

Моделирование пьезоэлектрических элементов в симуляторе LTspice

На данный момент разработаны две корректные методики настройки сосредоточенной модели пьезоэлектрического элемента (далее просто элемент или резонатор), основанные на данных производителя.

Первая методика использует данные о величине резонансного промежутка (полосы пропускания), а вторая использует данные о механической добротности Q_m резонатора.

Используем данные на элементы ANN-1617N (Табл.1), производимый компанией **Annon Piezo Technology** (<http://www.annon-piezo.com/index.htm>). Этот элемент используется для распыления жидкости и способен генерировать в час 250мл тумана.

Таблица 1. Данные на элемент ANN-1617N

Название	Размеры, мм	Частота	Ёмкость, пФ	Сопротивление, Ом	Выход тумана, мл/час	Срок службы, часов
ANN-1617N	Ф16 x 1,25	1,7 МГц±50кГц	1200±20%	≤1,5	250	5000

На рис.1 изображена эквивалентная схема пьезоэлектрического элемента [1].

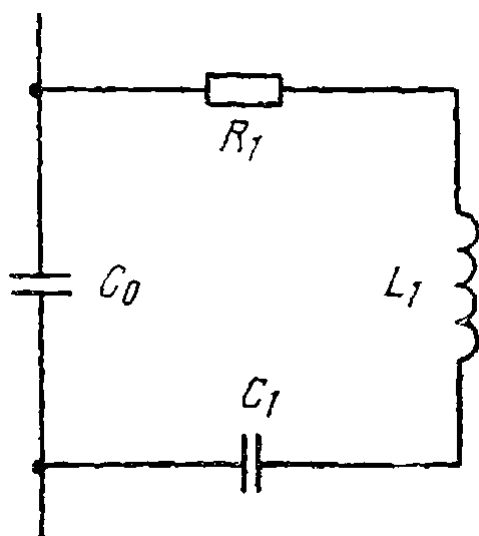


Рис.1. Эквивалентная схема пьезоэлектрического элемента:
 C_1 , L_1 , R_1 – динамические электрические параметры (ёмкость, индуктивность и сопротивление);
 C_0 – параллельная ёмкость.

Используемая в симуляторе LTspice встроенная модель конденсатора имеет похожую структуру (рис.2).

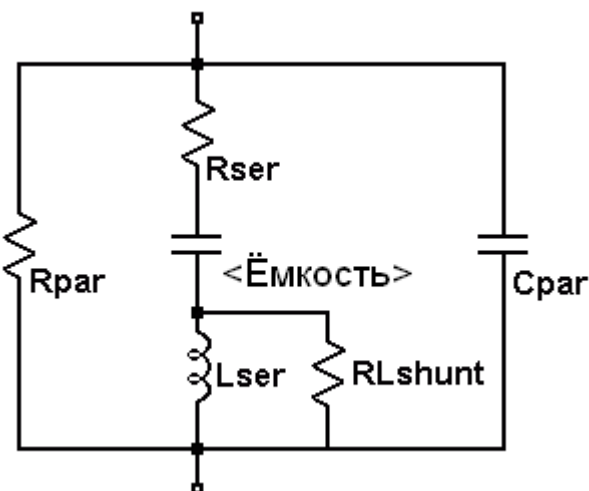


Рис.2. Эквивалентная схема модели конденсатора.

Параметры модели перечислены в табл.2.

Таблица 2. Параметры конденсатора

Имя	Поле в меню настройки	Ед. измерения	Описание
Ёмкость	Capacitance	Ф	Ёмкость конденсатора
RSER	Equiv. Series Resistance	Ом	Эквивалентное последовательное сопротивление.
LSER	Equiv. Series Inductance	Гн	Эквивалентная последовательная индуктивность.
RPAR	Equiv. Parallel Resistance	Ом	Эквивалентное параллельное сопротивление.
CPAR	Equiv. Parallel Capacitance	Ф	Эквивалентная параллельная ёмкость.
RLSHUNT	-	Ом	Сопротивление шунтирующее Lser.

Используем модель конденсатора для создания сосредоточенной модели пьезоэлектрического элемента.

Первая методика:

Согласно данным производителя, эквивалентная параллельная ёмкость (Equiv. Parallel Capacitance) равна $C_{par}=1200pF$.

Динамические параметры элемента можно определить, исходя из информации по средней частоте резонатора $f_0=1,7МГц$ и по его полосе пропускания Δf . Полоса пропускания достаточно просто определяется экспериментально. Допустим $\Delta f=100кГц$. Считаем, что полоса частот определяется разницей между частотой резонанса f_p и частотой антирезонанса f_a , которые можно найти по формуле:

$$f_p = f_0 - 0,5 \cdot \Delta f = 1700000 - 0,5 \cdot 100000 = 1650000 \text{ Гц} = 1,65МГц$$

$$f_a = f_0 + 0,5 \cdot \Delta f = 1700000 + 0,5 \cdot 100000 = 1750000 \text{ Гц} = 1,75МГц$$

Зная частоты резонанса, полосу пропускания и величину параллельной ёмкости, можно найти величину динамической ёмкости:

$$C1 = \frac{2 \cdot C_o \cdot (f_a - f_p)}{f_a} = \frac{2 \cdot 1200 \cdot 10^{-12} \cdot (1,75 \cdot 10^6 - 1,65 \cdot 10^6)}{1,75 \cdot 10^6} = 137 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 137пФ$$

Теперь определим динамическую индуктивность:

$$L1 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_p)^2 \cdot C1} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 1,65 \cdot 10^6)^2 \cdot 137 \cdot 10^{-12}} = 67,9 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} = 67,9 \text{ мкГн}$$

Динамическое сопротивление $R1=1,5 \text{ Ом}$

Вторая методика:

Эта методика использует информацию о механической добротности Q_m кристалла резонатора. Согласно данным производителя, для распылителей жидкости используется пьезоэлектрический кристалл типа Р-81. Этот кристалл имеет добротность $Q_m=800$. Зная динамическое сопротивление кристалла $R1=1,5 \text{ Ом}$, частоту резонанса и добротность, определим динамическую ёмкость:

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot Q_m \cdot R1} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,7 \cdot 10^6 \cdot 800 \cdot 1,5} = 78 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 78пФ$$

Теперь примерно определим полосу частот пропускания для нашего кристалла:

$$\Delta f = \frac{C1}{C_o} \cdot \frac{f_0}{2} = \frac{78}{1200} \cdot \frac{1,7 \cdot 10^6}{2} = 55250 \text{ Гц}$$

Определим частоту резонанса f_p :

$$f_p = f_0 - 0,5 \cdot \Delta f = 1700000 - 0,5 \cdot 55250 = 1670000 \text{ Гц} = 1,67МГц$$

Зная частоты резонанса, полосу пропускания и величину динамической ёмкости, можно определить динамическую индуктивность:

$$L1 = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_p)^2 \cdot C1} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 1,67 \cdot 10^6)^2 \cdot 78 \cdot 10^{-12}} = 116 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} = 116 \text{ мкГн}$$

На рис.3 изображена частотная зависимость тока элемента, модель которого настроена по второй методике.

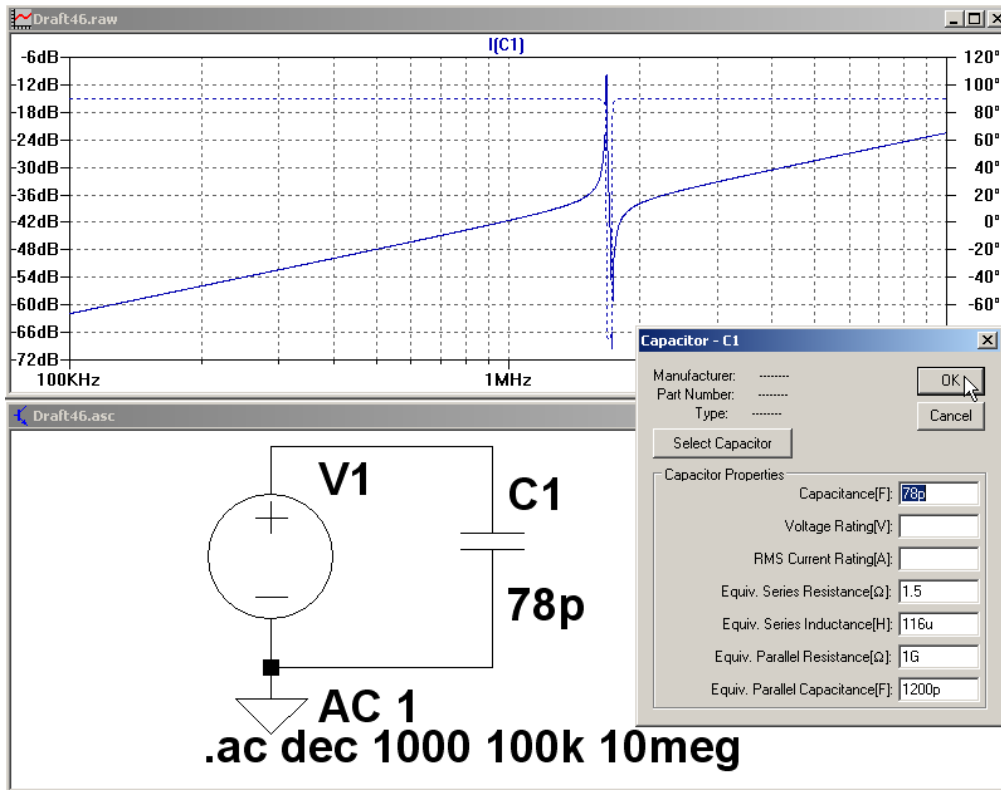


Рис.3. Проверка модели пьезоэлектрического элемента.

Литература:

1. Пьезоэлектрические резонаторы. Справочник. Под редакцией П.Е. Кандыбы и П.Г. Позднякова. Москва: Радио и связь, 1992 год, стр.25.