

Обнаружение признаков автогенерации МШУ на этапе электромагнитного моделирования

В.В. Березин, М.С. Ольхова

ООО «Радио Гигабит» г. Нижний Новгород

Аннотация: в данной работе исследуется возможность обнаружения самовозбуждения малошумящего усилителя на этапе моделирования. При этом учитывается не только топология и согласующая схема, но и экранирующая крышка.

Ключевые слова: малошумящий усилитель, автогенерация, электромагнитное моделирование.

1. Введение

При моделировании малошумящего усилителя (МШУ), в первую очередь, акцент делается на коэффициент усиления, уровни согласования по входу и выходу, на коэффициент шума в рабочей полосе частот. Также исследуется и стабильность, например, при помощи К-фактора.

Возможность возбуждения, как правило, исключается согласующими цепями, построенными по типу ФНЧ и ФВЧ, но такие цепи обеспечивают подавление верхних частот только в небольшой полосе, и существует риск возникновения автогенерации при использовании широкополосных МШУ.

2. Обнаружение проблемы

Как известно, для возникновения автогенерации должны быть соблюдены два условия:

- баланс фаз, из которого следует, что сдвиг фаз в замкнутой цепи автоколебательной системе должен равняться $2\pi n$, где $n = 0, 1, 2, \dots$
- баланс амплитуд, из него следует, что для существования автоколебаний ослабление сигнала, вносимое звеном обратной связи, должно компенсироваться усилительной цепью.

При моделировании МШУ, а также при измерениях на отладочной плате автогенерация отсутствовала. Однако на готовом модуле, куда был встроен МШУ, в ходе проведения измерений характеристик платы, установленной в корпус, возникла автогенерация на частоте 9.1 ГГц.

Для исследования проблемы было решено использовать не только топологию печатной платы для электромагнитного моделирования, но также и модель корпуса.

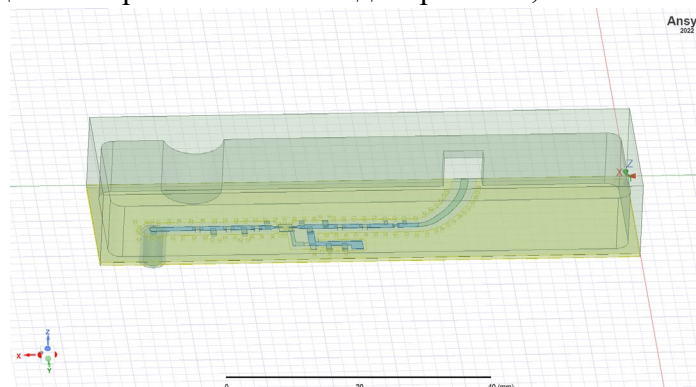


Рисунок 1. Модель для трехмерного моделирования, включающая корпус устройства.

В данном случае полость корпуса представляет собой резонатор с набором собственных мод. Соответственно, подобное моделирование позволяет учесть эти собственные моды при расчете характеристик МШУ.

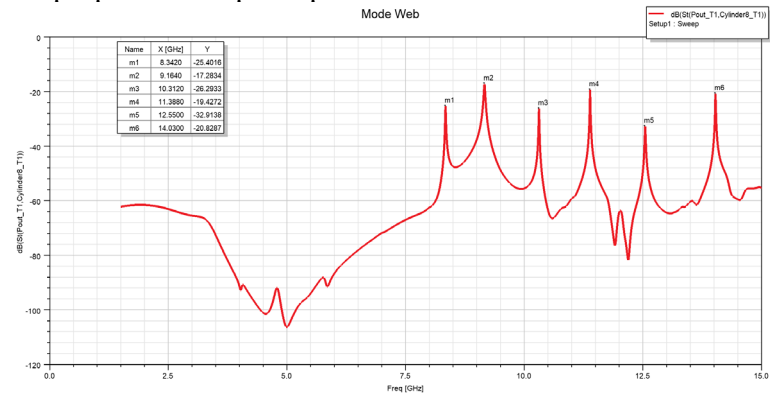


Рисунок 2. Собственные моды корпуса с топологией МШУ

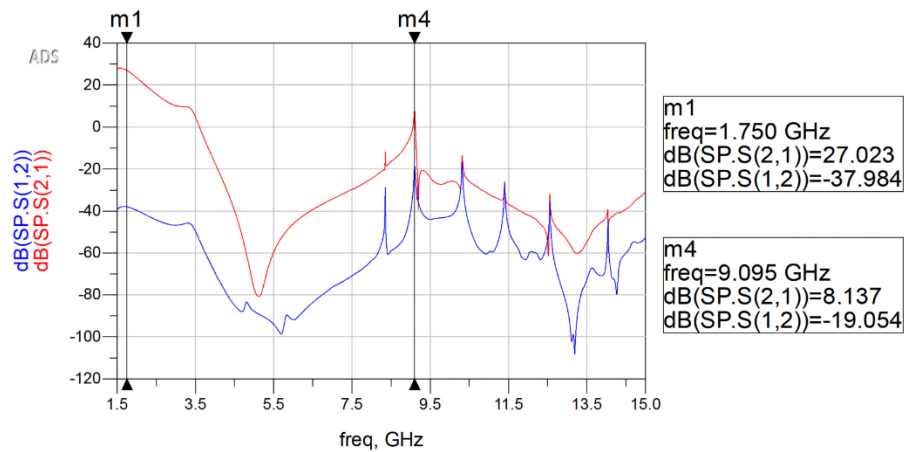


Рисунок 3. S21 и S12 МШУ с учетом влияния корпуса

При влиянии корпуса МШУ приобрел положительный параметр S21 на частоте 9.1 ГГц. Аналогичная картина наблюдалась при измерениях МШУ на плате, установленной в корпус:

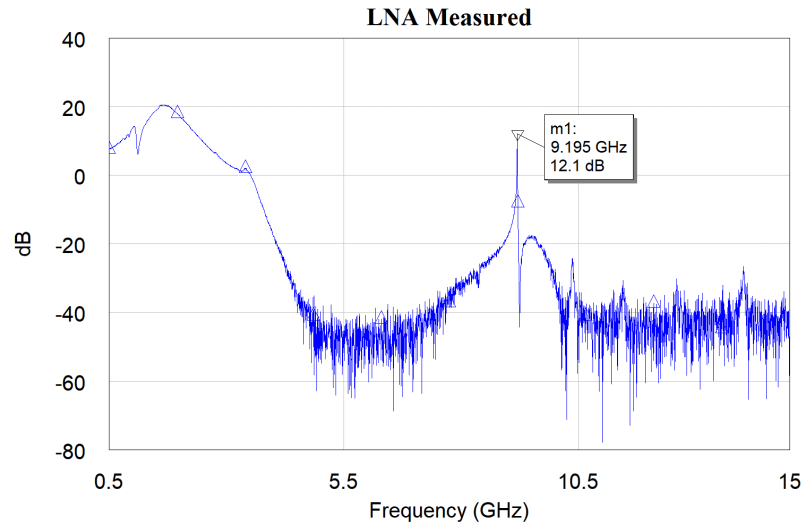


Рисунок 4. Результаты измерения S21 МШУ на плате

Также можно оценить значение разности фаз между выходным и входным портами МШУ.

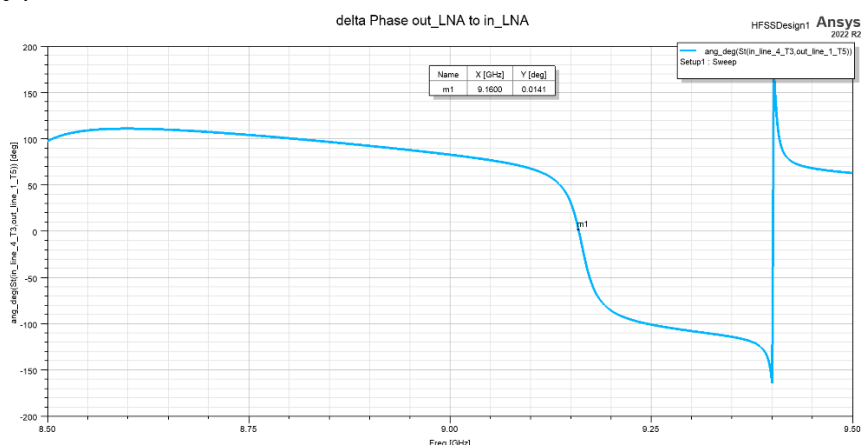


Рисунок 5. Разность фаз между выходным и входным портами МШУ

Можно заметить, что синфазность входа и выхода МШУ достигается на той же частоте. Таким образом, при моделировании можно обнаружить выполнение обоих условий автогенерации.

3. Возможные пути решения

После того, как проблема обнаружена, необходимо принять меры для ее устранения. В данном случае можно пойти двумя путями: изменить геометрию крышки корпуса, что приведет к изменению собственных частот полости и разрыву обратной связи, либо внести схемотехнические изменения и нарушить выполнение условий баланса амплитуд и фаз.

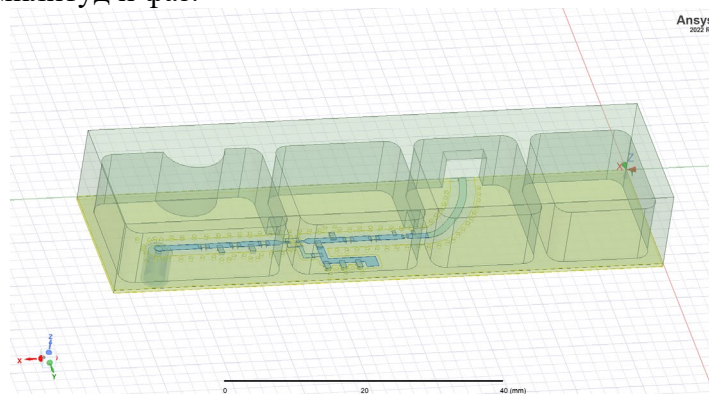


Рисунок 6. Модель МШУ с модифицированной геометрией корпуса

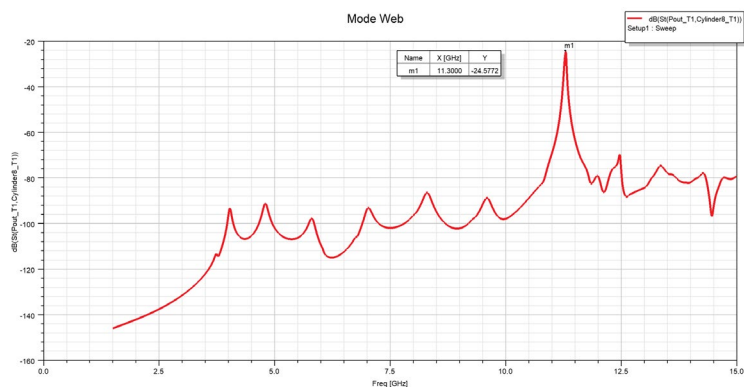


Рисунок 7. Собственные моды корпуса с модифицированной геометрией

Собственные моды резонатора изменили свое положение, и теперь резонатор может обеспечивать поддержку генерации только на частоте 11.3 ГГц. Однако, S21 в данной точке отрицателен и составляет менее минус 30 дБ. При этом S21 все еще имеет положительный участок в районе 9 ГГц, но самовозбуждения МШУ не происходит.

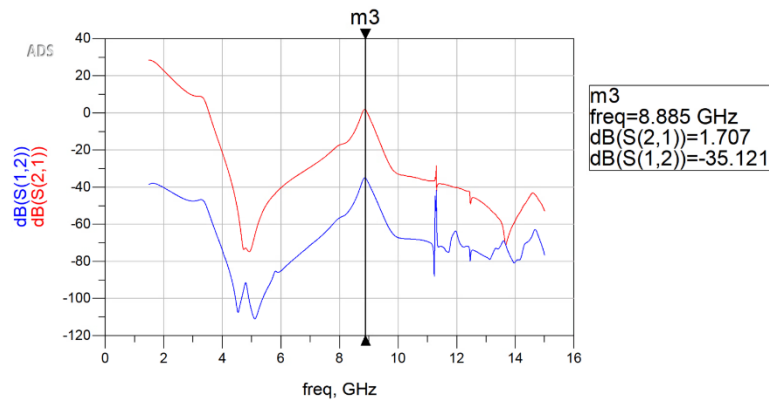


Рисунок 8. S21 МШУ с модифицированным корпусом

Если в устройстве высокая плотность монтажа, то разбиение большого объема на маленькие для изменения частот собственных мод не представляется возможным. Тогда необходимо использовать схемное решение.

Таким решением может послужить установка шунтирующего конденсатора с высокой добротностью на частоте автогенерации.

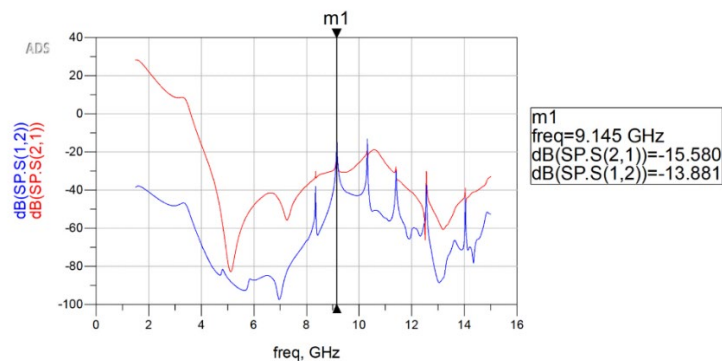


Рисунок 9. S21 МШУ с установленным шунтирующим конденсатором на выходе

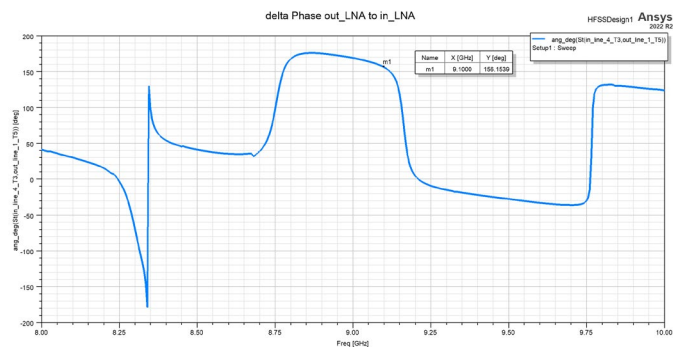


Рисунок 10. Разность фаз выходного и входного портов МШУ с установленным шунтирующим конденсатором на выходе

В данном случае можно видеть, что оба условия нарушены, и автогенерация не происходит. Оба решения также проверены экспериментально.

3. Заключение

В данной работе рассмотрена проблема автогенерации МШУ, возникающая в определенных условиях: при установке платы в корпус с полостью, играющей роль резонатора. В этом случае существует риск выполнения условия баланса амплитуд и баланса фаз при наличии обратной связи.

Каждое из условий может быть обнаружено на этапе электромагнитного моделирования топологии. Причем моделирование необходимо выполнять вместе с корпусом, в который будет помещено устройство. Геометрия корпуса обеспечивает не только обратную связь на частотах собственных мод, но и влияет на фазу сигнала между входом и выходом МШУ, обеспечивая выполнение необходимых условий.

Существуют разные пути решения проблемы, среди которых как изменение геометрии корпуса, так и дополнительная фильтрация СВЧ тракта вблизи МШУ. Данные решения были протестированы на практике и показали свою эффективность.

Список литературы

1. Гудков С.А. Устройства генерирования и формирования сигналов [Электронный ресурс] : научно-образоват. модуль в системе дистанц. обучения Moodle / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. С. А. Гудков, А. А. Потудинский. - Электрон. текстовые и граф. дан. - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
2. Дингес С.И. Радиопередающие устройства. Учебник для вузов / С.И. Дингес, Р.Ю. Иванюшкин, В.Б. Козырев и др.; Под общей редакцией Р.Ю. Иванюшкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2020. – 1200 с: ил. – (Серия «Теория и практика инфокоммуникаций»).