

Семинар №2 по курсу «Электромагнитная совместимость РЭС».

Помехоподавляющие элементы.

к.т.н., доцент кафедры ЭИУ1-КФ Кузнецов В.В.

22 августа 2014 г.

1 Введение

Целью семинара является изучение свойств типичных помехоподавляющих элементов (керамический конденсатор и двухобмоточный дроссель с ферритовым тороидальным сердечником) и ограничений в их применении.

2 Помехоподавляющие элементы

2.1 Типы помехоподавляющих элементов

2.2 Керамические конденсаторы

2.2.1 Эквивалентная схема керамического конденсатора

Полное комплексное сопротивление (импеданс) X_C идеального конденсатора с ёмкостью C является чисто реактивным и определяется только его ёмкостью и обратно пропорционально частоте f :

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (1)$$

Где ω — круговая частота:

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

Реальный конденсатор также имеет паразитную индуктивность L_d и эквивалентное последовательное активное сопротивление потерь (ESR) R_s . Поэтому реальный конденсатор имеет резонансную частоту и представляется в виде последовательного колебательного контура с потерями (рис.1).

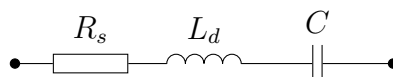


Рис. 1. Схема замещения керамического конденсатора.

Импеданс керамического конденсатора определяется по формуле:

$$Z = R_s + j\omega L_d + \frac{1}{j\omega C} = R_s + \frac{1 - \omega^2 L_d C}{j\omega C} \quad (3)$$

На резонансной частоте ω (круговая частота):

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_d C}} \quad (4)$$

модуль полного сопротивления конденсатора достигает минимума (который равен ESR) и сопротивление конденсатора становится чисто активным. Ниже резонансной частоты сопротивление конденсатора является емкостным, а выше — индуктивным. То есть выше резонансной частоты конденсатор теряет свои свойства и ведёт себя как индуктивность.

Частота резонанса f (Гц) определяется выражением:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

Зависимость импеданса конденсатора от частоты приводится производителем в даташите на конденсатор. В качестве примера на рис. 2 показана типовая частотная характеристика керамических чип-конденсаторов ёмкостью 0,1 мкФ с диэлектриком типа X7S, которые часто применяются в качестве блокировочных конденсаторов в цепях питания цифровых микросхем и в составе фильтров подавления помех.

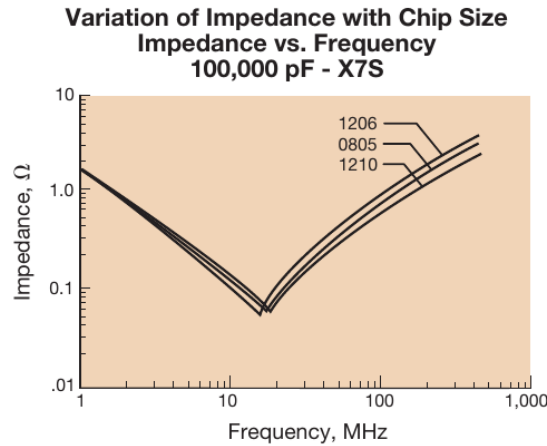


Рис. 2. Зависимость импеданса керамического конденсатора (X7S, 0.1 мкФ) от частоты.

Видно, что конденсатор имеет резонанс на частоте 20 МГц, выше которой конденсатор ведёт себя как индуктивность. Выше резонансной частоты конденсатор применять нельзя, т.к. он теряет свои свойства. Импеданс конденсатора в минимуме равен активному сопротивлению потерь (ESR).

2.2.2 Параллельное включение конденсаторов

Блокировочные керамические конденсаторы обычно устанавливаются из расчёта один конденсатор на один корпус микросхемы. Пусть в схеме установлено n одинаковых конденсаторов, каждый из которых имеет импеданс Z_1 рассчитаем импеданс Z_n для n конденсаторов, включённых параллельно. Согласно закону Ома импеданс n параллельно включённых конденсаторов будет равен:

$$Z_n = \frac{Z_1}{n} = \frac{R_s}{n} + \frac{j\omega L_d}{n} + \frac{1}{nj\omega C} = \frac{1}{n} \left(R_s + \frac{1 - \omega^2 L_d C}{j\omega C} \right) \quad (6)$$

Из выражения видно, что резонансная частота для n одинаковых конденсаторов, включённых параллельно не изменяется. И все выводы для одного конденсатора справедливы и для параллельно включенных конденсаторов.

2.2.3 Моделирование керамического конденсатора

Эквивалентная схема керамического конденсатора может быть промоделирована в Qucs. Для вычисления матрицы импедансов (Z-параметров) в Qucs имеется встроенная функция `stoz()`, параметром которой является матрица S-параметров. Поэтому, чтобы промоделировать импеданс конденсатора, нужно выполнить моделирование S-параметров. Конденсатор является двухполюсником, и его матрица S-параметров содержит только один элемент (является числом). Преобразовав матрицу S-параметров в матрицу Z - параметров мы узнаем импеданс конденсатора. Схема конденсатора в Qucs и параметры моделирования показаны на рис. 3.

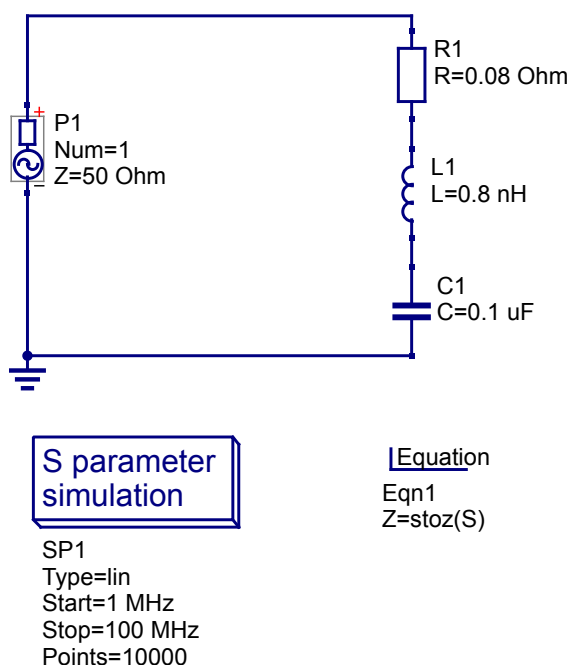


Рис. 3. Моделирование конденсатора в программе Qucs.

Ёмкость C1 равна номинальной ёмкости конденсатора. Сопротивление R1 равно ESR. Индуктивность получена из условия резонанса по известной резонансной частоте f :

$$L_d = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} \quad (7)$$

На схеме для вычисления импеданса служит компонент Уравнение (Equation). Мы получим матрицу Z-параметров, единственным элементом $Z[1, 1]$ которой будет импеданс конденсатора.

Результаты моделирования эквивалентной схемы конденсатора показаны на рис.4. По осям выбран логарифмический масштаб.

Из рис.4 видно, что смоделированный импеданс конденсатора идентичен экспериментально полученному (2).

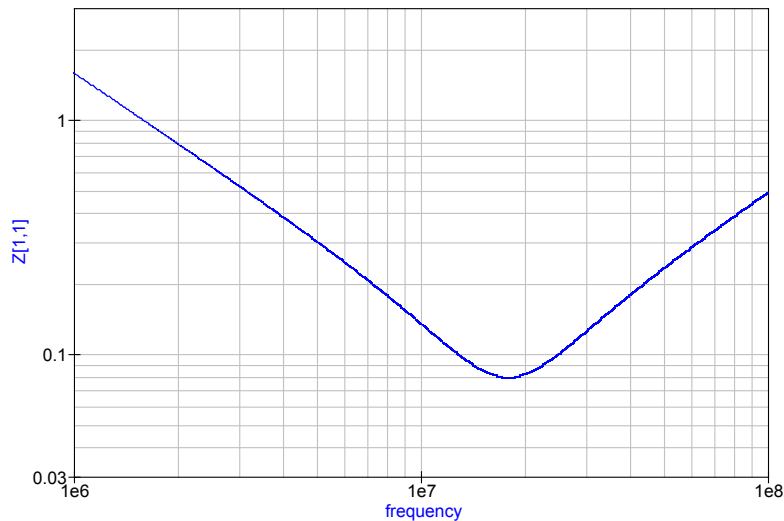


Рис. 4. Зависимость импеданса конденсатора от частоты, полученная в результате моделирования.

2.2.4 Задание для самостоятельной работы

Используя схему на рис.3 подбором её параметров (R,C,L) смоделировать зависимость импеданса от частоты для конденсатора ёмкостью 1 мкФ с диэлектриком Y5V типоразмера 1206. Зависимость импеданса конденсатора от частоты, заимствованная из даташита показана на рис. 5. В отчёте привести схему и график зависимости импеданса от частоты.

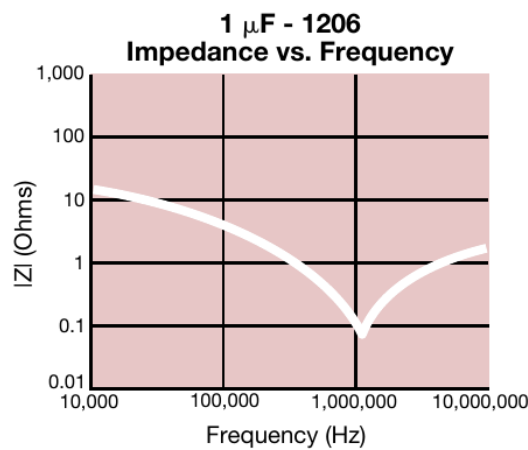


Рис. 5. Зависимость импеданса керамического конденсатора (Y5V, 1 мкФ) от частоты.

Построить эквивалентную схему для 4 конденсаторов, включенных параллельно. Привести схему и графики в отчёте.

2.3 Помехоподавляющие дроссели

2.3.1 Эквивалентная схема помехоподавляющего дросселя

В составе фильтров радиопомех, включаемых в цепи питания радиоэлектронных устройств частот используются двухобмоточные дроссели с ферритовым тороидальным сердечником. Внешний вид такого дросселя показан на рис.6.



Рис. 6. Двухобмоточный помехоподавляющий дроссель Ерсос.

Идеальный дроссель имеет чисто реактивный (индуктивный) импеданс X_L , который вычисляется по формуле:

$$X_L = j\omega L \quad (8)$$

Реальный дроссель имеет паразитную межвитковую ёмкость C_p и активное сопротивление потерь R_d которое складывается из потерь в активном сопротивлении проводов катушки, за счёт скин-эффекта и потерь на перемагничивание сердечника (обычно феррита). Сопротивление потерь сердечника является частотно зависимым. Реальный дроссель можно представить в виде параллельного колебательного контура с потерями, образуемого индуктивностью катушки и паразитной межвитковой ёмкостью. Эквивалентная схема дросселя с паразитной ёмкостью и сопротивлением потерь показана на рис.7.

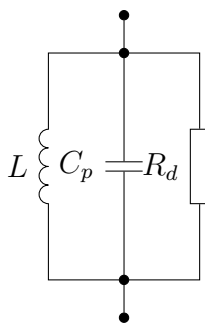


Рис. 7. Эквивалентная схема дросселя с потерями

Импеданс такого дросселя определяется как импеданс параллельно включённого резистора R_d , конденсатора X_{Cp} и индуктивности X_L :

$$Z = R_d \parallel X_{Cp} \parallel X_L = \frac{j\omega R_d L}{j\omega L + R_d(1 - \omega^2 L C_p)} \quad (9)$$

Схема имеет резонанс на частоте ω (круговая частота):

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L C_p}} \quad (10)$$

Частота резонанса f вычисляется следующим образом:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_p}} \quad (11)$$

На частоте резонанса импеданс схемы максимален и равен сопротивлению R_d .

Обычно применяются двухобмоточные помехоподавляющие дроссели с тороидальным ферритовым сердечником, которые включаются в цепях питания аппаратуры.

Зависимость импеданса от частоты приводится изготовителем в даташите. Типичная зависимость импеданса дросселя от частоты для помехоподавляющего двухобмоточного дросселя Ерсос B82721A2122N020 (6,8 мГн, внешний вид — рис.6) показана на рис.8 (для двух катушек, включённых параллельно).

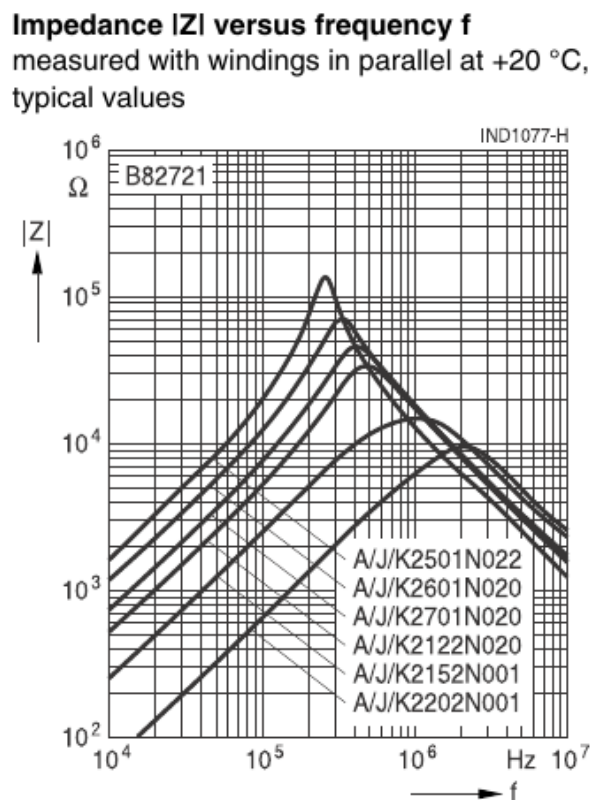


Рис. 8. Зависимость импеданса двухобмоточного помехоподавляющего дросселя Ерсос от частоты.

Из графика видно, что дроссель имеет резонанс на частоте 600 кГц. Выше резонансной частоты дроссель ведёт себя как ёмкость и теряет индуктивные свойства.

2.3.2 Моделирование эквивалентной схемы помехоподавляющего дросселя

Эквивалентная схема помехоподавляющего дросселя может быть промоделирована в Qucs. Чтобы рассчитать импеданс дросселя также необходимо использовать моделирование S-параметров с пересчётом их в Z-параметры. Модель эквивалентной схемы двухобмоточного дросселя показана на рис.9.

На схеме катушки дросселя включены параллельно. Для них используется компонент Индуктивно связанные катушки. Потери в сердечнике имитирует резистор R3. Ёмкость определяется исходя из условия резонанса.

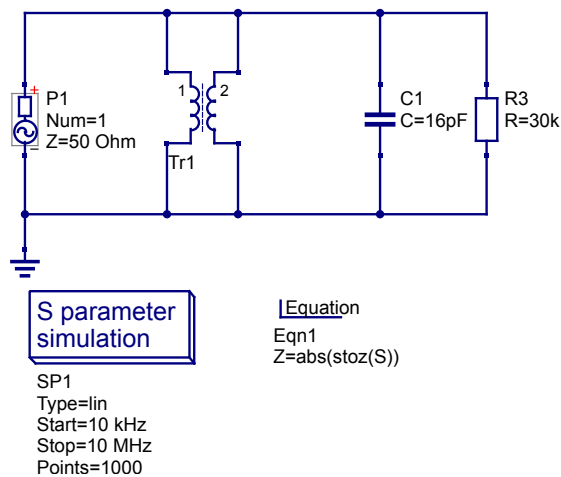


Рис. 9. Модель двухобмоточного дросселя в программе Qucs.

2.3.3 Задание для самостоятельной работы

Собрать схему на рис.9 и добиться её работоспособности. В отчёт включить схему и график зависимости импеданса от частоты.

3 Заключение

В результате выполнения семинара изучены способы моделирования помехоподавляющих элементов, имеющих наиболее широкое применение в составе РЭА: керамических конденсаторов и двухобмоточных дросселей. Студенты ознакомились с моделированием Z-параметров и с ограничениями при применении данных электронных компонентов.