

Лабораторная работа №6 по курсу «Радиотехнические устройства и системы»

Моделирование S-параметров

Кузнецов В.В., ассистент кафедры ЭИУ1-КФ

23 ноября 2013 г.

1 Цель работы

Цель данной лабораторной работы — изучение моделирования S-параметров в программе Qucs.

Данная программа основана на вновь разработанном ядре схемотехнического моделирования (разработка совместно с Берлинским институтом высокочастотной техники) и работает под управлением операционных систем (ОС) Linux и Windows. В данной программе возможно моделирование аналоговых и цифровых схем, моделирование на постоянном и переменном токе и моделирование переходного процесса. Недостатком программы является разделение аналогового и цифрового моделирования.

Родной операционной системой для Qucs является Linux, и при работе на этой системе следует ожидать наибольшей производительности. Настоятельно рекомендуется использовать для работы программы ОС Linux.

Версию Qucs для Linux можно установить в один клик, используя пакетный менеджер, а версию для Windows можно скачать бесплатно с сайта разработчика <http://qucs.sourceforge.net>.

2 Краткое введение в анализ высокочастотных схем

2.1 S-параметры четырёхполюсника

Четырёхполюсником является любая электронная схема, имеющая один вход и один выход: усилитель, фильтр, аттенюатор. Активный четырёхполюсник содержит источники питания и может усиливать входной сигнал. Активный четырёхполюсник как правило содержит биполярный или полевой транзистор, интегральный операционный усилитель и т.п. схемы. Пассивный четырёхполюсник не имеет источников питания, и не может усиливать сигнал. К пассивным четырёхполюсникам относятся LC- и RC- фильтры, которые содержат только индуктивность, ёмкость и сопротивление.

В радиотехнике для того, чтобы охарактеризовать четырёхполюсник применяется матрица S-параметров, или иначе матрица рассеяния. S-параметры устанавливают связь между нормированными амплитудами напряжения и тока на входе и на выходе четырёхполюсника. Если вход четырёхполюсника подключен к источнику переменного тока (генератору колебаний) с некоторым выходным сопротивлением Z_1 , то часть энергии от источника передаётся на вход, а часть — отражается от входа. Пусть нормированная амплитуда падающей на вход волны равна a_1 , а отражённой волны b_1 .

Такое же рассуждение справедливо и для выхода четырёхполосника, к которому подключена нагрузка с сопротивлением Z_2 . Часть энергии, поступающей с выхода четырёхполосника, поглощается нагрузкой, а часть энергии — отражается от неё и поступает обратно в четырёхполосник. Пусть нормированная амплитуда падающей на нагрузку волны равна a_2 , а отражённой от нагрузки волны b_2 .

Нормированные амплитуды падающей и отражённой волны на входе и на выходе связаны через матрицу рассеяния:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (1)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2)$$

Физический смысл S-параметров следующий:

S_{11} — коэффициент отражения Γ_1 от входа четырёхполосника. Показывает степень согласования между источником входного сигнала (генератором колебаний) и входными цепями четырёхполосника. Если $S_{11} = 0$, то вся энергия от источника входного сигнала проходит на вход четырёхполосника без отражения.

S_{12} — коэффициент обратной передачи. Показывает степень передачи энергии с выхода четырёхполосника на вход. Характеризует степень развязки между входом и выходом, что показывает устойчивость активных четырёхполосников.

S_{21} — коэффициент передачи. Равен коэффициенту усиления по мощности четырёхполосника. Для активных четырёхполосников может быть больше единицы, а для пассивных — всегда меньше единицы.

S_{22} — коэффициент отражения Γ_2 от нагрузки. Показывает степень передачи энергии с выхода в нагрузку. Если $S_{22} = 0$, то вся энергия с выхода четырёхполосника поглощается нагрузкой без отражения.

Для пассивных четырёхполосников всегда $S_{21} = S_{12}$ и $S_{11} = S_{22}$, так как внутрь четырёхполосника не поступает дополнительная энергия от источников питания.

2.2 Коэффициент стоячей волны — КСВ

Коэффициент стоячей волны (КСВ) (SWR — Standing wave ratio) показывает степень согласования генератора с нагрузкой. КСВ всегда больше единицы. Оптимальным значением является $\text{SWR}=1$. При этом вся энергия генератора поглощается нагрузкой. Если $\text{SWR} > 1$, то часть энергии отражается от нагрузки и направляется в генератор. Эта энергия может вывести генератор из строя.

КСВ вычисляется через коэффициент отражения Γ , который определяется через амплитуды падающей $U_{\text{пад}}$ и отражённой $U_{\text{отр}}$ волны. Эти амплитуды можно измерить при помощи направленных ответвителей. Прибор для измерения КСВ называется КСВ-метром.

$$\Gamma = \frac{U_{\text{отр}}}{U_{\text{пад}}} \quad (3)$$

$$\text{SWR} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad (4)$$

КСВ можно вычислить и зная выходное сопротивление генератора $Z_{\text{вых}}$ и сопротивление нагрузки $Z_{\text{н}}$. В этом случае коэффициент отражения вычисляется по следующей формуле:

$$\Gamma = \left| \frac{Z_{\text{н}} - Z_{\text{вых}}}{Z_{\text{н}} + Z_{\text{вых}}} \right| \quad (5)$$

Вычисленный по указанной формуле коэффициент отражения затем подставляется в формулу (4) и вычисляется КСВ.

3 Расчёт S-параметров пассивного четырёхполюсника

3.1 Расчёт П-контура

Рассмотрим пример применения S-параметров при расчёте пассивных схем. Одной из таких схем является П-контур, применяемый для согласования выходного каскада передатчика с антенной, каскадов передатчика между собой и т.п.

Выходное сопротивление R_0 транзисторного усилителя мощности (УМ) передатчика составляет менее 10 Ом, а лампового — свыше 2000 Ом. Сопротивление R_a антенны, которая подключается к выходу УМ всегда равно 50 или 75 Ом. Если подключить антенну к выходу УМ напрямую, то из-за того что входное сопротивление антенны несогласованно с выходным сопротивлением передатчика, происходит отражение мощности от антенны и в эфир излучается неполная мощность передатчика. Для устранения этого явления нужно согласовать антенну и выходной каскад УМ. Для этой цели применяется в том числе П-контур (схема — рис.1).

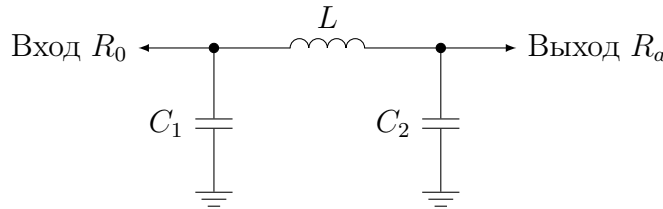


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная П-контура

Чтобы рассчитать П-контур, нужно знать выходное сопротивление оконечного каскада УМ R_0 , сопротивление антенны R_a (обычно 50 или 75 Ом), рабочую частоту f_0 и добротность Q (обычно принимают $Q = 10 - 20$).

Определяют средние значения сопротивления нагрузки ρ :

$$\rho = \sqrt{R_0 R_a} \quad (6)$$

И реактивные сопротивления конденсаторов X_{C1} и X_{C2} и катушки X_L :

$$X_{C1} = -\frac{\rho + R_0}{Q} \quad (7)$$

$$X_{C2} = -\frac{\rho + R_a}{Q} \quad (8)$$

$$X_L = -(X_{C1} + X_{C2}) \quad (9)$$

Затем, зная реактивные сопротивления, рассчитывают индуктивность и ёмкость для рабочей частоты П-контура f_0 :

$$C = -\frac{1}{2\pi f_0 X_C} \quad (10)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_0} \quad (11)$$

3.2 Моделирование П-контура

Для примера промоделируем П-контур, предназначенный для согласования выхода ампового передатчика с выходным сопротивлением $R_0 = 2000 \text{ Ом}$ с антенной со входным сопротивлением $R_a = 50 \text{ Ом}$.

Сначала собираем схему, показанную на рис.2. На схеме размещаем два источника питания (по входу и по выходу П-контура). Оба имеют частоту 7 МГц и уровень сигнала +20дБмВт. Источник на входе П-контура имеет выходной импеданс 2000 Ом, а на выходе П-контура 50 Ом.



Рис. 2. Схема П-контура в программе Qucs

На схеме размещён компонент SP1, который отвечает за моделирование S-параметров. Установка параметров этого вида моделирования напоминает параметры для моделирования на переменном токе (AC-analysis). Параметры моделирования для нашего случая показаны на рис.3.

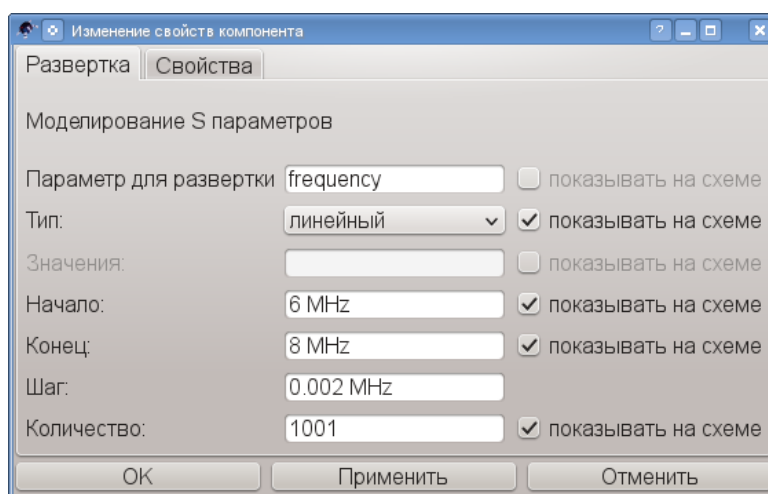


Рис. 3. Установки для моделирования S-параметров

Нам нужно рассчитать КСВ П-контура по входу. Для этого служит компонент Уравнение1 (см. рис.1). Чтобы рассчитать КСВ по коэффициенту отражения, служит функция `rtoswr()`. Коэффициент отражения по входу равен параметру S_{11} , поэтому в качестве параметра передаём функции $S[1,1]$.

Коэффициент передачи К схемы соответствует параметру S_{21} , выраженному в децибелах.

Запускаем моделирование нажатием на клавишу F2, переходим на страницу просмотра и строим графики зависимости S-параметров от частоты.

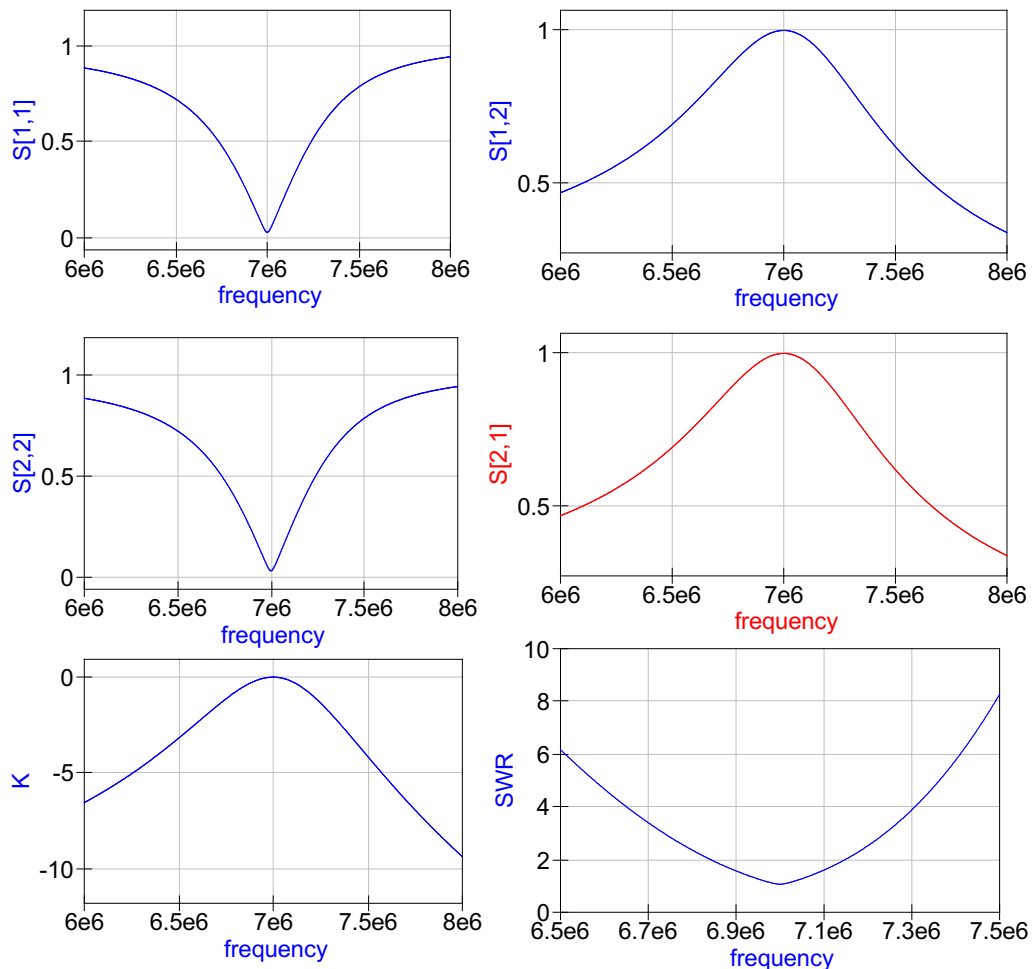


Рис. 4. Результаты моделирования П-контура

Из графиков видим, что на резонансной частоте П-контура (7 МГц) коэффициент отражения S_{11} минимален (приближается к нулю), а КСВ приближается к единице, то есть отражённая волна отсутствует и обеспечивается согласование передатчика с антенной. Коэффициент передачи $K = S_{21}$ на этой частоте максимален. Вся мощность от передатчика проходит в антенну.

Так как П-контур является пассивным четырёхполюсником, то $S_{11} = S_{21}$ и $S_{21} = S_{12}$.

Задание. Установить импеданс антенны равным 75 Ом и подбором ёмкости конденсаторов C1 и C2 обеспечить согласование (КСВ=1) на частоте 7 МГц. Учесть, что конденсатор C1 сдвигает резонансную частоту, а конденсатор C2 изменяет КСВ.

4 Расчёт S-параметров активного четырёхполюсника

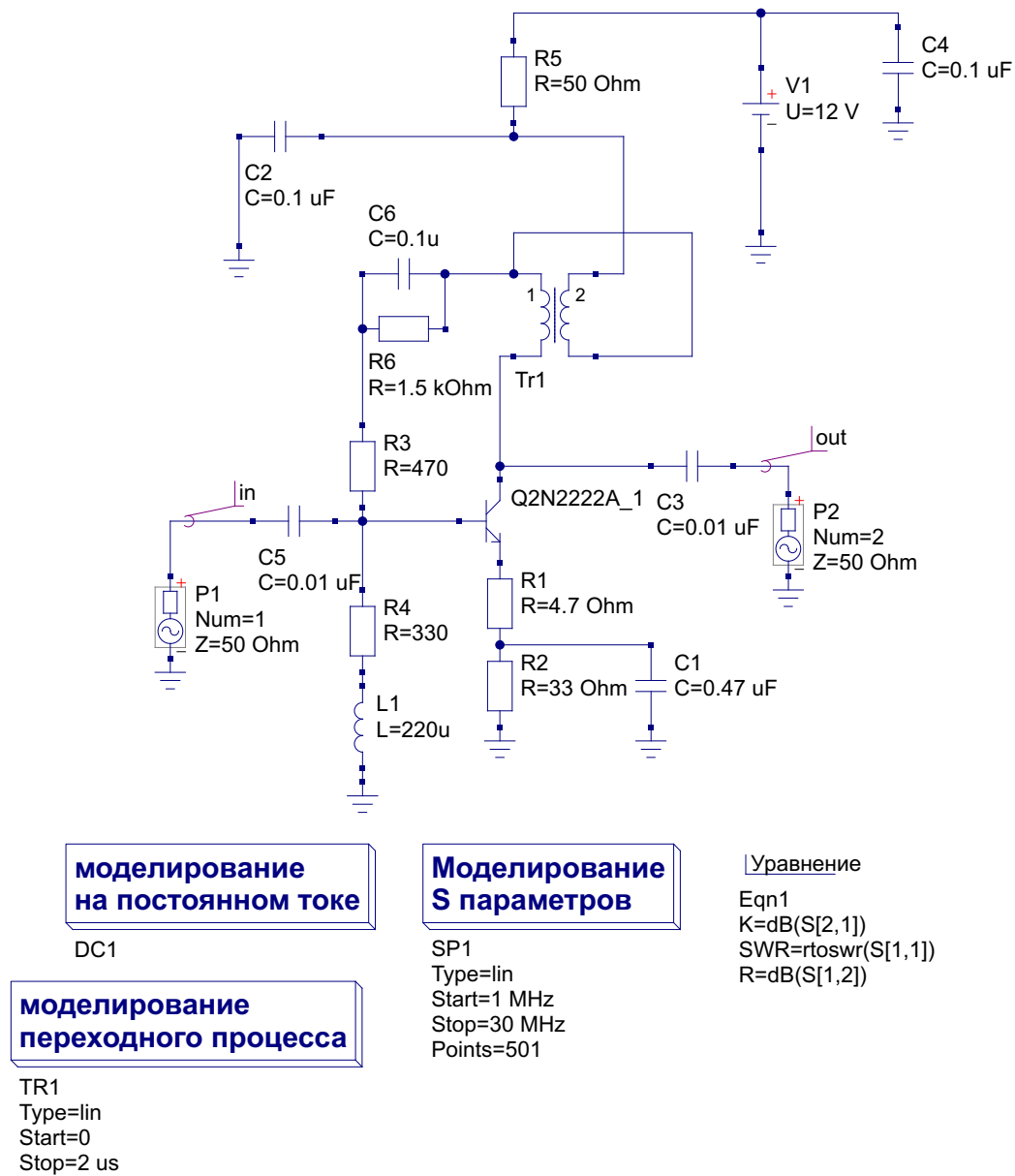


Рис. 5. Схема широкополосного усилителя ВЧ

5 Заключение

В результате выполнения лабораторной работы произведен анализ работы амплитудного детектора и балансного смесителя в программе Qucs. Произведён анализ условий балансировки диодного кольцевого смесителя.