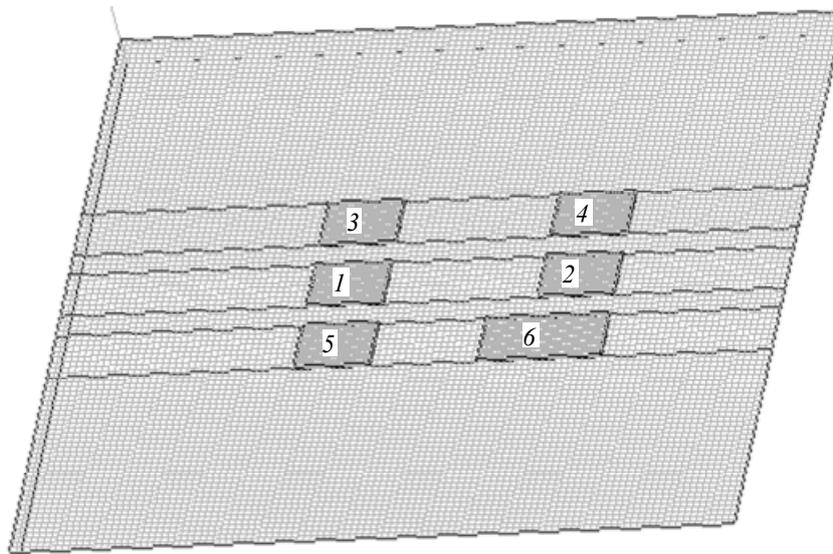


Рис. 4. 3D-модель посадочного места ПАВ-фильтра: 6 контактных площадок

Таблица 1

Емкостная матрица для посадочного места, Φ

$1,61326e-13$	$-3,3367e-16$	$-1,13652e-14$	$-2,81566e-16$	$-1,13607e-14$	$-6,30822e-16$
$-3,32275e-16$	$1,61494e-13$	$-2,76563e-016$	$-1,13549e-14$	$-2,59929e-16$	$-1,32938e-14$
$-1,13628e-14$	$-2,77098e-16$	$1,596e-13$	$-4,11941e-16$	$-6,11106e-16$	$-3,01525e-16$
$-2,81292e-16$	$-1,13543e-14$	$-4,11904e-16$	$1,59625e-13$	$-1,6255e-16$	$-8,30726e-16$
$-1,13588e-14$	$-2,61943e-16$	$-6,11155e-16$	$-1,6261e-16$	$1,59612e-13$	$-1,02502e-15$
$-6,32099e-16$	$-1,34283e-14$	$-3,05903e-16$	$-8,49518e-16$	$-1,02106e-15$	$2,33744e-13$

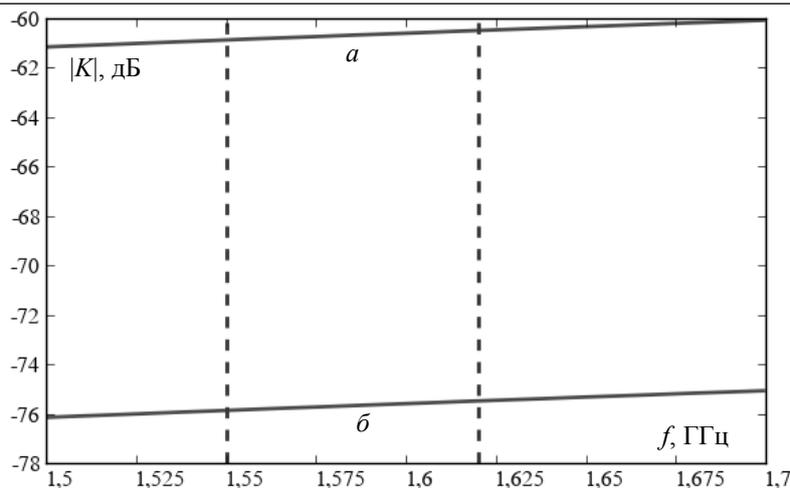
Таблица 2

Матрица ошибок, %

0	0,209435	0,0104834	0,0485428	0,00848078	0,101163
0,209435	0	0,0966946	0,00263337	0,385858	0,503333
0,0104834	0,0966946	0	0,00444864	0,00400463	0,720591
0,0485428	0,00263337	0,00444864	0	0,0184089	1,11842
0,00848078	0,385858	0,00400463	0,0184089	0	0,193683
0,101163	0,503333	0,720591	1,11842	0,193683	0

Рабочий диапазон полосового ПАВ-фильтра 1,551–1,618 ГГц. Из рис. 5 видно, что для модели с 2 контактными площадками условие «не хуже $-(65-70)$ дБ» не выполняется, но для полной модели с 6 контактными площадками характеристика улучшается и уровень электромагнитной наводки становится $-(75,8-75,4)$ дБ. Таким образом, внесение в конструкцию посадочного места 4 контактных площадок, соединенных с корпусом, улучшает развязку даже больше необходимого уровня. Соответственно можно сделать вывод о целесообразности использования приведенных параметров печатной платы и конфигурации посадочного места.

Рис. 5. Уровень электромагнитной наводки между сигнальными контактными площадками ПАВ-фильтра для моделей из 2 (а) и 6 (б) контактных площадок



Заключение. В статье приведена методика оценки влияния посадочного места с учетом реальных параметров печатной платы, при которых уровень электромагнитной наводки со входа на выход удовлетворяет условию из технической документации на ПАВ-фильтр. При этом видно, что учет не сигнальных контактных площадок улучшил развязку на 15 дБ. Дальнейшим развитием данной работы представляется анализ чувствительности как к геометрическим параметрам платы и контактных площадок (из-за разброса параметров при изготовлении), так и к параметрам материала. Заметим, что зарубежные производители [2] рекомендуют уровень развязки -80 дБ. Такой уровень в дальнейшем можно обеспечить заземлением контактных площадок, соединенных с корпусом фильтра.

Работа выполнена в порядке реализации Постановления №218 Правительства РФ от 09.04.2010 г. (3-я очередь) по договору № 96/12 от 16.11.2012 между ТУСУРОм и ОАО «ИСС» им. акад. М.Ф. Решетнева», при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-07-98017 р_сибирь_а, а также при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы УМНИК, договор №115/52.

Литература

1. Комнатнов М.Е. Моделирование эффективности экранирования металлической пластиной для бортовой аппаратуры космического аппарата / М.Е. Комнатнов, Т.Р. Газизов, А.С. Дементьев // Доклады ТУСУРа. – Томск, 2011, №2(24). – Ч. 1 С. 133–136.
2. Рекомендации по конструкции посадочного места ПАВ-фильтра. PC Board Layout Tips. Sawtek Inc. 2012. Р. 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.triquint.com/>, свободный (дата обращения: 26.11.2013).
3. Техническая документация. Полосовой фильтр на ПАВ ФП- 592 1587В51 МГц. Официальный сайт Лаборатории электронных фильтров Московского технического университета связи и информатики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.saw-filters.ru/>, свободный (дата обращения: 26.11.2013).
4. Официальный сайт TALGAT System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://talgat.org/>, свободный (дата обращения: 26.11.2013).

Калимулин Илья Фидальевич

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: 8 (923) 417-74-02
Эл. почта: ilirium115@gmail.com

Kalimulin I.F.

Estimation of feedthrough suppression between the input and output in the SAW filter layout

For correct operation of the SAW filter requires a high level of feedthrough suppression between the signal pads in the layout. It can be provided without additional structural elements, only by selecting suitable materials and dimensions of the PCB. The paper shows how using the simulation can evaluate the level of feedthrough suppression. It is shown that in the simulation must consider pads connected to the package.

Keywords: SAW filter, layout, feedthrough suppression, PCB, TALGAT.