

Оглавление

Цель работы	2
Теоретические сведения	3
Результаты выполнения работы	6
Выводы	8
Ответы на контрольные вопросы	9

Цель работы

Изучение методов математического моделирования электрических схем в статическом режиме. Изучение способов обеспечения статического режима работы схем методами математического моделирования.

Теоретические сведения

Транзисторные сглаживающие фильтры

Уменьшить массогабаритные показатели можно, используя транзисторные СФ, вместо громоздких LC-фильтров. Правда выигрыш транзисторных фильтров компенсируется меньшим КПД. Рассмотрим типичные схемы транзисторных фильтров.

На рисунке 1 представлена схема наиболее простого транзисторного фильтра.

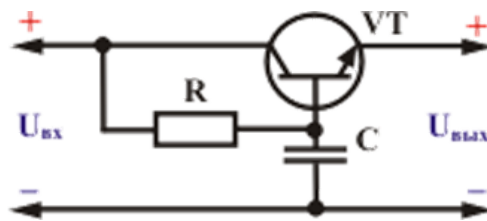


Рисунок 1. Простейший транзисторный фильтр

На коллектор транзистора VT поступает напряжение с выпрямителя с большой амплитудой пульсаций. Цепь базы питается через интегрирующую цепь RC. Эта цепочка сглаживает пульсации на базе транзистора. В принципе, эту цепь можно представить, как RC-фильтр. Чем больше постоянная времени $\tau = RC$, тем меньше пульсации напряжения на базе транзистора. Ну а поскольку транзистор включен по схеме эмиттерного повторителя, то на выходе напряжение будет повторять напряжение на базе, т. е. пульсации будут столь же малыми, как и на базе. Емкость конденсатора C может быть в несколько раз меньше (примерно в $h_{21э}$ раз), чем в LC-фильтре, поскольку базовый ток намного меньше выходного тока фильтра, т. е. коллекторного тока транзистора. Основное достоинство схемы - простота. А вот недостатков... Во-первых, противоречивые требования к сопротивлению резистора R - для уменьшения пульсаций следует увеличивать сопротивление, для повышения КПД - уменьшать. Во-вторых, сильная зависимость

параметров от температуры, тока нагрузки, коэффициента передачи тока базы транзистора ($h_{21э}$). Обычно резистор подбирают экспериментально.

Несколько иная схема, приведенная на рисунке 2. В такой схеме цепь базы транзистора запитывается от отдельного источника с напряжением, больше входного. Схема обладает меньшими пульсациями.

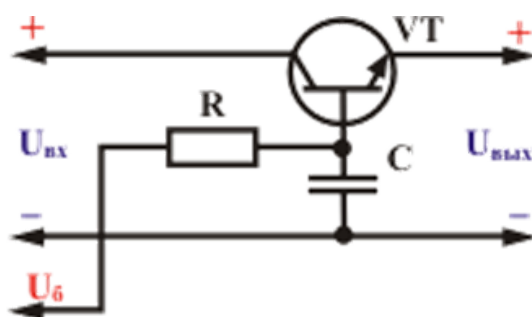


Рисунок 2. Еще одна схема транзисторного СФ

Поскольку база питается от отдельного источника, сопротивление резистора можно увеличить и, следовательно, уменьшить пульсации выходного напряжения. Мощность, выделяемая на резисторе R мала, так как ток базы мал. Тем не менее, этой схеме присущи те же недостатки, что и предыдущей. Кроме того, в таком фильтре транзистор может войти в насыщение и все пульсации со входа фильтра без ограничений будут передаваться на выход. В этот режим транзистор войдет, когда напряжение на базе превысит напряжение на коллекторе.

Ниже приведена схема транзисторного СФ, лишенная вышеуказанных недостатков.

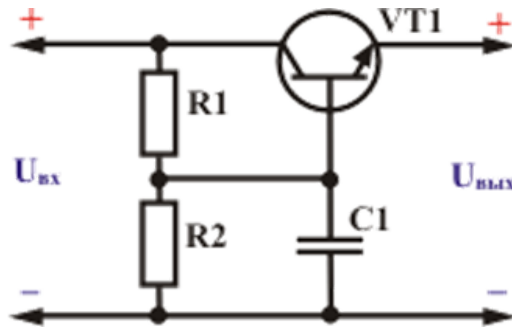


Рисунок 3. Фильтр с делителем напряжения

Моделирование схем в статическом режиме.

Математическая модель схемы представляется в виде следующей системы нелинейных уравнений: $\bar{I}(\bar{V}) = 0$, где \bar{V} - вектор неизвестных статических узловых потенциалов, \bar{I} - вектор суммарных узловых токов. Для его решения используется метод Ньютона, который представляется в виде следующей итерационной процедуры (k - номер итерации) $\bar{V}_{k+1} = \bar{V}_k - \alpha * \Delta \bar{V}_k$, где α - коэффициент, регулирующий скорость сходимости. Вектор приращений $\Delta \bar{V}_k$ определяется следующей системой уравнений: $\bar{J}(\bar{V}_k) * \Delta \bar{V}_k = -\bar{I}(\bar{V}_k)$, где $\bar{J} = \frac{\partial \bar{I}(\bar{V})}{\partial \bar{V}}$ - матрица Якоби. Они по сути дела представляют собой матрицу проводимости $\frac{\partial i}{\partial u}|_{u=u_k}$, где вклады нелинейных элементов учитываются включением дифференциальных проводимостей.

Итерационный процесс завершается при выполнении следующих условий:

Абсолютная ошибка $|\Delta V_k| < \varepsilon_{\Delta V}$.

Относительная ошибка расчета по напряжению $|\frac{\Delta V_k}{V_k}| < \varepsilon_V$.

Абсолютная ошибка расчета по току $|\Delta I_k| < \varepsilon_{\Delta I_k}$.

Относительная ошибка расчета по току. $|\frac{\Delta I_k}{I_k}| < \varepsilon_I$.

Результаты выполнения работы

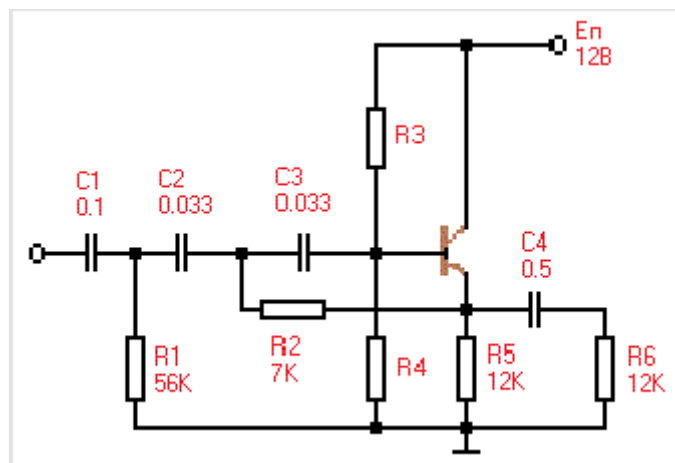


Рисунок 4. Электрическая схема фильтра

Зададим значения $R3 = 333 \text{ кОм}$ и $R4 = 444 \text{ кОм}$: и нажмем кнопку “Расчет”:

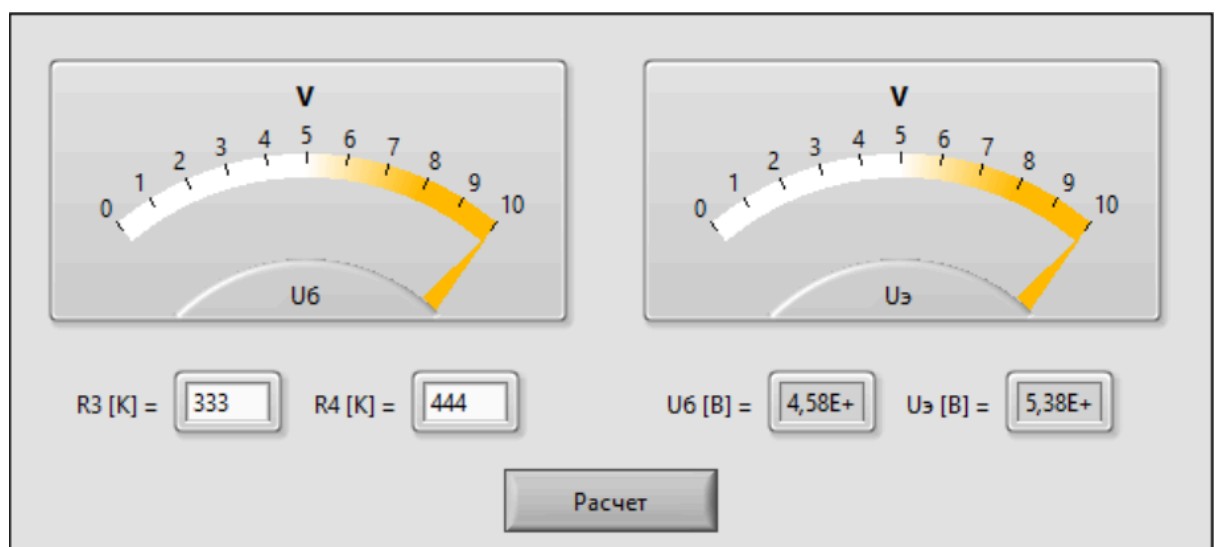


Рисунок 5. Показания вольтметров при $R3 = 333 \text{ кОм}$ и $R4 = 444 \text{ кОм}$

Далее, изменяя сопротивления R_3 и R_4 , необходимо добиться на эмиттере транзистора напряжения, равного половине напряжения питания.

На схеме можно заметить, что напряжение питания $E_p = 12V$, следовательно нам необходимо добиться $6V$.

После нескольких преобразований получилось добиться $6V$ на $U_э$.
Значение для $R_3 = 2\text{ кОм}$, а для $R_4 = 2,46\text{ кОм}$:

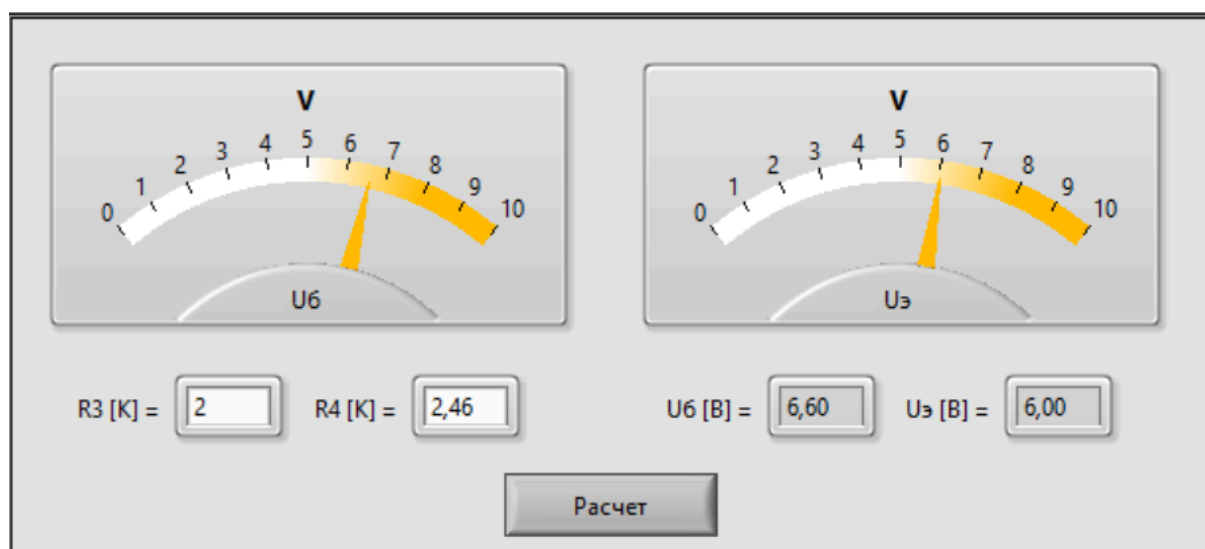


Рисунок 6. Подобранные сопротивления для $U_э = 6V$

Выводы

В результате выполнения лабораторной работы были изучены методы математического моделирования электрических схем в статическом режиме, а также были изучены способы обеспечения статического режима работы схем методами математического моделирования.

Кроме этого, были подобраны такие значения для R_3 и R_4 , чтобы напряжение на эмиттере было равно 6В, то есть половине напряжения питания.

Ответы на контрольные вопросы

1. Метод Ньютона-Рафсона для расчета статического режима электрических схем

Метод Ньютона-Рафсона (или метод Ньютона) широко используется для решения нелинейных уравнений и оптимизации. В контексте расчета статического режима электрических схем, этот метод может применяться для нахождения установившихся значений напряжений и токов в схеме.

Рассмотрим схему, состоящую из нескольких элементов (резисторы, конденсаторы, индуктивности и источники напряжения/тока).

Уравнения, описывающие эту схему, обычно являются нелинейными из-за наличия нелинейных элементов или из-за зависимости элементов схемы (таких как транзисторы) от текущих и напряжений.

Чтобы использовать метод Ньютона-Рафсона для расчета статического режима электрической схемы, сначала необходимо сформулировать уравнения, описывающие эту схему. Эти уравнения обычно представляют собой систему нелинейных уравнений, которые можно записать в виде:

$$F(x) = 0$$

где x - вектор неизвестных (напряжения и токи в узлах схемы), а $F(x)$ - вектор функций, описывающих зависимости в схеме.

Далее применяется итерационный процесс, в котором на каждой итерации k решается линеаризованная версия системы уравнений в окрестности текущего приближения x^k . Это делается путем аппроксимации функций $F(x)$ исходной системы линейными функциями в окрестности точки x^k . Затем полученная линейная система решается, и решение используется для обновления

приближения x^k . Процесс повторяется до тех пор, пока изменения x малы.

Этот метод требует вычисления матрицы Якоби $J(x^k)$ на каждой итерации, что может быть ресурсоемкой операцией, особенно для больших систем. Однако при правильном выборе начального приближения и при достаточном контроле сходимости метод Ньютона-Рафсона обычно является эффективным методом для решения статических режимов электрических схем.

2. Условия сходимости метода Ньютона-Рафсона.

$|x_{i+1} - x_i| < \varepsilon$, где x_{i+1} – следующее приближение на i -ой итерации, ε – заданная точность сходимости

3. Метод продолжения решения по параметру

Метод продолжения решения по параметру - численный метод, который ищет решения системы уравнений при изменении параметра. Он начинается с известного решения и постепенно изменяет параметр, решая вспомогательные задачи на каждом шаге. Этот метод широко используется для анализа поведения систем при изменении условий.

4. Объясните почему напряжение на эмиттере транзистора должно быть равно половине напряжения питания

Напряжение на эмиттере транзистора, равное половине напряжения питания, часто связывается с работой транзистора в схемах с общим эмиттером, особенно при использовании биполярных транзисторов типа NPN или PNP.

В таких схемах, если транзистор работает в активном режиме (когда он усиливает сигнал), напряжение на эмиттере примерно равно

$V_{CC} - V_{CE_{SAT}}$, где V_{CC} – напряжение питания, а $V_{CE_{SAT}}$ – наименьшее напряжение коллектор-эмиттер в состоянии насыщения. Обычно $V_{CE_{SAT}}$ для большинства биполярных транзисторов составляет всего несколько десятков милливольт.

Поскольку в активном режиме напряжение между базой и эмиттером V_{BE} для кремниевых транзисторов примерно равно 0.6-0.7 В (в зависимости от типа транзистора и температуры), а большинство схем разрабатываются таким образом, чтобы база была подключена к определенному напряжению (часто с использованием делителя напряжения), то напряжение на эмиттере приблизительно равно половине напряжения питания:

$$V_{Э} = V_{CC} - V_{CE_{SAT}} - V_{BE} \approx \frac{V_{CC}}{2}$$

Это обеспечивает удобное положение рабочей точки транзистора в активном режиме и максимальную амплитуду сигнала на выходе схемы.