

Варианты индивидуальных расчетных заданий, методические указания по их выполнению и эталонный образец выполнения одного из вариантов

В процессе выполнения расчетного задания (РЗ) студентам предлагается с использованием программного пакета семейства Micro-CAP провести три типа анализа пассивной RLC-цепи:

- Анализ по постоянному току (Dynamic Direct Current);
- Анализ в частотной области (по переменному току, AC – alternating current);
- Анализ во временной области (анализ переходных процессов, Transient).

Номер конкретного варианта РЗ согласно Приложению 1 студент должен получить у преподавателя. Источники входного воздействия, тип отклика и выхода определяются по табл.1 в соответствии с вариантом РЗ¹.

Таблица 1

Вид анализа	Анализ по постоянному току		Анализ в частотной области Анализ во временной области	
Вариант РЗ	Четный	Нечетный	Четный	Нечетный
Источник входного воздействия	Источник ЭДС E , источник тока Y		Источник ЭДС E (источник тока Y при расчете исключается)	Источник тока Y (источник ЭДС E при расчете исключается)
Тип отклика и выхода	Напряжение на источнике тока	Ток через источник ЭДС	Напряжения в узлах схемы Токи в элементах схемы (Мощность элементов для временного анализа)	

¹ В процессе разработки данного РЗ были использованы материалы учебного пособия **Зограф Ф. Г.** Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств: лабораторный практикум [Электронный ресурс] / Ф. Г. Зограф. – Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2011. – 120 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Выполнение РЗ нужно проводить в следующей последовательности:

1. Анализ по постоянному току:

- провести предварительную оценку схемы пассивной цепи, ее компонентов и их влияние на протекание постоянного тока, возможности упрощенного анализа поведения цепи на постоянном токе;
- изобразить упрощенную схему для проведения расчетов по постоянному току (статический анализ) в предположении, что все элементы схемы являются идеальными. При этом источник ЭДС и тока постоянны, а их номиналы:

$$E = \text{№ Варианта, В,}$$

$$Y = \text{№ Варианта, мА;}$$

- с помощью компьютерной подпрограммы произвести расчеты узловых напряжений, токов, генерируемой (запасаемой) и выделяемой мощности в элементах схемы для трех вариантов питания:

- от источника ЭДС E при значении $Y = 0$ мА;
- от источника тока Y при значении ЭДС $E = 0$ В;
- от источника ЭДС E и от источника тока Y .

Провести анализ полученных расчетов, сравнить их с предварительной оценкой.

2. Анализ в частотной области:

- провести предварительную оценку схемы пассивной цепи, ее компонентов и их влияние на протекание переменного тока различных частот, возможности упрощенного анализа поведения цепи на переменном токе при разных частотах, определить характерные частоты;
- с помощью компьютерной подпрограммы рассчитать частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) для всех узлов и элементов с источником в соответствии с Таблицей 1 (с единичной амплитудой гармонического сигнала);
- Провести анализ полученных расчетов, сравнить их с предварительной оценкой. Определить значения характерных частот и коэффициента передачи.

При выполнении расчета необходимо обоснованно указать диапазон частот и масштаб для выполнения расчета так, чтобы на графиках частотных характеристик отображались все характерные точки, определяющие свойства цепи (граничные частоты, полоса пропускания и т.п.).

3. Анализ во временной области:

- провести предварительную оценку работы схемы пассивной цепи при воздействии фронта и вершины прямоугольного импульса, оценить время переходного процесса;
- с помощью соответствующей компьютерной подпрограммы произвести расчет переходной и импульсной характеристик для узлов и элементов с источником в соответствии с Таблицей 1 (с амплитудой импульса равной 1).

Конкретные временные параметры импульсов входных импульсов напряжения и тока студентам необходимо определить, исходя из формы АЧХ, полученной в ходе анализа в частотной области.

Расчет импульсной характеристики производится путем взятия производной по времени от переходной с помощью функции $DEL(V(n))/DEL(T)$ или соответствующего макроса.

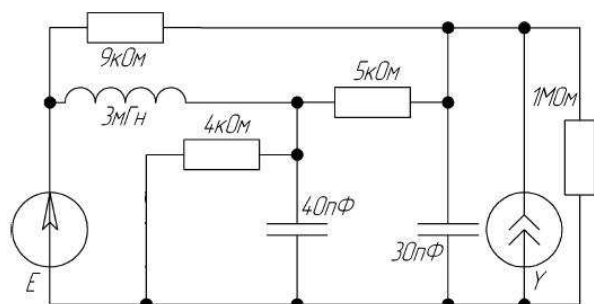
В качестве входного воздействия для четного варианта нужно использовать передний фронт единичного импульса напряжения, для нечетного варианта – передний фронт единичного импульса тока.

4. Оформление результатов РЗ

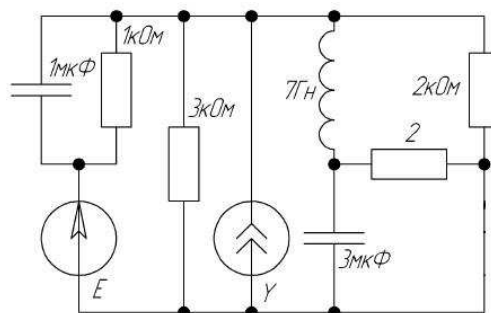
Пояснительная записка должна содержать:

- Титульный лист расчетного задания;
- Принципиальную схему анализируемой цепи с позиционными обозначениями компонентов и их номиналами, нумерацией узлов.
- Анализ DC: упрощенные схемы цепи с предварительной оценкой работы схемы на постоянном токе и результаты компьютерных расчетов (карты распределения постоянных потенциалов и токов, мощности), анализ полученных результатов и сравнение с оценкой.
- Анализ AC: Принципиальную схему анализируемой цепи с позиционными обозначениями компонентов и их номиналами, предварительную оценку работы схемы на переменном токе с оценкой рабочего диапазона частот, графики рассчитанных характеристик по напряжению для всех узлов и токов во всех элементах с курсорными измерениями значений в характерных точках, анализ полученных результатов расчетов и их сопоставление с предварительной оценкой и расчетом DC;
- Анализ во временной области: обоснование параметров испытательного воздействия и временных границ для выполнения расчета, графики переходной и импульсной характеристик для узлов и элементов, анализ полученных результатов расчетов и их сопоставление с предварительной оценкой и предыдущими расчетами.

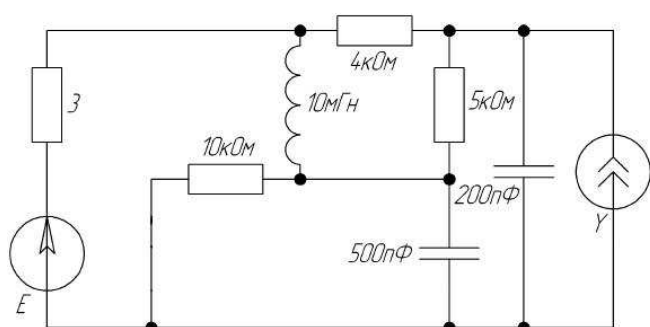
ВАРИАНТЫ СХЕМ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОГО ЗАДАНИЯ



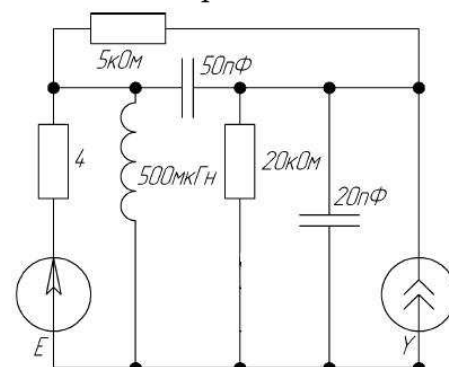
Вариант 1



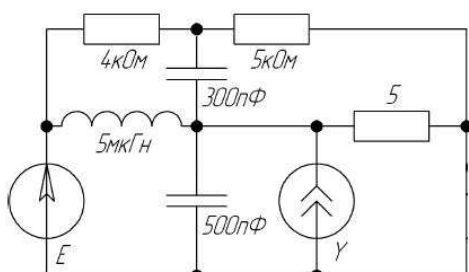
Вариант 2



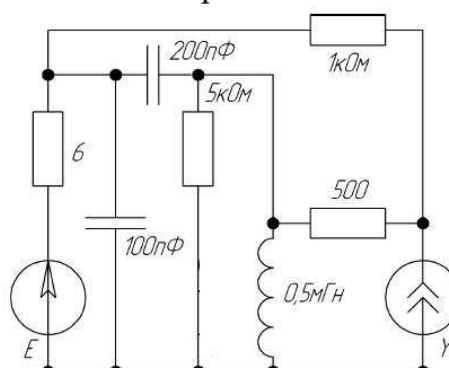
Вариант 3



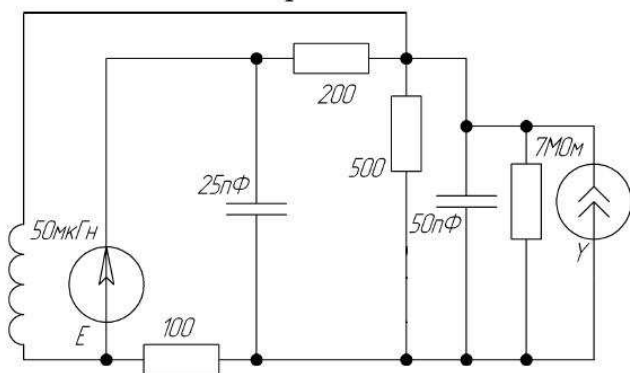
Вариант 4



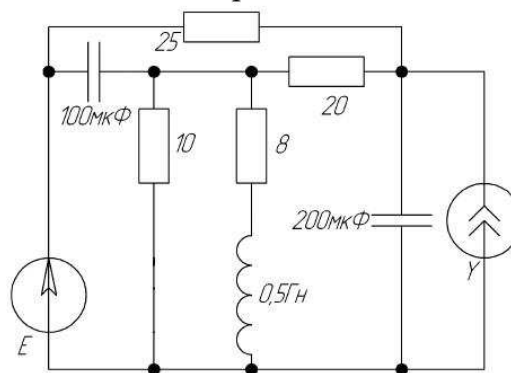
Вариант 5



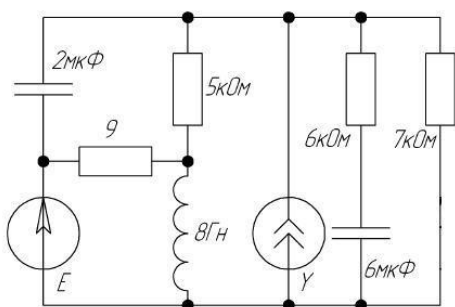
Вариант 6



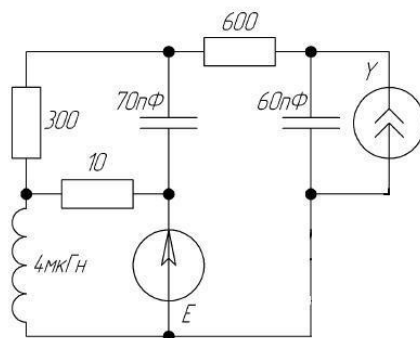
Вариант 7



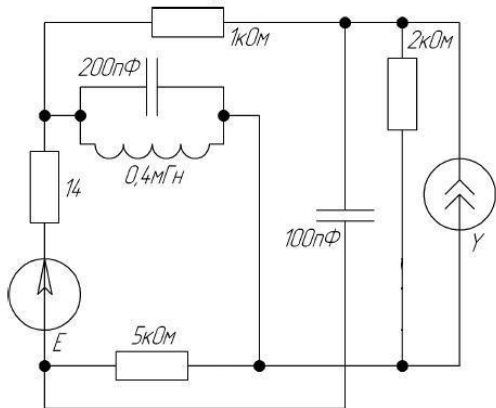
Вариант 8



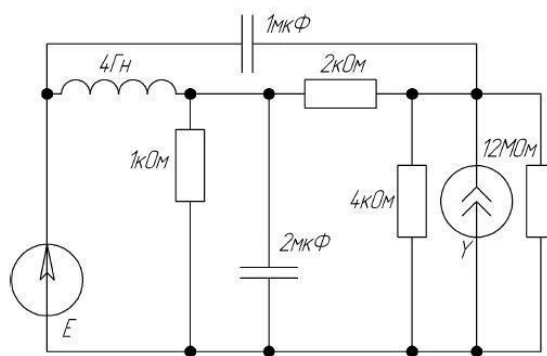
Вариант 9



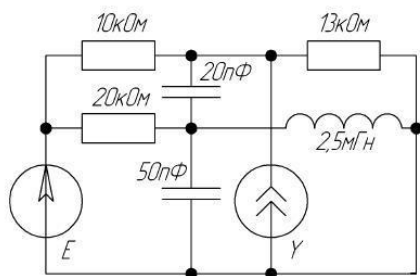
Вариант 10



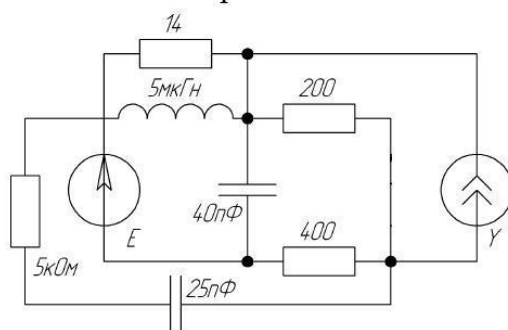
Вариант 11



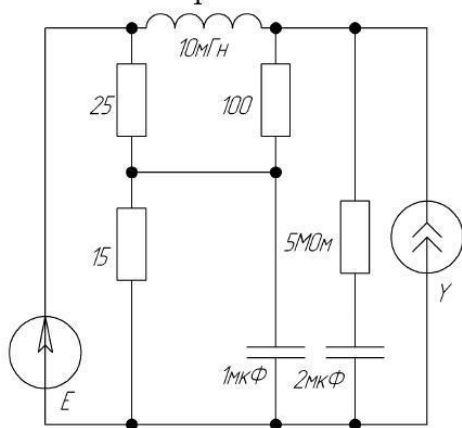
Вариант 12



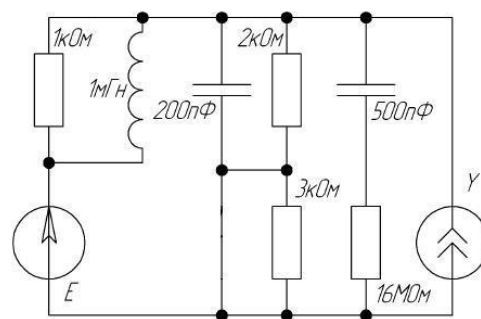
Вариант 13



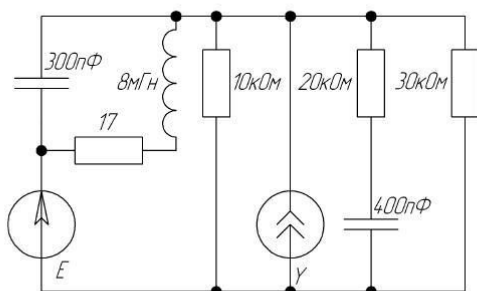
Вариант 14



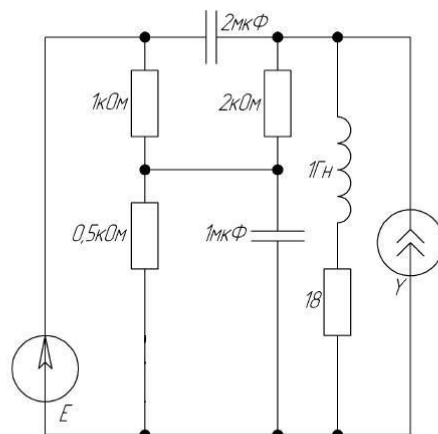
Вариант 15



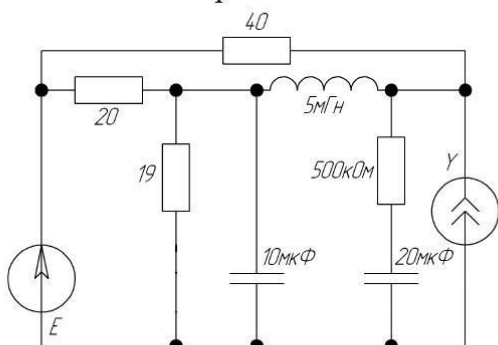
Вариант 16



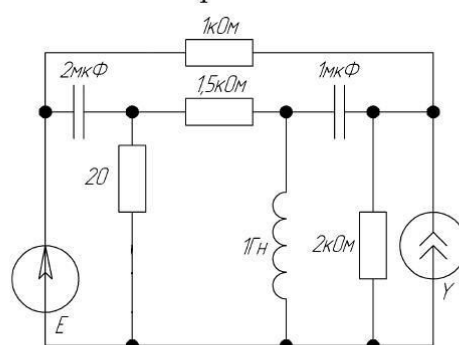
Вариант 17



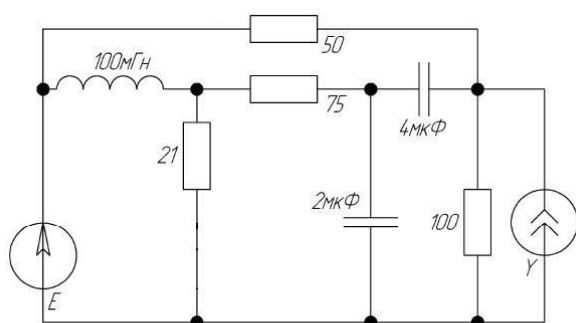
Вариант 18



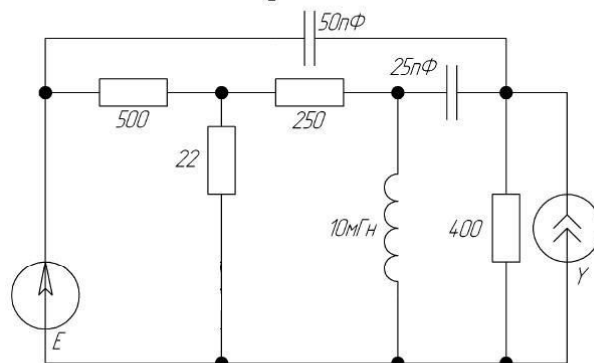
Вариант 19



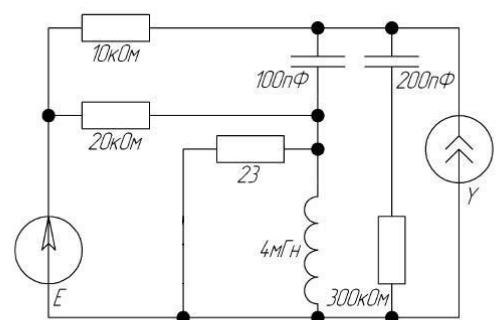
Вариант 20



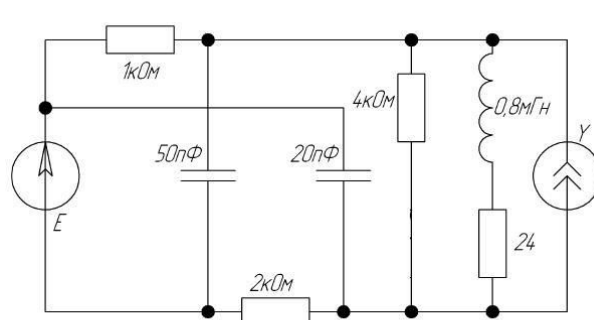
Вариант 21



Вариант 22



Вариант 23



Вариант 24

ОБРАЗЕЦ ВЫПОЛНЕНИЯ РЗ

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего
профессионального образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Институт радиотехники и электроники
Кафедра формирования и обработки сигналов

Расчетное задание по курсу
Основы компьютерного проектирования РЭС

Вариант № 10

Выполнил студент: Петров А.И.
Группа: ЭР-11-13
Проверил: проф. Сергеев Н.Н.

Москва 2015

Схема анализируемой цепи приведена на рисунке 1. В состав схемы входят 4 резистора, 2 конденсатора, катушка индуктивности, источник ЭДС $E1$ и источник тока $I1$. Поскольку источники соединены между собой общим проводом (нижний проводник), то при расчетах будем считать эту цепь «землей» (нулевым потенциалом).

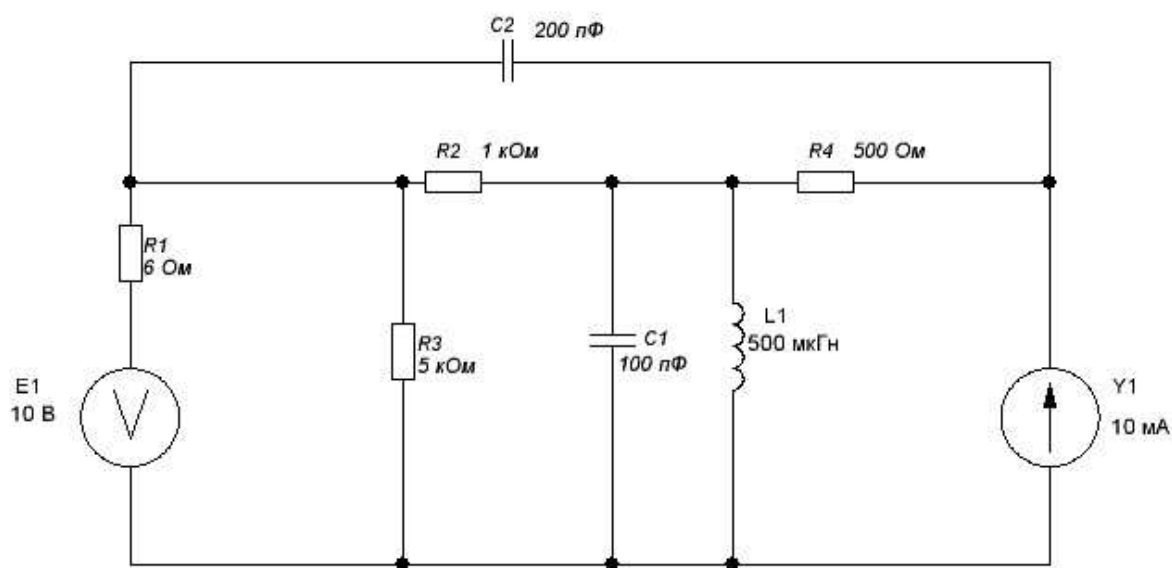


Рисунок 1. Схема анализируемой цепи Вариант № 10.

Для проведения расчетов и анализа проведем ввод схемы в программу MC10 (Рисунок 2).

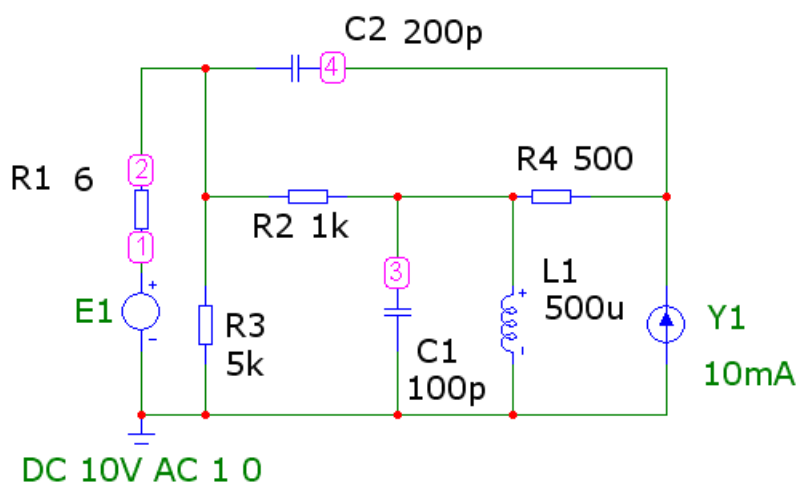


Рисунок 2. Схема для анализа в MC10 Вариант № 10.

1. Анализ цепи по постоянному току DDC ($E=10V$, $Y=10mA$)

Для проведения оценочных расчетов по постоянному току схема исследуемой цепи может быть существенно упрощена:

- поскольку в установившемся режиме через конденсаторы постоянный ток не протекает (сопротивление идеального конденсатора бесконечно большое), то эти элементы могут быть исключены;
- катушки индуктивности не препятствуют протеканию постоянного тока, их сопротивление близко к 0, их можно заменить отрезком проводника.

Упрощенная схема по постоянному току показана на рисунке 3.

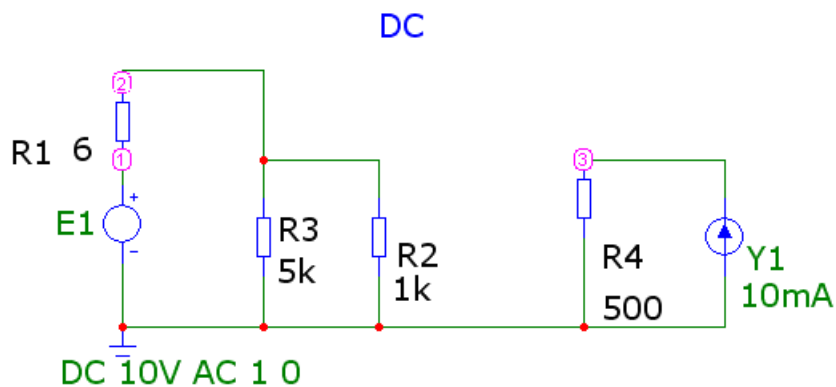


Рисунок 3. Упрощенная схема по постоянному току.

В результате схема существенно упростилась и разделилась на два независимых контура. В первый входят источник ЭДС E1, последовательно с ним резистор R1 и резисторы R3 и R2, включенные параллельно. Заметим, что сопротивление R1 составляет менее 1% от сопротивлений R3 и R2. Поэтому сила тока в этом контуре будет определяться резисторами R2 и R3 (в большей степени R2). Во второй контур входят источник тока Y1 и сопротивление R4. При протекании через R4 тока 10мА в узле 3 будет напряжения $V3 = R4 \cdot I(Y1) = 500 \text{ Ом} \cdot 10 \text{ мА} = 5 \text{ В}$.

В узле 2 будет напряжение около 10В. Через резистор R2 будет протекать ток около 10 мА, через резистор R3 - около 2 мА. Через R1 будет протекать суммарный ток в 12 мА и создавать падение напряжения $V(1,2) = 6 \text{ Ом} \cdot 12 \text{ мА} = 72 \text{ мВ}$. Примерно на эту величину напряжение в узле 1 будет меньше напряжения ЭДС E1 (10В).

Поскольку контуры независимы, то на постоянном токе не будет взаимовлияния источника ЭДС E1 и тока Y1 на элементы контуров.

Выполним в режиме Dinamic DC расчет напряжений в узлах схемы, токов через элементы и мощность элементов, создаваемых источником ЭДС (E1: 10 В) без источника тока (Y1: 0 мА), источником тока без источника ЭДС (E1: 0 В), и действием двух источников (E1: 10 В, Y1: 10 мА).

Результаты компьютерного расчета для упрощенной и полной схем приведены на рисунке 4.

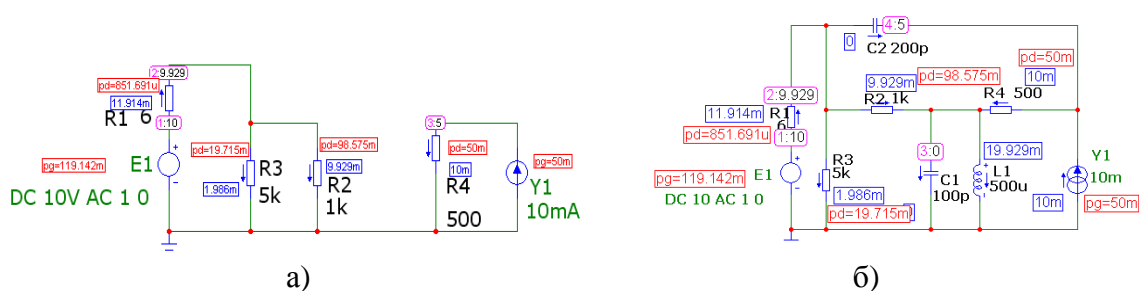


Рисунок 4. Расчет по постоянному току
а) упрощенная схема; б) полная схема.

В узле 3 (рис. 4а) напряжение 5 В совпадает с ожидаемым.

В узле 2 напряжение 9,929 В соответствует ожидаемому. Токи через резисторы R2 и R3 чуть меньше, что связано с падением напряжения на R1, которым при предварительной оценке работы схемы мы пренебрегли.

Источник ЭДС E1 выдает ток около 12 мА (мощность 119 мВт).

На источнике тока Y1 напряжение 5В (выделяемая мощность 50 мВт), которая полностью рассеивается в виде тепла на резисторе R4.

В первом контуре основная мощность источника ЭДС выделяется на резисторе R2 (98 мВт – 82 %), затем на R3 (19,7 мВт – 16 %). Через резистор R1 протекает ток 11,9 мА, выделяемая мощность менее 1 мВт.

2. Анализ в частотной области АС

Для четного варианта РЗ в схеме исключаем источник тока Y1. В качестве входного гармонического сигнала установим синусоидальный источник E1 с амплитудой 1 В.

Принципиальная схема цепи, анализируемой в частотной области, приведена на рисунке 4 (для удобства предварительного анализа ее вид преобразован).

Проведен предварительный анализ работы этой схемы в частотной области. В схеме можно выделить следующие цепочки. Источник гармонического сигнала E1 с небольшим последовательным сопротивлением R1. Резистор R3 является нагрузкой этого источника. Элементы L1 и C1 образуют параллельный колебательный контур с резонансной частотой

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot C1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{500 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^{-12}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{5 \cdot 10^{-14}}} \approx 712 \text{ кГц}$$

и характеристическим сопротивлением

$$\rho = \sqrt{\frac{L1}{C1}} = \sqrt{\frac{500 \cdot 10^{-6}}{100 \cdot 10^{-12}}} = \sqrt{5 \cdot 10^3} \approx 2,2 \text{ кОм}$$

Энергия от источника может попадать в контур по двум цепям, включенным параллельно. Через резистор R2 и через последовательную цепочку C2 R4 с постоянной времени

$$\tau = R4 \cdot C2 = 500 \cdot 200 \cdot 10^{-12} = 10^{-7} = 0,1 \text{ мкс} \text{ и граничной частотой } f_{cp} = \frac{1}{2\pi \cdot \tau} \approx 1,6 \text{ МГц}$$

Поскольку граничная частота более чем в 2 раза выше резонансной частоты контура, то на частоте ниже 1 МГц комплексное сопротивление цепочки C2 R4 будет иметь емкостной характер и сдвигать резонансную частоту к более низким частотам.

Напряжение на колебательном контуре (в узле 3) при изменении частоты сигнала должно изменяться следующим образом. На низких частотах (существенно меньше резонансной частоты) из-за малого сопротивления катушки индуктивности L1 напряжение близко к 0, аналогично и на высоких частотах – из-за малого сопротивления C1. Около резонансной частоты сопротивление параллельного контура большое, при этом напряжение на контуре будет максимальным. Из-за близких значений величин сопротивлений R2, R4 и характеристического сопротивления контура ρ добротность колебательного контура будет около единицы.

Напряжение в узле 2 из-за низкого сопротивления резистора R1 будет близко к напряжению источника во всем диапазоне частот.

Напряжение в узле 4 с ростом частоты будет возрастать от 0 до максимального значения на резонансной частоте контура. На более высоких частотах из-за снижения сопротивления C2 напряжение будет приближаться к напряжению источника.

Ток на низкой частоте от источника E1 протекает через резистор R1 и далее разветвляется на токи через резистор R3 и ток через резистор R2 в соотношении 1 : 5 соответственно, затем эти токи складываются и протекают через катушку индуктивности L1. На очень высоких частотах ток от источника увеличивается примерно в 2 раза, т.к. появляется параллельная проводимость через цепь C2 R4. После этой цепи токи суммируются и протекают через конденсатор C1 на общий провод (0 узел).

На средних частотах (около резонансной частоты) из-за увеличения сопротивления контура L1C1 токи по ветвям R2 и R4 будут уменьшаться.

Область частот, в которых происходят существенные изменения АЧХ, находится в диапазоне от 100 кГц до 10 МГц.

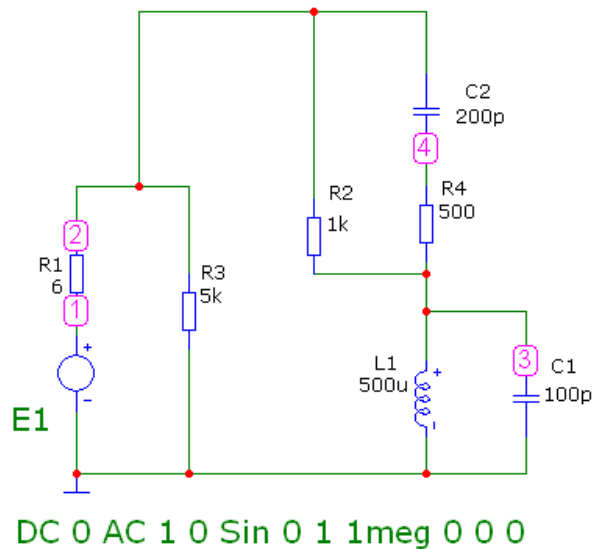


Рисунок 5. Схема для анализа в частотной области Вариант № 10.

Результаты компьютерного расчета в частотной области от 100 Гц до 1000 МГц напряжений в узлах схемы и токов через элементы приведены на рисунке 6.

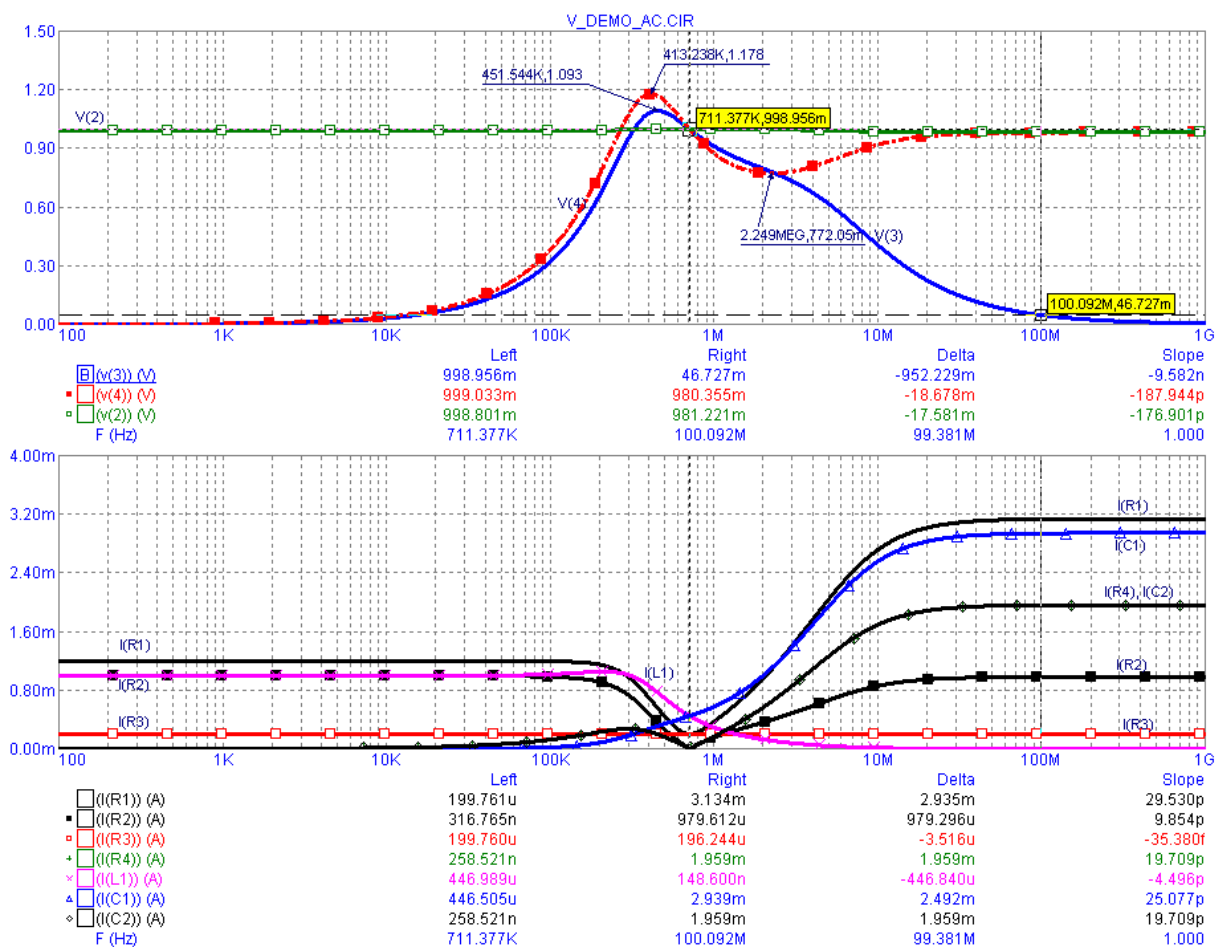


Рисунок 6. Результаты компьютерного моделирования в частотной области

На частоте 711 кГц наступает резонанс (токи через L1 и C1 равны) при этом напряжение во всех узлах схемы близко к напряжению источника сигнала 1В. Максимальное напряжение на контуре (V(3)=1.093 В) достигается на частоте 451 кГц. Резонансная

характеристика несимметрична (правый спад резонансной характеристики затянут), что объясняется увеличением тока через цепь C4 R4 с ростом частоты. Полоса пропускания (V(3)) составляет около 2 МГц. Ток от источника E1 в диапазоне частот увеличивается от 1.2 мА на низких частотах до 3,1 мА на высоких частотах. Ток через резистор R3 почти не меняется во всем диапазоне частот.

В целом вид рассчитанных характеристик соответствует ожидаемым. Максимальная мощность источника E1 составляет 3,1 мВт.

3. Анализ во временной области

Для моделирования работы схемы во временной области и получения переходных и импульсных характеристик в качестве входного воздействия выберем в качестве E1 источник импульсного напряжения прямоугольной формы Pulse. На рисунке 7 приведена схема для моделирования во временной области.

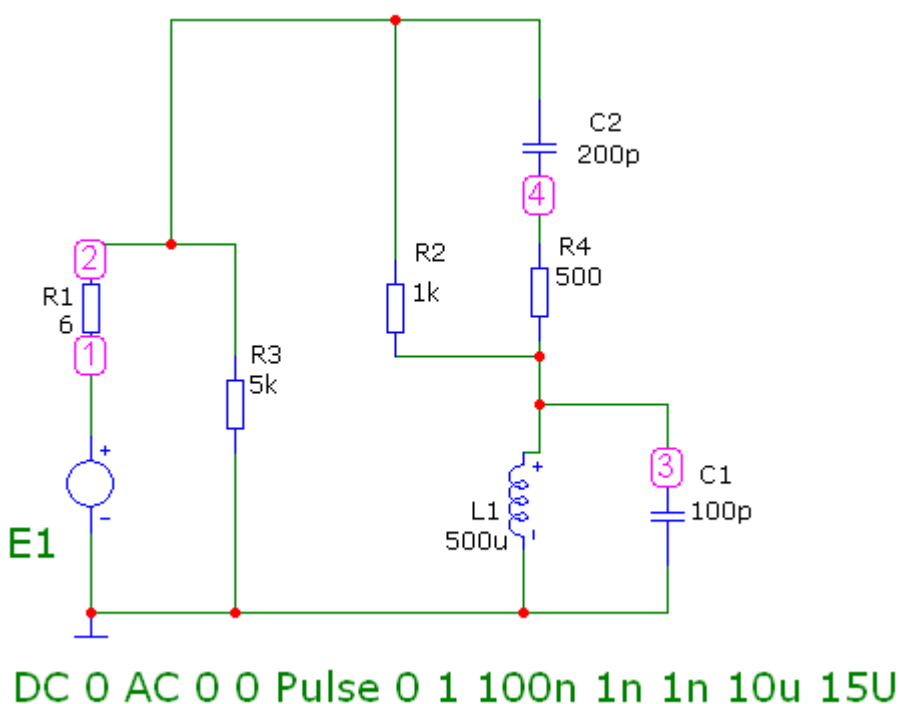


Рисунок 7. Схема для моделирования во временной области.

Чтобы определить необходимые параметры источника E1 и временные границы выполнения расчетов проведем предварительную оценку поведения схемы при воздействии на вход (узел 1) скачка напряжения. Из-за больших отличий сопротивления резисторов R1 от резисторов R3, R2 и R4 напряжение в узле 2 будет практически повторять входной скачек с чуть уменьшенной (примерно на 1%) амплитудой. Первоначальный ток, возникающий от перепада напряжения источника, будет заряжать конденсаторы C2 через резистор R4 с постоянной времени этой цепи 0,1 мкс, конденсатор C1 также начинает заряжаться этим током, а также током протекающим через резистор R2. По мере роста напряжения на C1 через катушку индуктивности L1 начнет протекать увеличивающийся ток, который будет разряжать C1, а затем и перезаряжать его. Напряжение на контуре станет отрицательным. Этому перезаряду будет препятствовать ток, протекающий через резистор R2. В результате возникнет затухающее колебание с периодом около 2 мкс. Из-за низкой добротности контура затухание произойдет за 1-2 периода.

В установившемся режиме напряжение на контуре (узел 3) стремится к нулю. В узле 4 напряжение также будет стремиться к нулю, а напряжение на конденсаторе C2 – к напряжению перепада (1 В). Ток будет протекать через резистор R1, а также R2, R3 и катушку индуктивности L1.

Переходные процессы продолжаются в течении нескольких микросекунд, наиболее быстрые процессы характеризуются постоянной времени 0,1 мкс.

Время импульса должно быть больше времени переходных процессов (выберем 10 мкс), задержка фронта 100 нс, длительность фронта и спада должна быть существенно меньше самых быстрых процессов в схеме (выберем 1 нс). Период повторения 15 мкс. Время расчета 3-10 мкс, минимальный шаг 0,1 нс.

Результаты расчетов напряжений в узлах и токов через элементы схемы приведены на рисунке 8.

Напряжение на контуре достигает максимального значения через 145 нс после воздействия фронта импульса и достигает величины 0,8 В. После чего колебания быстро затухают в течении 2,5 мкс. Напряжение на конденсаторе C2 после первоначального заряда до 213 мВ, по мере затухания колебаний, возрастает до напряжения источника. Напряжение в узле 2 повторяет входной импульс.

На нижнем графике показана мощность выделяемая, рассеиваемая и запасаемая элементами схемы при воздействии перепада напряжения. Из графиков видно, что пиковая мощность источника в начальный момент (3.09 мВт) в 2,5 раза превышает мощность в установившемся режиме (1.2 мВт), при котором она рассеивается в основном на резисторах R2 и R3.

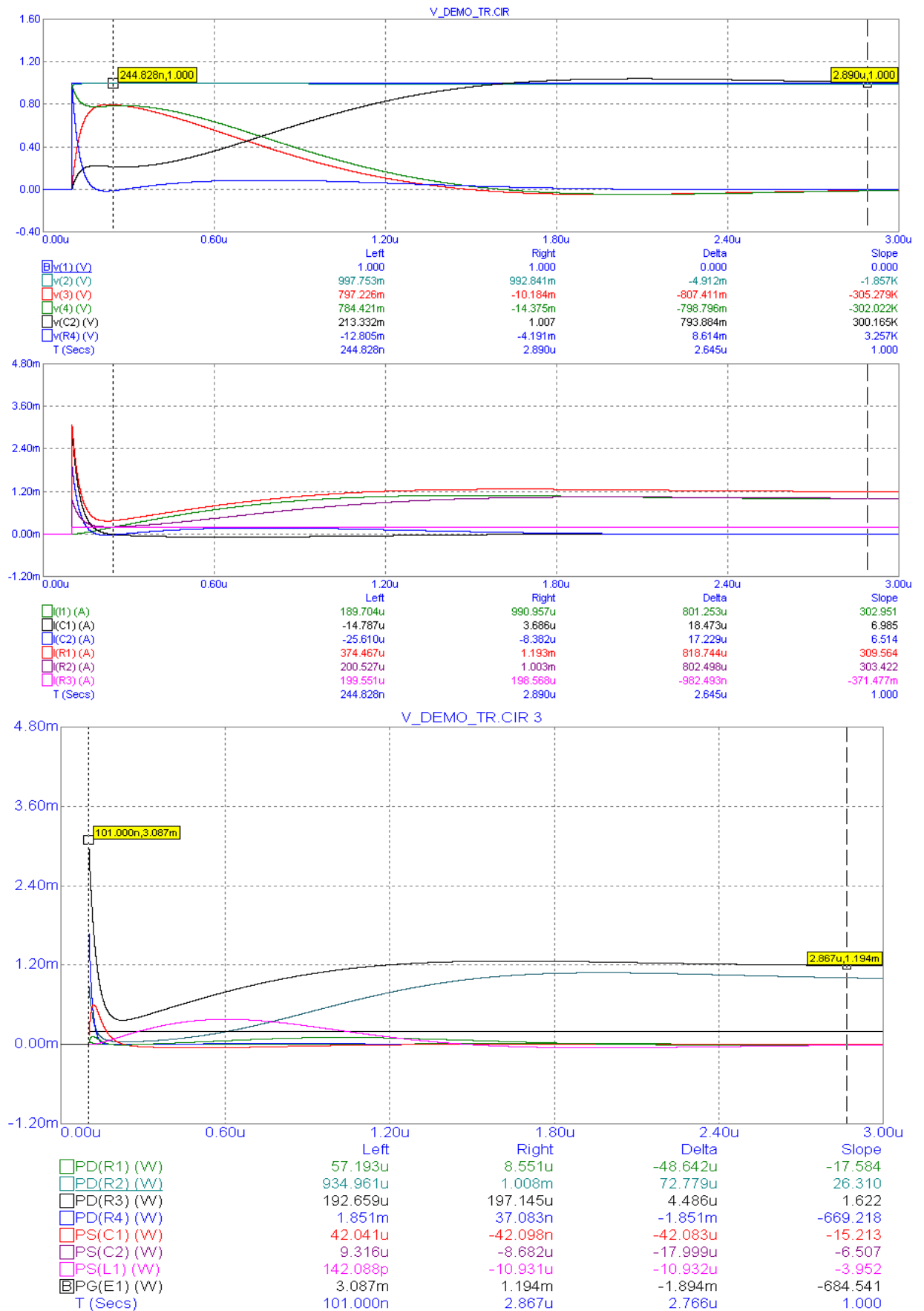


Рисунок 8. Переходные процессы в узлах и элементах схемы.

Для расчета импульсной характеристики по напряжению в узле 3 возьмем функцию производной от соответствующей переходной характеристики ($\text{del}(V(3))/\text{del}(T)$). Вид импульсной характеристики приведен на рисунке 9.

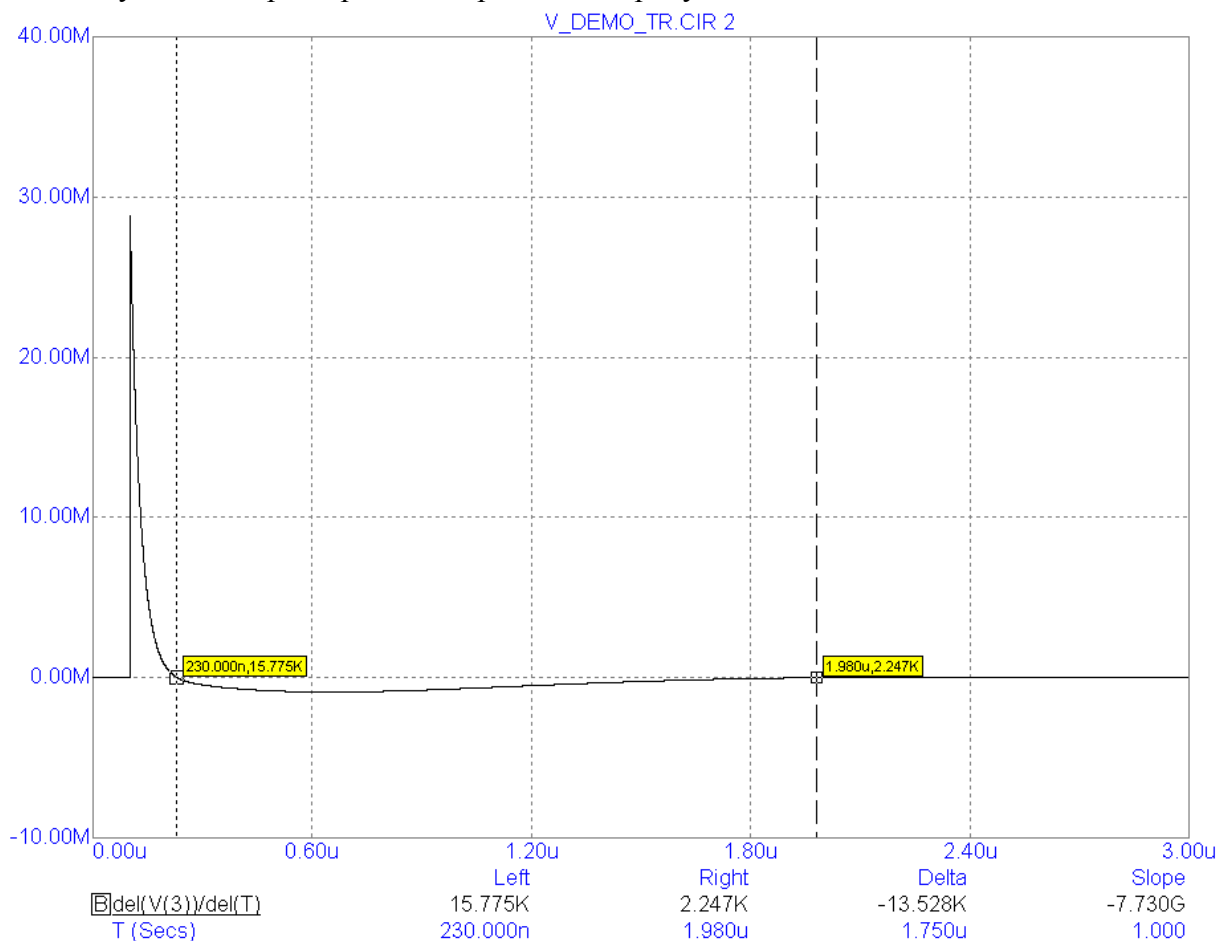


Рисунок 9. Импульсная характеристика в узле 3

Длительность переходных процессов в исследуемой цепи (в узле 3) составляет около 2 мкс, длительность начальной части импульсной характеристики 130 нс, что соответствует виду АЧХ (от 100 кГц до 10 МГц). В других узлах инерционность процессов очень мала, и потому их импульсные характеристики не приводятся.

Вид и параметры полученных характеристик соответствуют ожидаемым.

Выводы:

1. Проведены расчеты и анализ работы схемы на постоянном токе, а также в частотной и во временной области.
2. Форма АЧХ в узле 3, переходная и импульсная характеристики определяются параллельным колебательным контуром $L1C1$ с резонансной частотой около 700 кГц.
3. Мощность (ток) источника напряжения $E1$ на постоянном токе 119 мВт (12 мА), мощность (напряжение) источника постоянного тока $Y1$ 50 мВт (5 В). Мощность (ток) источника переменного напряжения $E1$ амплитудой в 1 В не превышает 3 мВт (3 мА).
4. Резисторы $R1$ и $R3$ не оказывают существенного влияния на работу схемы. Емкость конденсатора $C2$ уменьшает резонансную частоту и искажает АЧХ колебательного контура на частотах выше резонансной. Резисторы $R2$ и $R4$ влияют на добротность колебательного контура.