

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

## Моделирование S-параметров

Кузнецов В.В., ассистент кафедры ЭИУ1-КФ

20 ноября 2013 г.

### 1 Цель работы

Цель данного 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  $\Gamma_1$  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  $\Gamma_2$  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  $\Gamma$ , 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).

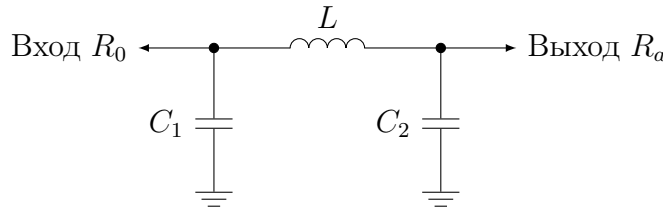


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная П-контура

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  $\rho$ :

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

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

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

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

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

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**

## **4 Расчёт S-параметров активного четырёхполюсника**

## **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.