

Лабораторная работа № 2

Характеристики входной цепи

1. Пересчёт проводимости нагрузки в контур входной цепи

Параметры входной цепи (ВЦ) рассчитываются по приближённым формулам, поэтому рассчитанные значения следует сравнить с результатами моделирования. Сначала рассматривается вспомогательная задача – пересчёт внешней проводимости нагрузки в контур ВЦ.

1.1. Исходные данные для расчёта и моделирования: колебательный контур входной цепи настроен на частоту 20 МГц, ёмкость конденсатора 25 пФ, собственное резонансное сопротивление контура 5 кОм, сопротивление нагрузки 1 кОм, коэффициент включения нагрузки 0,4.

Задание: Рассчитать индуктивность катушки колебательного контура и его эквивалентную резонансную проводимость. Рассчитать элементы связи контура с нагрузкой для двух вариантов: а) трансформаторная связь; б) внутриемкостная связь. Сравнить АЧХ контура при неполном подключении нагрузки с АЧХ контура с эквивалентной проводимостью.

1.1.1. Расчёт

Индуктивность катушки $L_k = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_k}$. Собственная резонансная проводимость контура $g_k = 1/R_k$, проводимость нагрузки $g_n = 1/R_n$. Эквивалентная резонансная проводимость:

$$g'_k = g_k + m^2 g_n.$$

Эквивалентное резонансное сопротивление контура:

$$R'_k = 1/g'_k.$$

А) При трансформаторной связи нагрузки с контуром нужно рассчитать индуктивность катушки связи. Степень связи этой катушки с колебательным контуром характеризуется безразмерным коэффициентом связи $k = \frac{M}{\sqrt{L_k L_{cb}}} < 1$, где

M – взаимная индуктивность. Коэффициент включения при трансформаторной связи определяется как $m = \frac{M}{L_k} = \frac{k \sqrt{L_k L_{cb}}}{L_k} = k \sqrt{\frac{L_{cb}}{L_k}}$. Следовательно, индуктивность

катушки связи равна $L_{cb} = \left(\frac{m}{k}\right)^2 L_k$. Значение коэффициента связи задаётся с учётом

возможности его практической реализации. Провести расчёт и моделирование для двух значений коэффициента связи: 0,4 и 0,8. На модели сравнить эти два варианта.

Б) При внутриемкостной связи нагрузки с контуром нужно рассчитать значения ёмкости конденсаторов C_1 и C_2 емкостного делителя. Ёмкость этих конденсаторов определяется так, чтобы обеспечить заданный коэффициент включения $m = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$

и необходимую полную ёмкость $C_k = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$, определяющую резонансную частоту

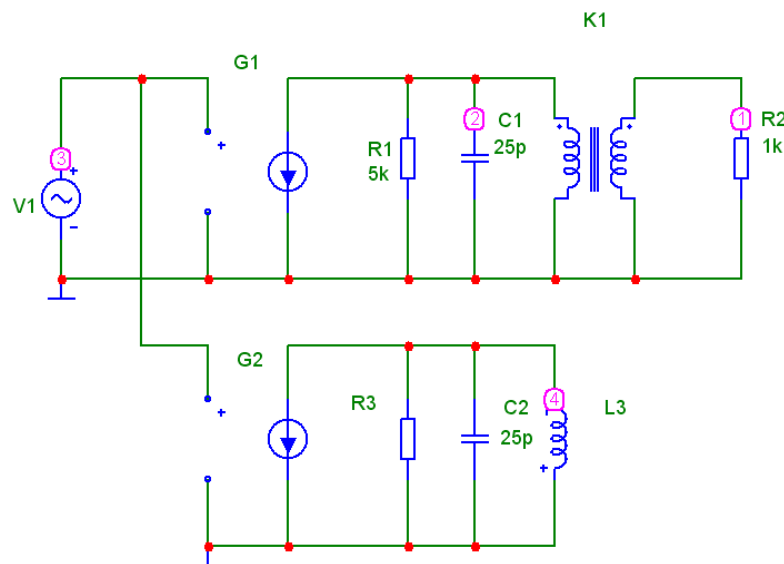
колебательного контура. Из этих двух условий следует, что $C_1 = \frac{C_k}{1-m}$, $C_2 = \frac{C_k}{m}$.

1.1.2. Моделирование

Для сравнения АЧХ контура при неполном подключении нагрузки с АЧХ контура с эквивалентной проводимостью нужно смоделировать оба эти контура, подключив их с помощью идеального источника тока, управляемого напряжением (ИТУН), к одному и тому же источнику сигнала. Для оценки точности расчёта элементов связи контура с нагрузкой нужно также получить зависимость коэффициента включения нагрузки от частоты.

А) Трансформаторная связь нагрузки с контуром

Величина коэффициента передачи ИТУН в данном случае роли не играет и его можно принять равным 1.



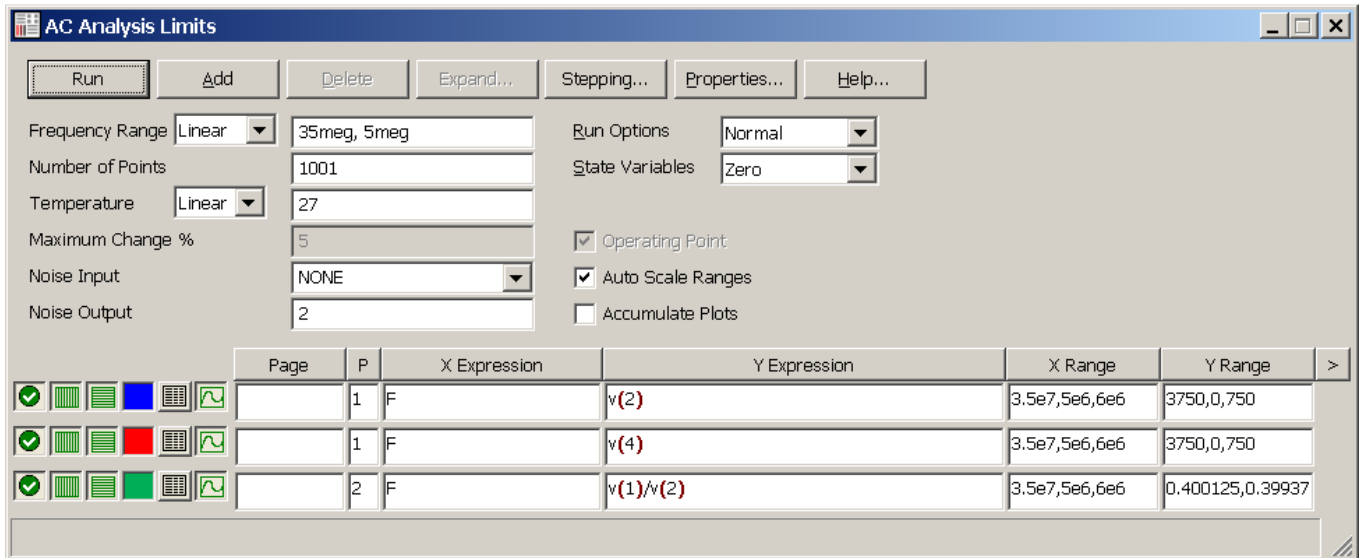
Модель трансформатора выбирается следующим образом:

Component → Analog Primitives → Passive Components → Transformer.

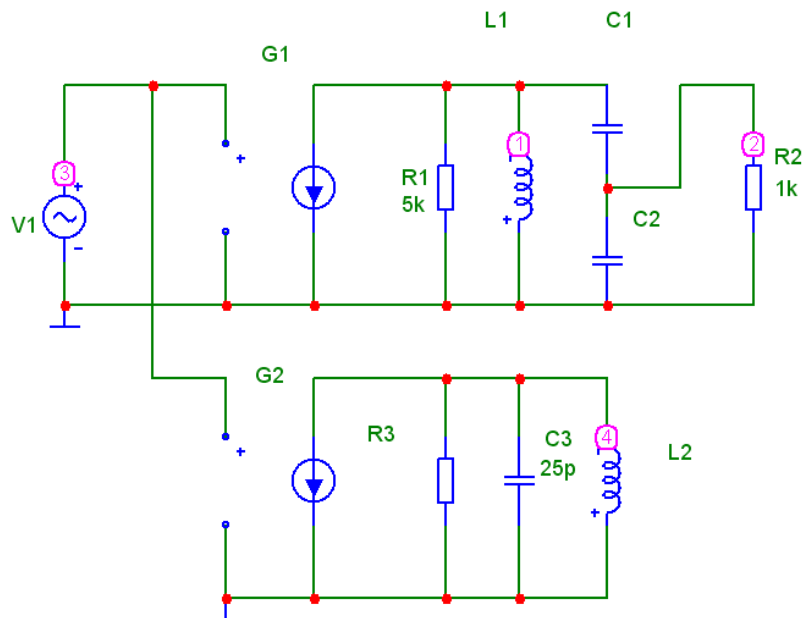
В поле Value через запятую указываются: индуктивность первичной обмотки трансформатора (контурной катушки), индуктивность вторичной обмотки трансформатора (катушки связи), коэффициент связи.

Расчёт АЧХ

В режиме *AC Analysis* рассчитаются АЧХ контура ВЦ, контура с эквивалентной проводимостью и частотная зависимость коэффициента включения нагрузки. Диапазон изменения частоты задаётся так, чтобы резонансная частота находилась посередине: от 5 МГц до 35 МГц.



Б) Внутриемкостная связь нагрузки с контуром



2. Согласование входной цепи с антенной

2.1. Исходные данные для расчёта и моделирования: резонансная частота контура ВЦ $f_0 = 150$ МГц, полоса пропускания ВЦ $\Pi_{\text{кз}} = 37,5$ МГц, ёмкость контура ВЦ $C_{\text{к}} = 20$ пФ, собственная добротность контура $Q_{\text{к}} = 20$, сопротивление антенны $R_{\text{А}} = 100$ Ом, проводимость нагрузки $g_{\text{н}} = 5$ мСм.

Задание: Рассчитать коэффициенты включения, обеспечивающие согласование антенны с ВЦ, и коэффициент передачи ВЦ в режиме согласования. Рассчитать индуктивность катушки колебательного контура и параметры элементов связи для двух вариантов: а) внутриемкостная связь с антенной и трансформаторная связь с нагрузкой; б) трансформаторная связь с антенной и внутриемкостная связь с нагрузкой.

2.1.1. Расчёт

Собственная полоса пропускания контура ВЦ $\Pi_k = \frac{f_0}{Q_k}$.

Коэффициент расширения полосы пропускания $\gamma = \frac{\Pi_{кэ}}{\Pi_k}$.

Индуктивность катушки $L_k = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C_k}$.

Собственная резонансная проводимость контура $g_k = 2\pi \Pi_k C_k$.

Коэффициент включения антенны в контур $m_{1c} = \sqrt{\frac{\gamma g_k}{2g_A}}$, коэффициент включения

нагрузки в контур $m_{2c} = \sqrt{\frac{(\gamma - 2) g_k}{2g_H}}$.

Коэффициент передачи ВЦ в режиме согласования $K_{0c} = \frac{m_{2c}}{2m_{1c}}$.

Для моделирования колебательного контура с потерями необходимо задать его резонансное сопротивление: $R_k = 1/g_k$.

А) При емкостной связи антенны с контуром $C_1 = \frac{C_k}{1 - m_1}$, $C_2 = \frac{C_k}{m_1}$.

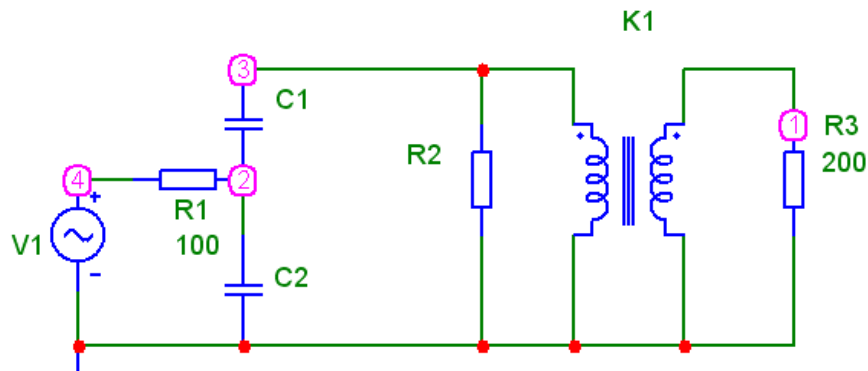
При трансформаторной связи нагрузки с контуром нужно рассчитать индуктивность катушки связи. Коэффициент включения при трансформаторной связи равен $m_2 = k \sqrt{\frac{L_{св}}{L_k}}$. Для упрощения моделирования принимается, что индуктивности катушки связи и контурной катушки одинаковы. В этом случае коэффициент включения равен коэффициенту связи: $m_2 = k$.

Б) При трансформаторной связи антенны с контуром также принимается, что индуктивности катушки связи и контурной катушки одинаковы и $m_1 = k$.

При внутриемкостной связи нагрузки с контуром $C_1 = \frac{C_k}{1 - m_2}$, $C_2 = \frac{C_k}{m_2}$.

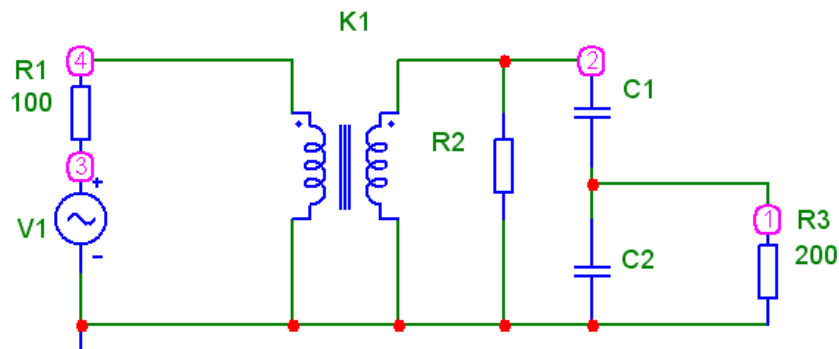
2.1.2. Моделирование

А) внутриемкостная связь с антенной и трансформаторная связь с нагрузкой



В режиме *AC Analysis* рассчитать АЧХ ВЦ и частотную зависимость коэффициентов включения. Диапазон изменения частоты задать так, чтобы резонансная частота находилась посередине: от 50 МГц до 250 МГц.

Б) трансформаторная связь с антенной и внутриемкостная связь с нагрузкой



В режиме *AC Analysis* рассчитать АЧХ ВЦ и частотную зависимость коэффициентов включения. Диапазон изменения частоты задать так, чтобы резонансная частота находилась посередине: от 50 МГц до 250 МГц.

3. Характеристики входной цепи при рассогласовании с антенной

3.1. Исходные данные для расчёта и моделирования: параметры входной цепи такие же, что в п. 2 при трансформаторной связи с антенной.

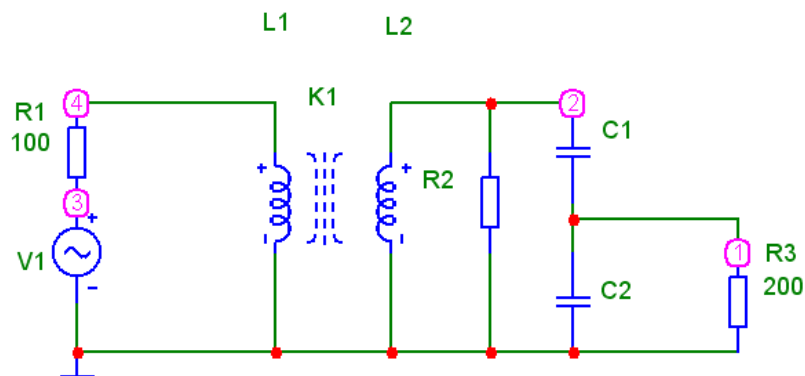
Задание: Рассчитать зависимости резонансного коэффициента передачи и полосы пропускания ВЦ от коэффициента включения антенны в контур при изменении коэффициента включения от 0 до 1. Построить графики этих зависимостей.

3.1.1. Расчёт

Степень рассогласования ВЦ с антенной характеризуется параметром $a = \frac{m_1}{m_{1c}}$, где m_{1c} – коэффициент включения антенны при согласовании. Коэффициент передачи ВЦ равен $K_0 = K_{0c} \frac{2a}{a^2 + 1}$, полоса пропускания равна $\Pi_{ВЦ} = \Pi_{ВЦc} \frac{a^2 + 1}{2}$. Здесь K_{0c} – коэффициент передачи в режиме согласования, $\Pi_{ВЦc} = \Pi_{кз} = 37,5$ МГц – полоса пропускания в режиме согласования.

3.1.2. Моделирование

Для того чтобы иметь возможность в режиме *Stepping* изменять коэффициент связи, определяющий коэффициент включения антенны в контур ВЦ, следует изменить схему модели, заменив трансформатор двумя катушками индуктивности **L1** и **L2** и элементом индуктивной связи (выбирается в следующей последовательности: **Component** → **Analog Primitives** → **Passive Components** → **K**). В поле **Inductors** через пробел указываются номера индуктивностей: **L1 L2**, в поле **Coupling** указывается коэффициент связи.



По этим графикам измерить резонансный коэффициент передачи и полоса пропускания. Измеренные значения нанести на соответствующие графики.