

Моделирование кристалла кварца

Аннотация: В этом примечании приложения описывается метод моделирования а кристалл, с емкостью нагрузки.

Конструкторы генератора часов (gen CLK) могут использовать кристаллическую модель легко определите емкость нагрузки для требуемой частоты. Цепь и конструктор системы может использовать модель для того чтобы симитировать поведение кварцевый генератор.

Чтобы смоделировать Кристалл, мы используем простую схему для измерения частоты колебаний при различной нагрузочной емкости. Затем мы используйте модель кристаллической цепи для того чтобы интерполировать измеренные данные к определите параметры в модели схемы.

Введение

Кристаллы кварца широко были использованы в генераторах часов и синтезаторы для генерации точных опорных частот. Самый рентабельные кристаллы на рынке имеют диапазон изменения частот 30kHz к 30MHz, с точностью 50-100 ppm в диапазоне температур 0°C к 70°C.

Чтобы правильно использовать или проектировать кварцевый генератор, важно знать поведение кристалла при его нагруженном состоянии. В этой заметке приложения мы представим метод моделирования кристалла с нагрузочной емкостью и покажем приложения модели.

Установка Испытания

Тестовая настройка показана на **рисунке 1**.

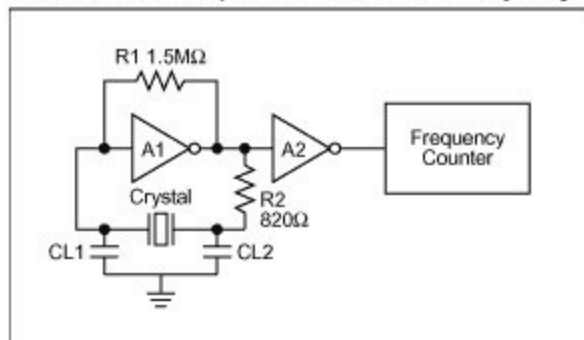


Рисунок 1. Тестовая настройка.

В установке, A1 и A2 инверторы; CL1 и CL2 конденсаторы нагрузки. Во время теста, $CL1 = CL2$ и значение меняют от 5pF к 59pF с напряжением питания $VCC = 3.1\text{ V}$ инвертора и $VCC = 2.3\text{ V}$. Кристалл в тесте имеет номинальную частоту 27MHz на емкости нагрузки 14pF. Следует отметить, что фактическая емкость нагрузки на кристалл равна $CL1 // CL2$ плюс паразитная емкость платы и клемм инверторов.

номинальную частоту 27 MHz на емкости нагрузки 14 pF. Следует отметить, что фактическая емкость нагрузки на кристалл равна CL1 // CL2 плюс паразитная емкость платы и клемм инверторов.

результаты тестов

В таблицах 1 и 2 представлены два набора измерений для V_{CC}=3.1 V и 2.3 V соответственно.

Таблица 1. Частоты генератора с конденсаторами переменной нагрузки при V_{CC}=3.1 V

CL1, CL2 (pf)	5	8	12	15	18	20	22
F _{out} (МГц)	27.01411	27.00832	27.00583	27.00395	27.00188	27.00130	27.00037
ΔF _{out} (ppm)	523	308	216	146	70	48	14
CL1, CL2 (pf)	24	27	33	39	45	50	59
F _{out} (МГц)	26.99954	26.99856	26.99687	26.99592	26.99480	26.99424	26.99340
ΔF _{out} (ppm)	-17	-53	-116	-151	-193	-213	-244

Таблица 2. Частоты генератора с конденсаторами переменной нагрузки при V_{CC}=2.3 V

CL1, CL2 (pf)	5	8	12	15	18	20	22
F _{out} (МГц)	27.01319	27.00780	27.00542	27.00360	27.00160	27.00106	27.00016
ΔF _{out} (ppm)	489	288	200	133	59	39	6
CL1, CL2 (pf)	24	27	33	39	45	50	59
F _{out} (МГц)	26.99935	26.99837	26.99675	26.99579	26.99468	26.99415	26.99329
ΔF _{out} (ppm)	-24	-60	-121	-156	-197	-217	-249

Два набора измеренных данных также показаны на **рисунке 2**

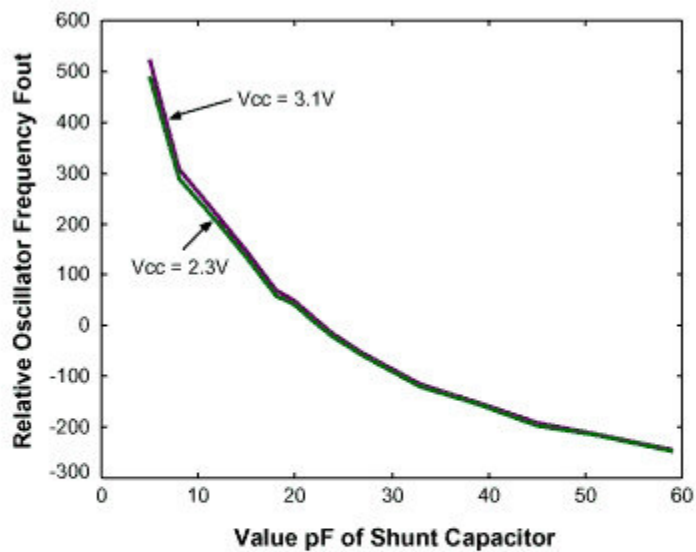


Рисунок 2. Изменение частоты кристалла (ppm) против значения шунтирующего конденсатора.

Из данных измерений мы имеем следующие наблюдения:

1) конденсаторы нагрузки могут изменить частоту колебания кристалла значительно. Результат показывает что полный кристаллический ряд изменения может достигнуть как высоко как 750ppm для кристалла под тестом.

2) изменение частоты также зависит от V_{cc} . Более низкое напряжение питания снижает частоту. Это может быть связано с изменениями входной и выходной емкости инвертора, вызванными изменением напряжения питания. Резистор R2 на фиг.1 влияет на уменьшение такой зависимости напряжения. Но значение резистора не может быть слишком большим; в противном случае это затруднит запуск генератора.

3) основанный на данных, кристаллическая частота очень более чувствительна к малой емкости нагрузки. Это означает, что при применении кварцевого генератора следует использовать кристалл, для номинальной частоты которого требуется относительно большая емкость нагрузки.

4) резистор R1 на фиг. 1 помогает генератору начать. Также характеры инвертора влияют на производительность генератора. Следует использовать высокоскоростные инверторы. Если скорость инвертора недостаточно высока, колебания могут не начаться.

Моделирование кристалла кварца

В дизайне генератора или VCXO, кристаллическая модель необходима. Общепринятая модель кристаллического резонатора [1-2] изображена на **рисунке 3**.

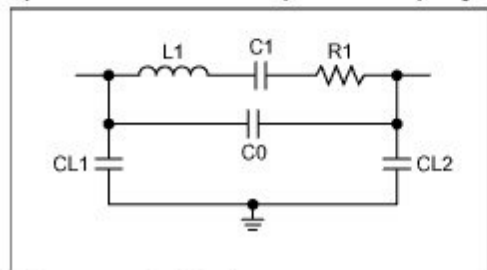


Рисунок 3. Модель кристалла.

Далее мы будем использовать данные измерений, приведенные в таблицах 1 и 2, для определения значений компонентов на рис.3. Согласно [1], в большинстве применений кварцевого генератора частота колебаний является параллельной частотой резонатора на рис.3. Определите $CL = CL1 \parallel CL2$ и FP как частоту колебаний, мы можем иметь уравнение импеданса, записанное как

$$j2\pi f_p L_1 + \frac{1}{j2\pi f_p C_1} = -\frac{1}{j2\pi f_p (C_0 + C_L)} \quad (1)$$

Решить уравнение для выхода $F P$,

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_1}} \sqrt{1 + \frac{C_1}{C_0 + C_L}} \quad (2)$$

Определять

$$f_s = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_1}} \quad (3)$$

Затем мы можем переписать эквалайзер. (2) в векторной форме

$$f_p^2 = \left[1 \quad \frac{1}{C_0 + C_L} \right] \begin{bmatrix} f_s^2 \\ f_s^2 C_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

С Эквалайзером. (4) мы можем выполнить оценку наименьшего квадрата непосредственно для оценки f_s , C_1 , L_1 и C_0 . Следует отметить, что значение R_1 обычно задается таблицей данных кристалла. Для Кристалла, используемого в нашем тесте, $R_1 = 40\Omega$. Чтобы оценить C_0 , при заданном напряжении питания измените значение C_0 , чтобы получить наилучшее наименьшее квадратное соответствие измеренным наборам данных, предполагая, что влияние V_{cc} только на значение C_0 . Оценочные значения компонента модели на рис. 3 приведены ниже

$$f_p = 26.9873\text{MHz}, \quad C_1 = 15.93\text{fF}, \quad L_1 = 2.184\text{mH}, \\ C_0 = 5.7\text{pF} @ V_{cc} = 3.1\text{V}, \quad \text{and} \quad C_0 = 5.96\text{pF} @ V_{cc} = 2.3\text{V}$$

На **рисунке 4** показана кривая выходной частоты, рассчитанная эквалайзером. (2) с оцененными значениями компонентов стих измеренных частот. Корень среднего квадрата (RMS) интерполяции равен 14ppm для случая $V_{cc} = 3.1\text{ V}$ и 13ppm для $V_{cc} = 2.3\text{ V}$.

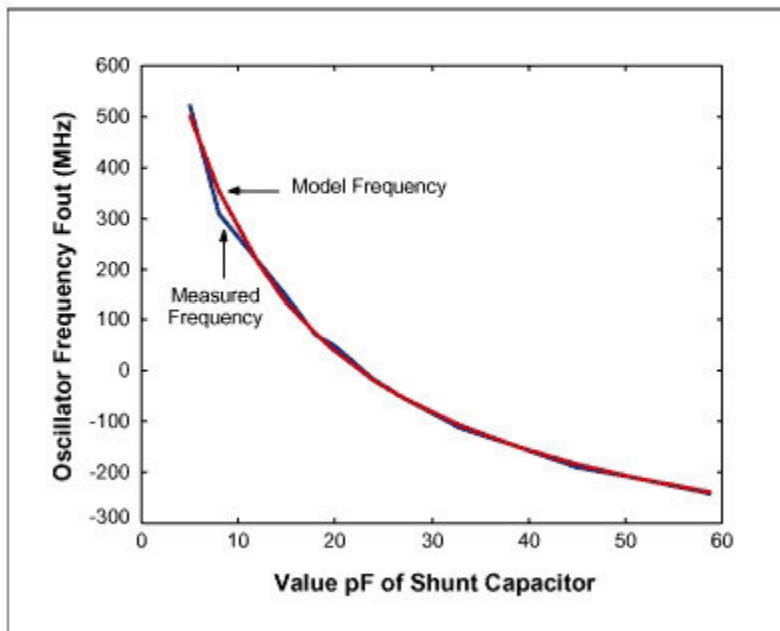


Рисунок 4а. Наименьший квадрат подходит для набора данных 1 ($V_{cc}=3.1\text{ V}$) с $c=5.7\text{ pF}$.

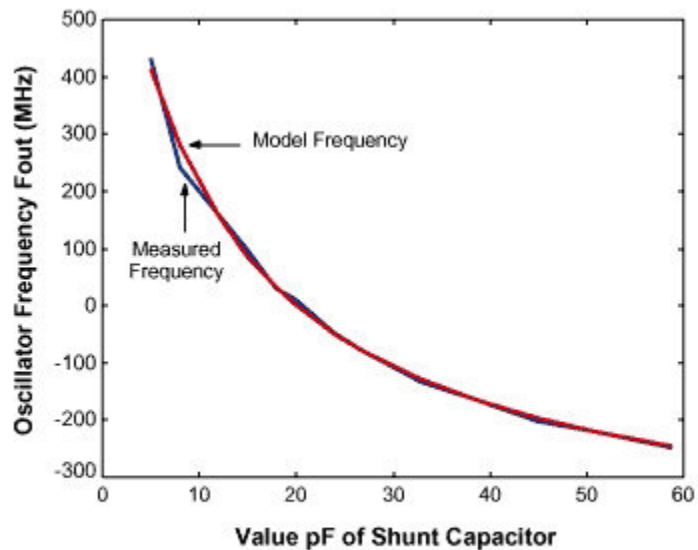


Рисунок 4б. Наименьший квадрат подходит для набора данных 2 ($V_{CC}=2.3$ V) с $C_0=5.96$ пФ.

Краткие сведения

В этом примечании к приложению мы показали тестовую установку для измерения частота колебаний кристалла кварца и способ оценить параметры модели резонатора кристалла. Реальные измерения показывают как частота колебания меняется с нагрузкой емкости.

Мы ввели численный подход, основанный на измеренных данных, чтобы оценить параметры модели цепи резонатора кристалла. Как модель, показанная на Рис. 4, близко соответствует измеренным данным с корнем среднеквадратичной ошибки (RMS) 13-14ppm. Конструкторы генератора часов могут использовать модель для определения значений шунтирующего конденсатора для требуемого частота. Инженеры по системному проектированию и расчетам цепи могут использовать модель для моделирование поведения системы.