

Лабораторная работа №9 по курсу «Радиотехнические устройства и системы»

Моделирование кварцевого резонатора

Кузнецов В.В., доцент кафедры ЭИУ1-КФ

10 февраля 2015 г.

1 Цель работы

Цель данного руководства — рассмотрение способов использования подсхем и моделирования с помощью них устройств функциональной электроники в 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 Применение подсхем для создания компонентов

Сложные компоненты с вычисляемыми параметрами могут быть использованы в Qucs в виде подсхем. Рассмотрим процедуру создания подсхем на примере кварцевого резонатора. Подсхема представляет собой эквивалентную схему замещения для более сложного электронного компонента.

2.1 Физические основы работы кварцевого резонатора

Кварц (диоксид кремния) — это один из самых распространенных минералов; в природе встречается в аморфном и кристаллическом видах.

В кристаллическом кварце атомы и молекулы расположены строго симметрично и под действием давления, вызывающего деформацию вдоль механической оси, появляется электрический заряд между поверхностями вдоль электрической оси. Наблюдается и обратное явление. Этот эффект называется пьезоэлектрическим эффектом.

Кварцевые пластины колеблются в такт с частотой приложенного напряжения. Амплитуда колебаний резко возрастает, если приложенная частота соответствует собственному механическому резонансу пластины. Физические свойства пластины существенно зависят

как ориентируются ее срезы относительно осей кристалла. Частота механического резонанса кварцевой пластины определяется ее размерами и типом среза.

Пластины обычно крепятся в кварцевых держателях, к которым относятся элементы крепления кварца и другие конструктивные элементы. Обычно под названием «кварцевый резонатор» подразумевают узел держателя и кварцевой пластины. Пластина с держателем помещается в герметичный стеклянный или металлический баллон.

2.2 Эквивалентная схема кварцевого резонатора

Упрощённая эквивалентная схема кварцевой пластины показана на рис.1. Как известно, эта схема представляет собой последовательно-параллельный колебательный контур. Индуктивность $L_{\text{кв}}$, ёмкость $C_{\text{кв}}$ и сопротивление $r_{\text{кв}}$ называются эквивалентными электрическими параметрами кварца. Ёмкость C_0 включает в себя внутреннюю эффективную ёмкость самой пластины и внешнюю шунтирующую ёмкость кварцедержателя. Типовые величины этих величин для кварца среза АТ на частоте 3МГц равны $L_{\text{кв}} = 28\text{мГн}$, $C_{\text{кв}} = 0.1\text{пФ}$, $r_{\text{кв}} = 10.5\text{Ом}$, $C_0 = 100\text{пФ}$. Добротность Q в приведенном случае примерно 50000. Такие величины добротности в обыкновенных колебательных контурах с сосредоточенными параметрами получить невозможно. Высокая добротность способствует высокой стабильности резонансной частоты кварца. Характер зависимости реактивного сопротивления эквивалентной схемы кварцевого резонатора от частоты показан на рис.2. Здесь f_s — частота последовательного резонанса, при которой $x_{C_{\text{кв}}} = x_{L_{\text{кв}}}$, f_p — частота параллельного резонанса, при которой реактивное сопротивление ёмкости C_0 равно реактивному сопротивлению ветви $L_{\text{кв}}C_{\text{кв}}$. Сплошной линией показана зависимость от частоты реактивного сопротивления кварца с учетом внешней ёмкости, а пунктиром — зависимость от частоты реактивных сопротивлений отдельных ветвей.

Чем больше величина C_0 , тем меньше величина x_{C_0} на заданной частоте и пунктирная кривая для x_{C_0} пройдет выше. Следовательно частота f_1 понизится. Наинизшая частота на которой кварц возбуждается, соответствует частоте последовательного резонанса.

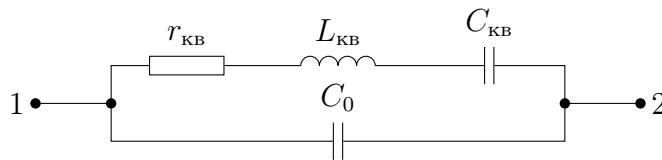


Рис. 1. Эквивалентная схема кварцевого резонатора

Полное сопротивление Z кварца на некоторой частоте ω определяется из выражения:

$$Z_q = \frac{j}{\omega} \frac{\omega^2 L_{\text{кв}} C_{\text{кв}} - 1}{C_0 + C_{\text{кв}} - \omega^2 L_{\text{кв}} C_{\text{кв}} C_0} \quad (1)$$

Выражение (1) позволяет определить частоты последовательного и параллельного резонансов:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{кв}} C_{\text{кв}}}} \quad (2)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{кв}} C_{\text{кв}}}} \sqrt{1 + \frac{C_{\text{кв}}}{C_0}} \quad (3)$$

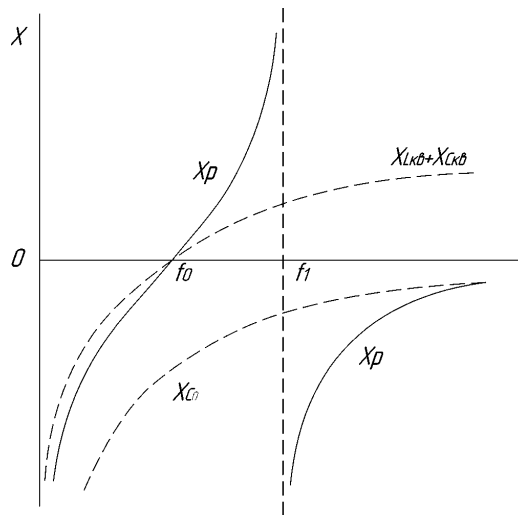


Рис. 2. Зависимость реактивного сопротивления кварцевого резонатора от частоты

2.3 Создание эквивалентной схемы в программе Qucs

Сначала создаётся эквивалентная схема компонента в виде файла sch (см. рис.3). Данная схема особенностей не имеет. Для автоматического расчёта последовательной ёмкости кварцевого резонатора C_q на основании его частоты резонанса f и индуктивности L_q по формуле (2) служит компонент Уравнение. Для связи подсхемы с внешними цепями используется компонент «Порт подсхемы» (P1 и P2 на рис.3).

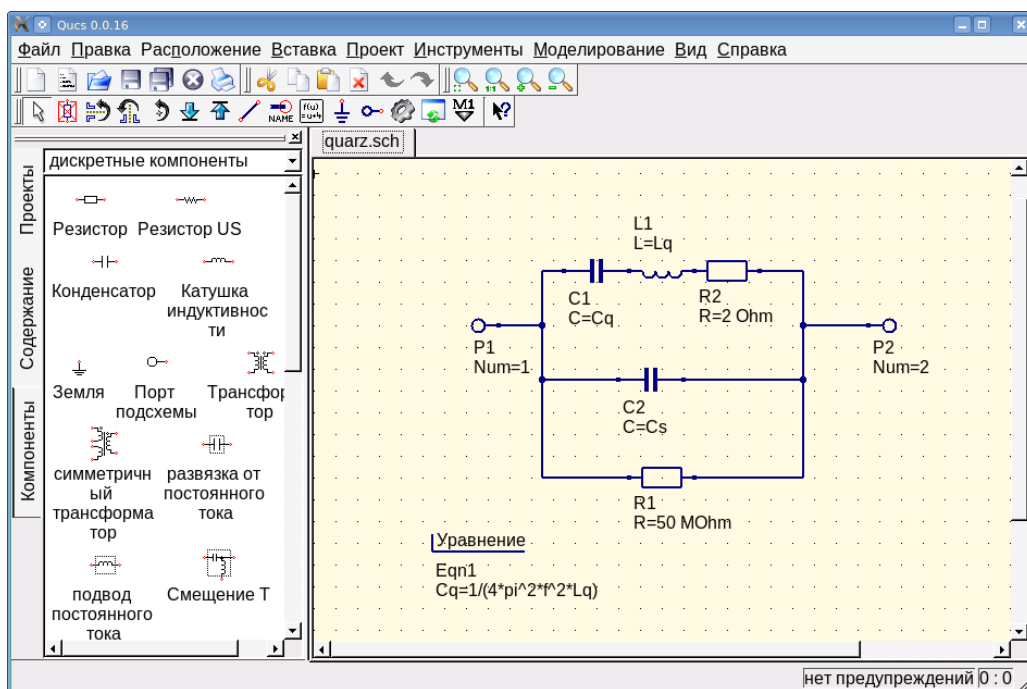


Рис. 3. Эквивалентная схема кварцевого резонатора в программе Qucs.

Нажав клавишу F9, в программе Qucs можно перейти к редактированию символа компонента (см. скриншот на рис.4). Порты уже имеются в подсхеме. УГО подсхемы можно создать при помощи инструментов рисования, расположенных в группе Обратный переход к редактированию схемы снова происходит по нажатию F9. Номера портов подсхемы у символа и схемы совпадают.

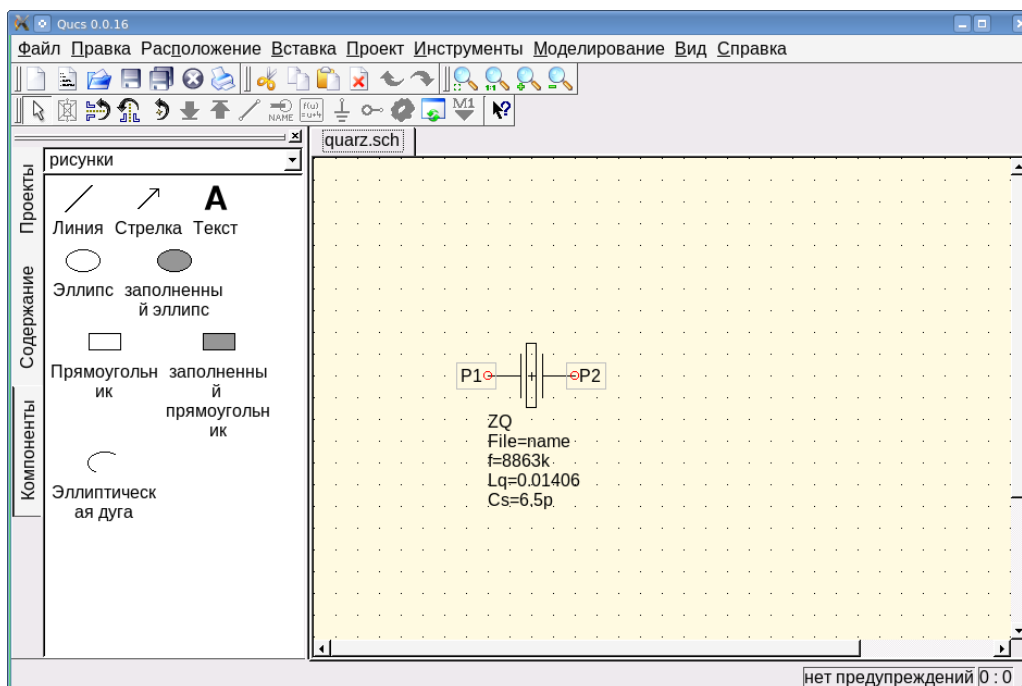


Рис. 4. Символ условного графического обозначения кварцевого резонатора в программе Qucs.

Затем нужно дважды щёлкнуть мышью по обозначению элемента и отредактировать список свойств (рис.5).

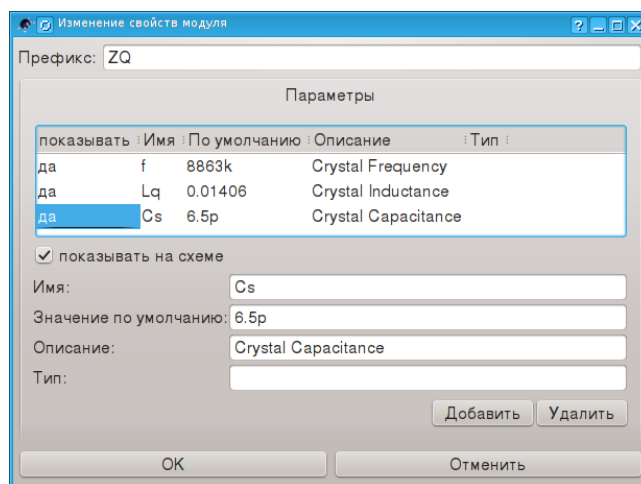


Рис. 5. Диалог задания свойств подсхемы.

Чтобы использовать полученную подсхему в другой схеме, нужно использовать специальный компонент «Подсхема». Он находится в группе «Файловые компоненты». В свойствах файлового компонента нужно указать имя файла, в который сохранена подсхема.

3 Задание для самостоятельной работы

В качестве задания следует промоделировать АЧХ кварцевого резонатора. Для этого собираем следующую схему (рис.6). Требуется промоделировать АЧХ и за-

зависимость импеданса кварцевого резонатора от частоты. Для моделирования АЧХ нужно использовать моделирование на переменном токе. Для моделирования импеданса кварцевой пластины нужно использовать моделирование S-параметров. Функция `stoz()` пересчитывает S-параметры в Z-параметры. Параметр Z_{11} соответствует эквивалентному сопротивлению кварца.

Параметры эквивалентной схемы кварцевого резонатора следующие: частота последовательного резонанса $f_s = 8,863$ МГц, эквивалентная индуктивность $L_q = 14.06$ мГн, параллельная ёмкость — $C_s = 6.5$ пФ

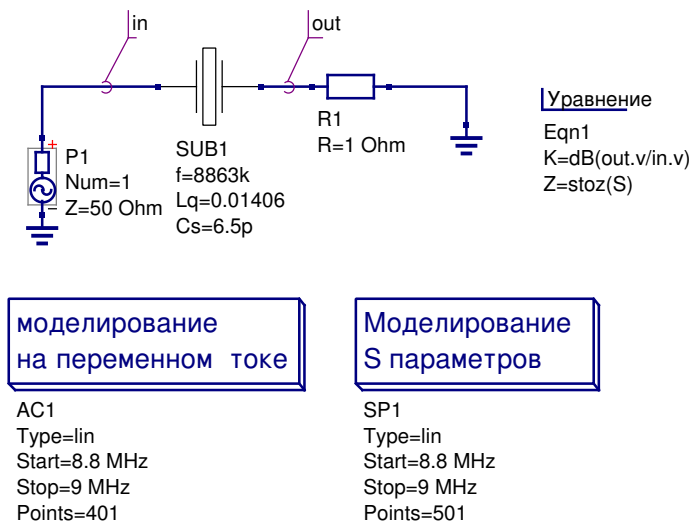


Рис. 6. Моделирование кварцевого резонатора в Qucs

В результате моделирования получаем АЧХ (рис.7), на которой видим пик (последовательный резонанс) и провал (параллельный резонанс). На рис.8 показана зависимость эквивалентного сопротивления

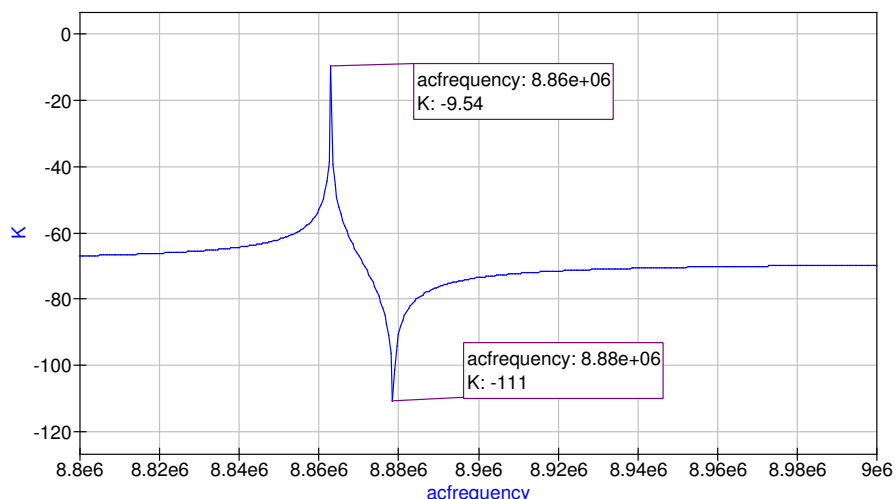


Рис. 7. АЧХ кварцевого резонатора в Qucs

В отчёте привести данные два графика. Указать единицы измерения, выполнить подписи по осям на русском языке.

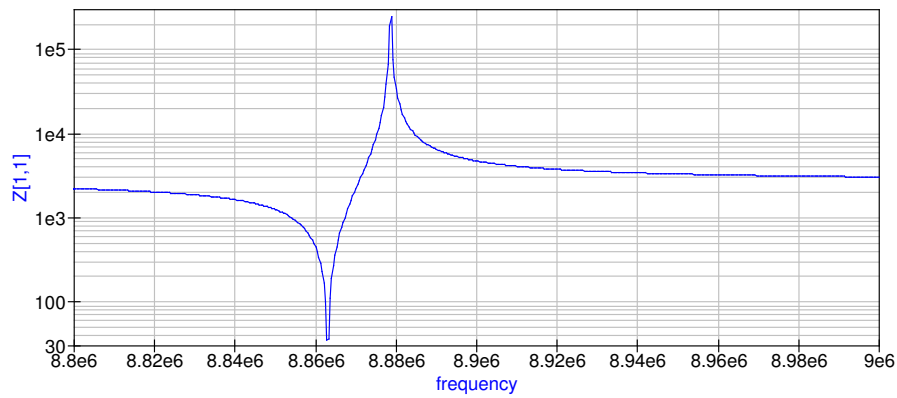


Рис. 8. Зависимость комплексного сопротивления кварцевого резонатора от частоты

На защите пояснить почему на графике для коэффициента передачи наблюдается пик, а на графике для сопротивления — провал на той же частоте и наоборот. Почему частота параллельного резонанса выше, чем частота последовательного резонанса?

4 Заключение

В результате лабораторной работы студенты ознакомились с принципом использования подсхем в Qucs. Произведено моделирование в частотной области устройства функциональной электроники — кварцевого резонатора.