

Лабораторная работа № 2

Характеристики преселектора РПУ

1. Исходные данные

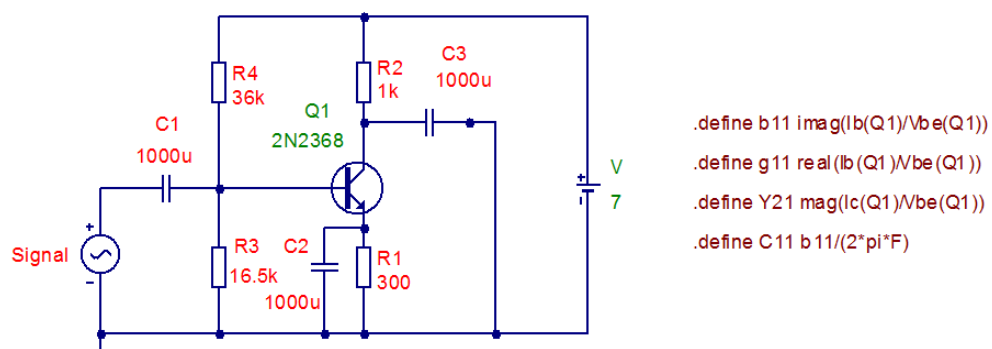
- частота сигнала $f_0 = 80$ МГц;
- эквивалентная полоса пропускания колебательного контура входной цепи (ВЦ) и усилителя радиочастоты (УРЧ) $\Pi_{кз} = 9$ МГц;
- собственная полоса пропускания $\Pi_k = 3$ МГц;
- эквивалентное сопротивление антенны $R_A = 50$ Ом (проводимость антенны $g_A = 1/R_A = 20$ мСм);
- связь антенны с контуром ВЦ – трансформаторная, связь каскада УРЧ с контуром ВЦ – внутриемкостная, связь транзистора с контуром УРЧ – непосредственная, связь нагрузки с контуром УРЧ – внутриемкостная;
- тип транзистора – 2N2368 (для данного транзистора проводимость обратной передачи имеет в основном емкостной характер), схема включения: а) с общим эмиттером; б) каскодная (ОЭ-ОБ);
- индуктивность катушек колебательных контуров $L_k = 0,2$ мкГн;
- сопротивление нагрузки $R_n = 500$ Ом;
- ёмкость нагрузки $C_n = 5$ пФ.

2. Измерение Y-параметров транзистора

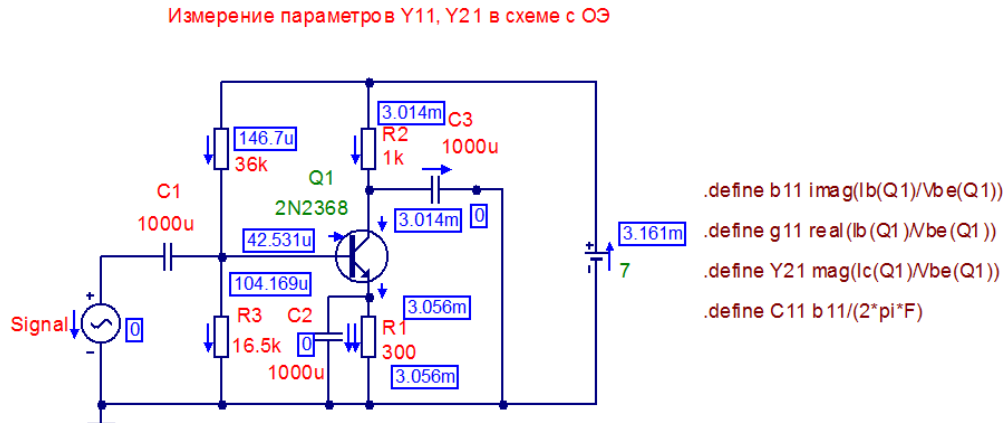
Нагрузкой входной цепи является каскад усилителя радиочастоты. Для расчёта коэффициентов включения в контур ВЦ необходимо знать активную составляющую проводимости нагрузки, а для расчёта ёмкости колебательного контура ВЦ – реактивную (ёмкостную) составляющую. Комплексная входная проводимость УРЧ принимается равной параметру Y_{11} (входная проводимость) транзистора. Для расчёта УРЧ необходимо также иметь параметры Y_{22} (выходная проводимость), Y_{21} (крутизна). В УРЧ используется включение транзистора по схеме с общим эмиттером.

Измерение параметров Y_{11} и Y_{21} производится в режиме короткого замыкания (КЗ) (на частоте сигнала) по выходу транзистора по следующей схеме.

Измерение параметров Y_{11} , Y_{21} в схеме с ОЭ



Напряжение источника питания и сопротивления резисторов заданы таким образом, чтобы обеспечить ток коллектора в рабочей точке $I_k^0 = 3 \text{ мА}$. Это проверяется на модели в режиме *Dynamic DC*:



Ёмкости блокировочных и разделительных конденсаторов условно заданы равными 1000 мкФ с тем чтобы создать КЗ по высокой частоте. Для измерения входной ёмкости транзистора удобно с помощью директивы `.define` определить новые

переменные $b_{11} = \text{Im } Y_{11} = \text{Im} \frac{I_B}{U_{БЭ}}$ и $C_{11} = \frac{b_{11}}{2\pi f}$:

```

.define b11 imag(Ib(Q1)/Vbe(Q1))
.define C11 b11/(2*pi*F)

```

(**Замечание:** директивы вводятся в текстовом окне, которое открывается при нажатии на кнопку **T** (переход в текстовый режим), и размещаются рядом со схемой; каждая директива должна быть напечатана на отдельной строке.)

Аналогично определяются активная составляющая входной проводимости

```

.define g11 real(Ib(Q1)/Vbe(Q1))

```

и модуль крутизны (параметра Y_{21})

```

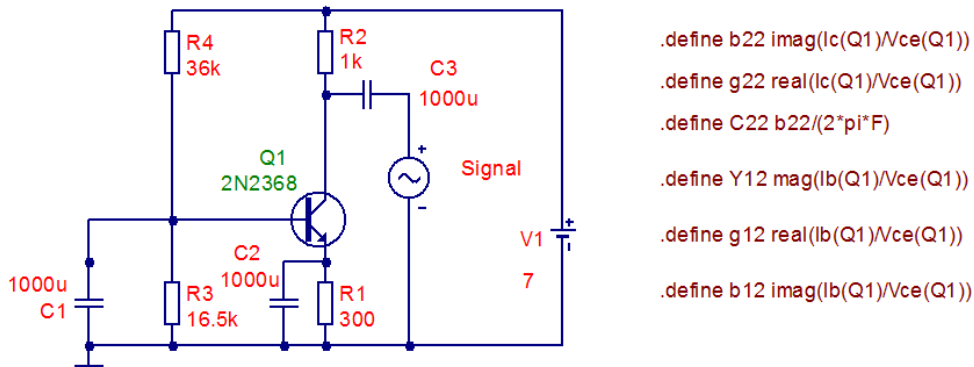
.define Y21 mag(Ic(Q1)/Vbe(Q1))

```

Для измерения параметров Y_{12} и Y_{22} генератор подключается к выходу и создаётся

режим КЗ по входу. Выходная ёмкость транзистора определяется как $C_{22} = \frac{b_{22}}{2\pi f}$.

Измерение параметров Y22, Y12



Измерение производится в режиме анализа частотных характеристик *AC analysis* в интервале частот 60 – 100 МГц. Y-параметры определяются на частоте 80 МГц.

3. Расчёт входной цепи

1) Эквивалентная ёмкость колебательного контура

$$C_{кз} = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L_k}.$$

2) Собственная резонансная проводимость контура $g_k = 2\pi\Pi_k C_{кз}$, собственное резонансное сопротивление контура $R_k = 1/g_k$.

3) Коэффициент расширения полосы пропускания $\gamma = \frac{\Pi_{кз}}{\Pi_k}$.

4) Коэффициент включения антенны $m_{1(1)} = \sqrt{\frac{\gamma g_k}{2g_A}}$.

5) Для включения антенны используется трансформаторная связь. Примем коэффициент связи $k = 0,3$. Индуктивность катушки связи

$$L_{св} = \left(\frac{m_{1(1)}}{k} \right)^2 L_k.$$

6) Проводимость нагрузки ВЦ (входная проводимость каскада УРЧ)

$$g_{н. ВЦ} = \frac{1}{R_{д1}} + \frac{1}{R_{д2}} + g_{11}.$$

Здесь $R_{д1} = 36$ кОм – сопротивление верхнего резистора базового делителя, $R_{д2} = 16,5$ кОм – сопротивление нижнего резистора.

7) Коэффициент включения нагрузки (каскада УРЧ) в контур ВЦ

$$m_{2(1)} = \sqrt{\frac{(\gamma - 2)g_k}{2g_{н.ВЦ}}}.$$

8) При внутриемкостной связи нагрузки с контуром нужно рассчитать значения ёмкости конденсаторов $C_{1(1)}$ (верхнего на схеме) и $C_{2(1)}$ (нижнего на схеме)

емкостного делителя. Ёмкость этих конденсаторов определяется так, чтобы обеспечить заданный коэффициент включения $m_{2(1)} = \frac{C_{1(1)}}{C_{1(1)} + C_{2(1)}}$ и необходимую

полную ёмкость $C_{кэ} = \frac{C_{1(1)}C_{2(1)}}{C_{1(1)} + C_{2(1)}}$, определяющую резонансную частоту колебательного контура. Из этих двух условий следует, что

$$C_{1(1)} = \frac{C_{кэ}}{1 - m_{2(1)}}.$$

Поскольку параллельно конденсатору $C_{2(1)}$ включается входная ёмкость транзистора C_{11} , то

$$C_{2(1)} = \frac{C_{кэ}}{m_{2(1)}} - C_{11}.$$

9) Коэффициент передачи ВЦ в режиме согласования

$$K_{0 \text{ ВЦ}} = \frac{m_{2(1)}}{2m_{1(1)}}.$$

4. Расчёт УРЧ

1) Коэффициент расширения полосы пропускания, эквивалентная ёмкость, собственная резонансная проводимость контура УРЧ принимаются такими же, как для контура ВЦ.

2) Поскольку выходная проводимость транзистора g_{22} много меньше проводимости нагрузки $g_n = 1/R_n$, то транзистор включается в контур полностью: $m_{1(2)} = 1$.

3) Коэффициент включения нагрузки в колебательный контур находится исходя из заданного коэффициента расширения полосы $\gamma = \frac{g_{кэ(2)}}{g_k} = \frac{g_{22} + g_k + m_{2(2)}^2 g_n}{g_k}$:

$$m_{2(2)} = \sqrt{\frac{(\gamma - 1)g_k - g_{22}}{g_n}}.$$

4) Поскольку в $C_{кэ}$ входит выходная ёмкость транзистора C_{22} и ёмкость нагрузки включена параллельно конденсатору $C_{2(2)}$, то ёмкости конденсаторов рассчитываются как

$$C_{1(2)} = \frac{C_{кэ} - C_{22}}{1 - m_{2(2)}},$$

$$C_{2(2)} = \frac{C_{кэ} - C_{22}}{m_{2(2)}} - C_n.$$

5) Резонансный коэффициент усиления

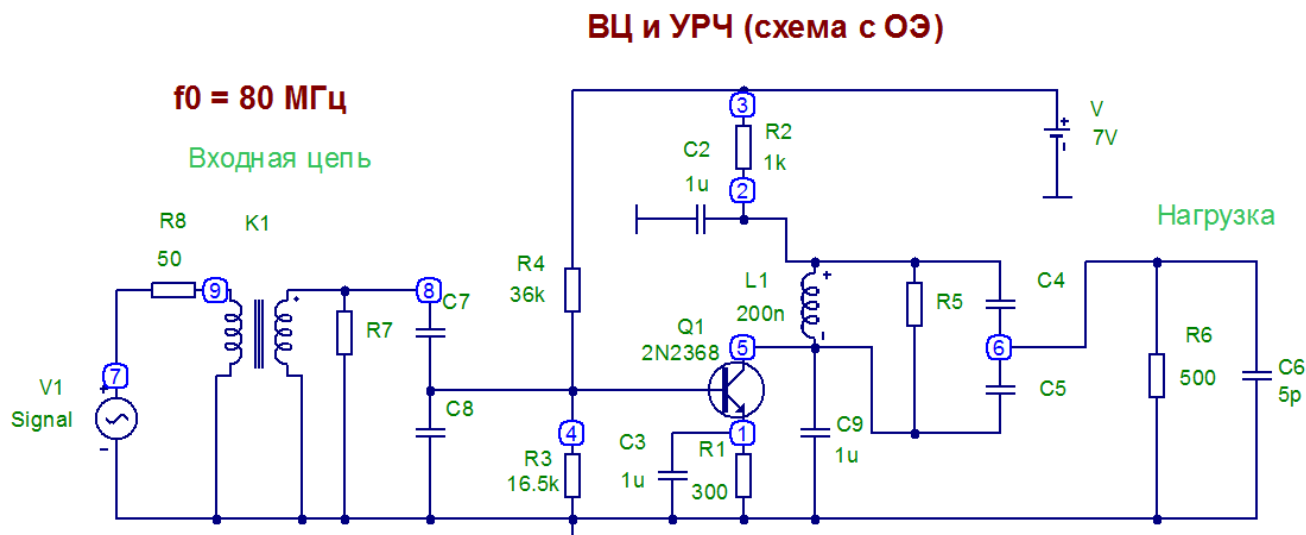
$$K_{0 \text{ УРЧ}} = \frac{m_{1(2)}m_{2(2)}|Y_{21}|}{\gamma g_k}.$$

6) Ёмкости блокировочных и разделительных конденсаторов приняты равными 1 мкФ. На частоте сигнала 80 МГц их емкостное сопротивление

$$x_C = C_{\kappa} = \frac{1}{2\pi f_0 C} = \frac{1}{2\pi \cdot 80 \text{ МГц} \cdot 1 \text{ мкФ}} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом пренебрежимо мало.}$$

5. Моделирование преселектора

5.1. Схема с ОЭ

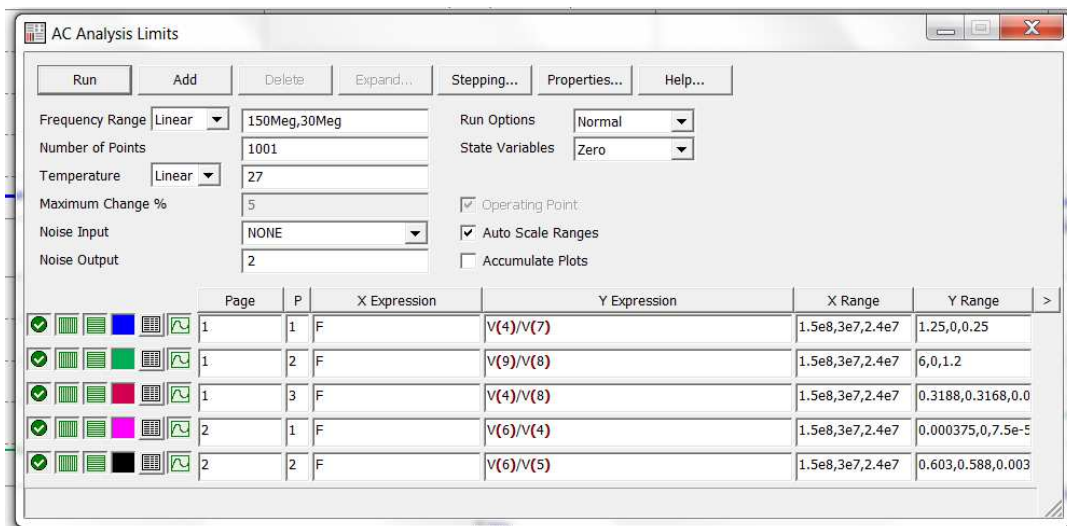


Модель трансформатора выбирается следующим образом:

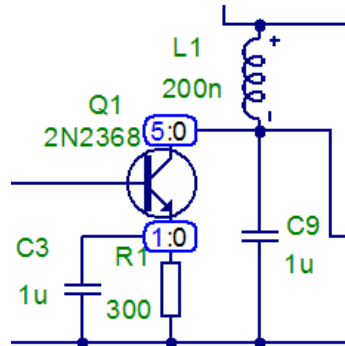
Component → Analog Primitives → Passive Components → Transformer.

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

В режиме **AC Analysis** рассчитывается АЧХ контура ВЦ, частотные зависимости коэффициентов включения для контура ВЦ и контура УРЧ. Диапазон изменения частоты задаётся так, чтобы резонансная частота находилась посередине.

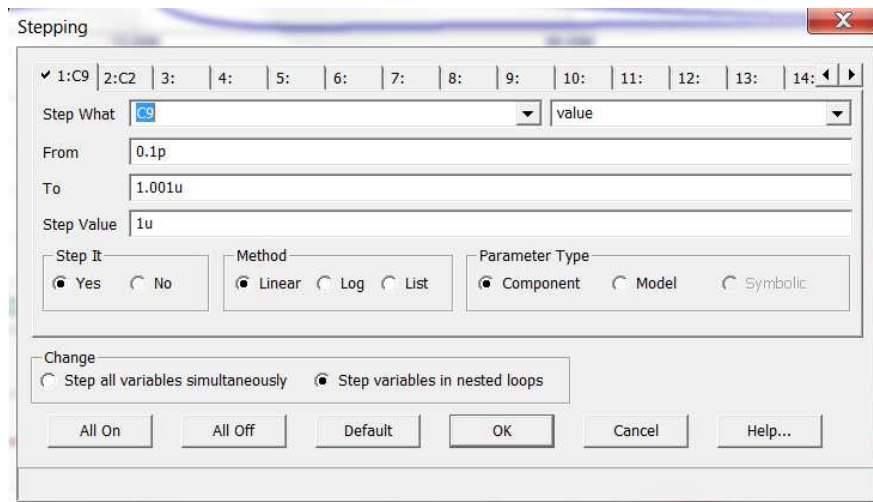


Для оценки влияние паразитной обратной связи в транзисторе на АЧХ входной цепи следует искусственно исключить влияние обратной связи, создав в усилительном каскаде режим КЗ по выходу. Для этого между коллектором транзистора и «землёй» включается блокировочный конденсатор большой ёмкости:



По полученным графикам определяются резонансная частота, полоса пропускания, резонансный коэффициент передачи, коэффициенты включения на резонансной частоте.

Далее следует исключить из схемы блокировочный конденсатор в цепи коллектора и получить график АЧХ ВЦ при наличии паразитной обратной связи в УРЧ. Для того чтобы сделать оценку влияния обратной связи в УРЧ на АЧХ ВЦ более наглядной, нужно задать в режиме **Stepping** изменение ёмкости блокировочного конденсатора C9 от очень малого значения 0,1 пФ, когда он практически не влияет на работу УРЧ, до большого значения 1 мкФ, когда он создаёт режим КЗ:



Видно, что при наличии обратной связи резонансная частота контура ВЦ уменьшается, полоса пропускания сужается, резонансный коэффициент передачи увеличивается.

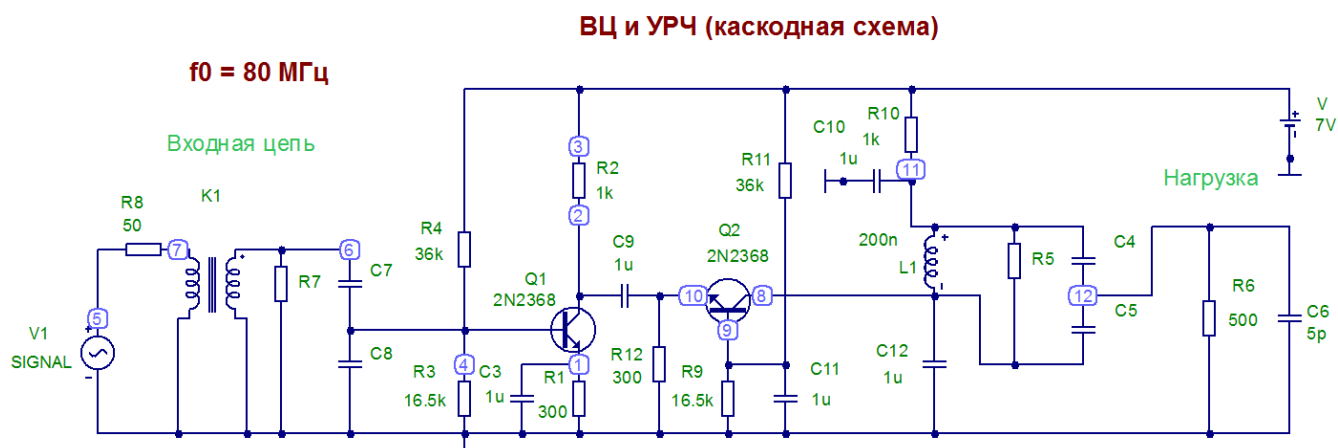
Измеряя полосу пропускания при наличии ($\Pi_{\text{КЗ}}^{\text{OC}}$) и при отсутствии ($\Pi_{\text{КЗ}}$) обратной связи, рассчитать коэффициент устойчивости УРЧ

$$k_y = \frac{\Pi_{\text{КЗ}}^{\text{OC}}}{\Pi_{\text{КЗ}}}.$$

Получить АЧХ УРЧ и частотную зависимость коэффициент включения нагрузки, сравнить с рассчитанными значениями.

5.2. Каскодная схема

В модели преселектора заменить каскад УРЧ, построенный по схеме с общим эмиттером, на каскодную схему. Параметры включения транзистора и нагрузки в контур УРЧ не меняются. Режим по постоянному току обоих транзисторов такой же, как в предыдущей модели.



Повторить измерения АЧХ ВЦ и АЧХ УРЧ. Оценить влияние обратной связи на АЧХ ВЦ.