Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и

информатики»

(СибГУТИ)

**Лабораторная работа 3**

**по** дисциплине: Схемотехника телекоммуникационных устройств

Выполнил: Даваа Ш.И.

Группа: ИСТ-22

Вариант: 1

Проверил: Архипов С.Н.

## Новосибирск 2024

## “Исследование интегратора и дифференциатора на основе операционного усилителя ”

Цель работы

Исследовать свойства и характеристики схем интегратора и дифференциатора на основе операционного усилителя (ОУ).

Описание исследуемых схем

Интегратором называется устройство, выходное напряжение которого пропорционально интегралу входного сигнала (площади под кривой входного сигнала). Схема идеального интегратора приведена на рисунке 16.

Схема содержит входной резистор R1 и конденсатор С1, включенный в цепь обратной связи ОУ (А1).

Учитывая большой собственный коэффициент усиления ОУ и глубокую отрицательную обратную связь, дифференциальное напряжение между инвертирующим и неинвертирующем входами (Uд = Uвых / К) близко к нулю. Таким образом, напряжение на инвертирующем входе близко к напряжению нулевого потенциала, то есть является «виртуальной землей». В результате входной ток определяется только входным напряжением и резистором R1. Вследствие большого входного сопротивления ОУ практически весь входной ток протекает через конденсатор С1, заряжая его. При этом реализуется операция интегрирования.

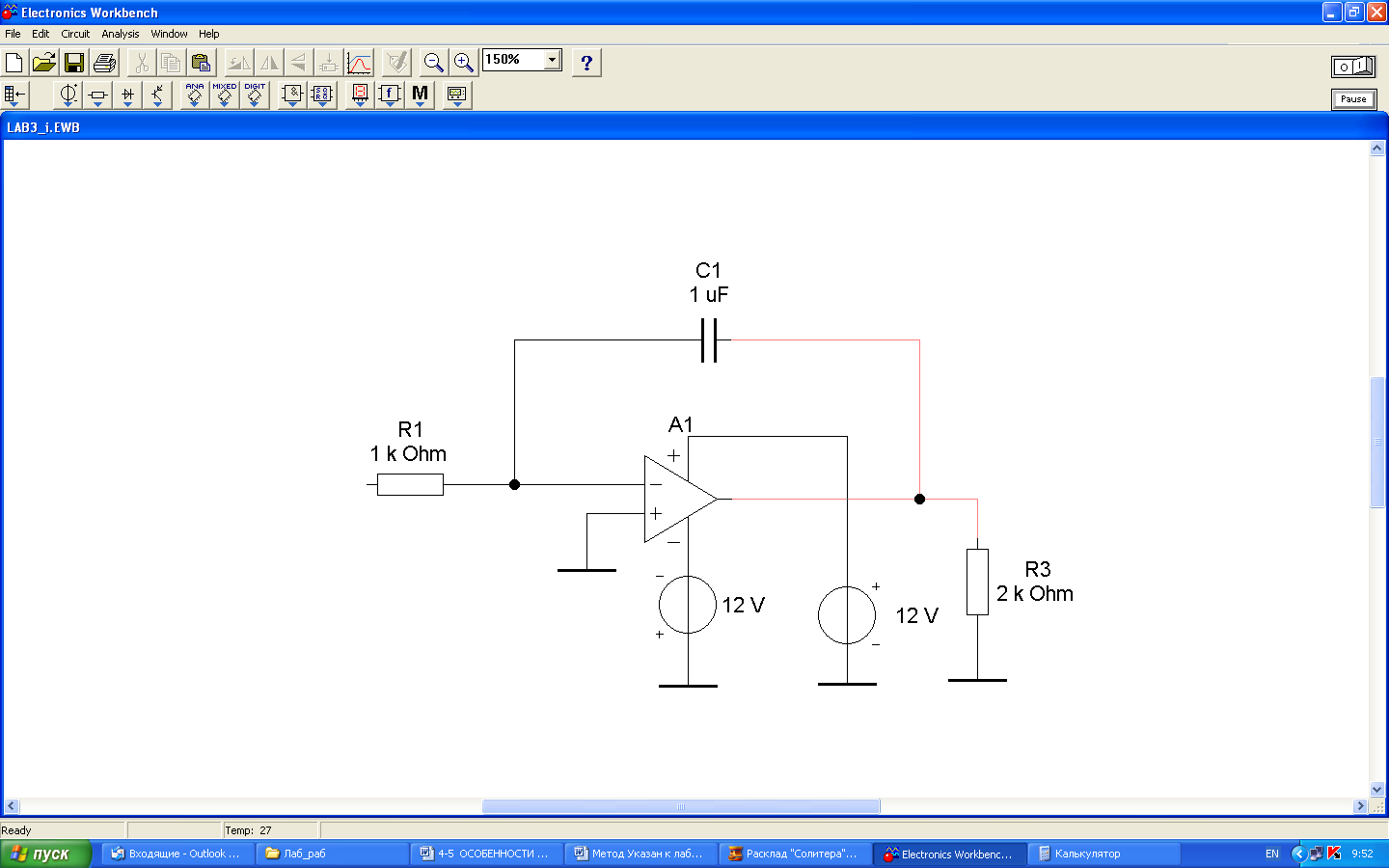


Рисунок 16 – Принципиальная схема идеального интегратора (в формате ElectronicsWorkbench)

Таким образом, для идеального интегратора

iR1 = iC1. (3.1)

При этом

 (3.2)

Подставляя (3.2) в (3.1) и выражая Uвых, получим выражение для выходного напряжения во временной области.

, (3.4)

где Т – интервал интегрирования. Величина T1 = R1⋅C1 называется постоянной времени интегратора, определяющей скорость заряда емкости.

В реальном интеграторе, построенном по схеме (рисунок 16) при интегрировании сигналов низких частот (в том числе сигналов постоянного тока) возникают ошибки интегрирования, связанные с зарядом емкости входными токами ОУ. В этом случае, даже при отсутствии входного сигнала конденсатор может медленно заряжаться (в пределе до напряжения питания). Чтобы уменьшить ошибки интегрирования, параллельно конденсатору подключают электронный ключ для периодического разряда емкости.

При интегрировании сигналов переменного тока параллельно конденсатору С1 подключается резистор обратной связи R2, как показано на рисунке 17, выполняющий следующие функции:

- ограничение коэффициента усиления на низких частотах;

- устранение ошибки интегрирования, связанной с зарядом емкости С1 входными токами ОУ;

- уменьшение влияния напряжения смещения ОУ.

Таким образом, на низких частотах (f<fраб) схема интегратора с резистором R2 работает как инвертирующий усилитель с постоянным коэффициентом усиления. На частотах f>fрабсхема выполняет функции интегратора, при этом АЧХ имеет наклон -20 дБ/дек (коэффициент передачи уменьшается на 20 дБ при каждом десятикратном изменении частоты).

Резистор R3 выступает в качестве нагрузки.

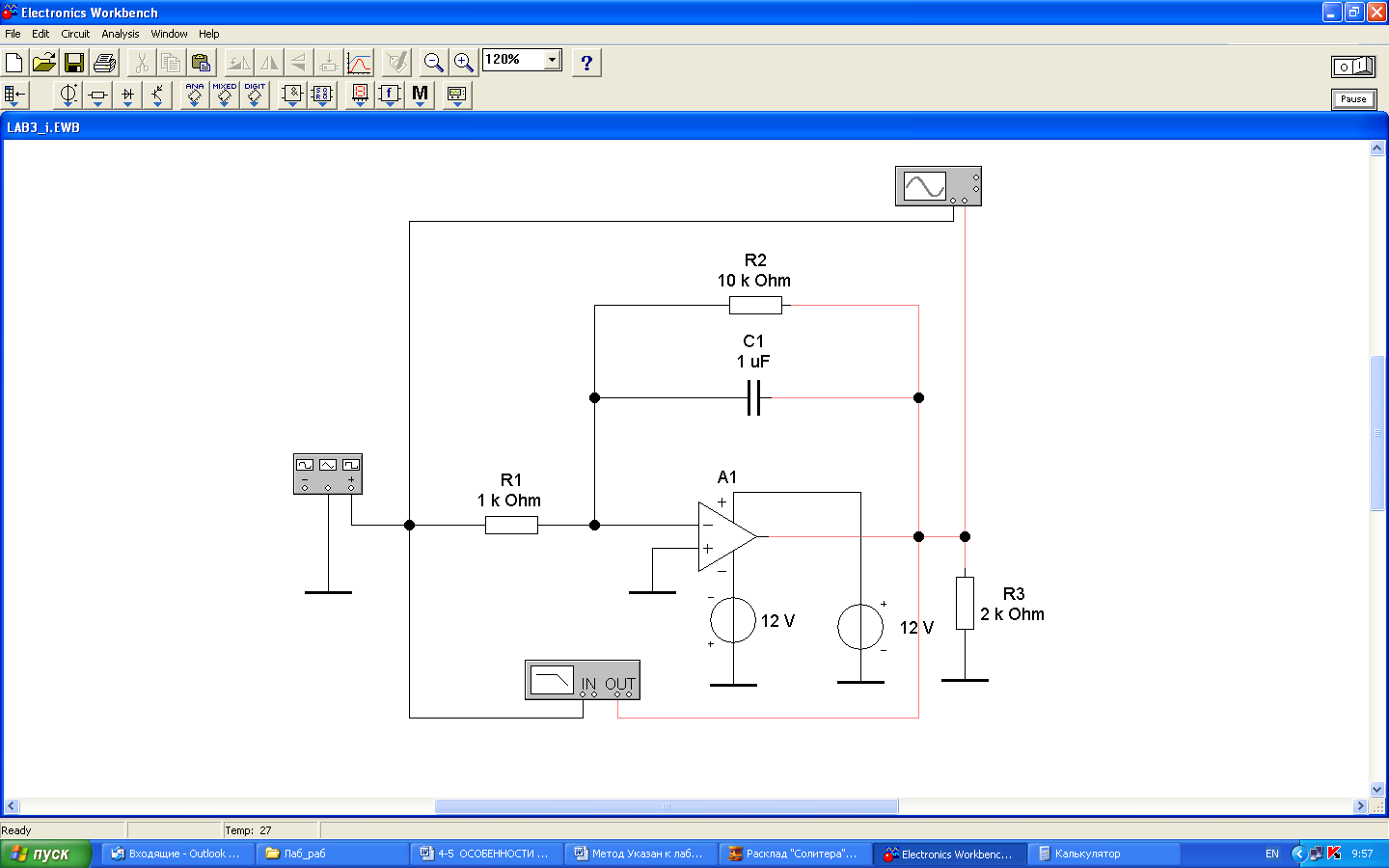


Рисунок 17 – Схема лабораторной установки для исследования интегратора (в формате ElectronicsWorkbench)

Дифференциатор – это устройство, выходное напряжение которого пропорционально производной входного сигнала (скорости изменения сигнала на входе). Схема лабораторной установки для исследования дифференциатора приведена на рисунке 18.

Дифференциатор состоит из резистора R1, конденсатора С1 и ОУ (А1). Изменения входного напряжения вызывают протекание тока через конденсатор С1. За счет большого внутреннего коэффициента усиления ОУ и глубокой обратной связи, его инвертирующий вход, как отмечалось выше, оказывается виртуальной землей, поэтому выходное напряжение ОУ оказывается пропорциональным скорости изменения входного напряжения.

Таким образом, для идеального дифференциатора

iC1 =iR1. (3.4)

При этом

 (3.5)

Подставляя (3.5) в (3.4) и выражая Uвых, получим выражение для выходного напряжения во временной области.

. (3.6)

АЧХ идеального дифференциатора имеет положительный наклон +20 дБ/дек (коэффициент передачи растет на 20дБ при каждом десятикратном изменении частоты). С учетом элементов коррекции реальный дифференциатор будет выполнять свои функции на частотах f<fраб. На более высоких частотах сопротивление емкости С1 будет много меньше R2 и схема будет работать как обычный инвертирующий усилитель.

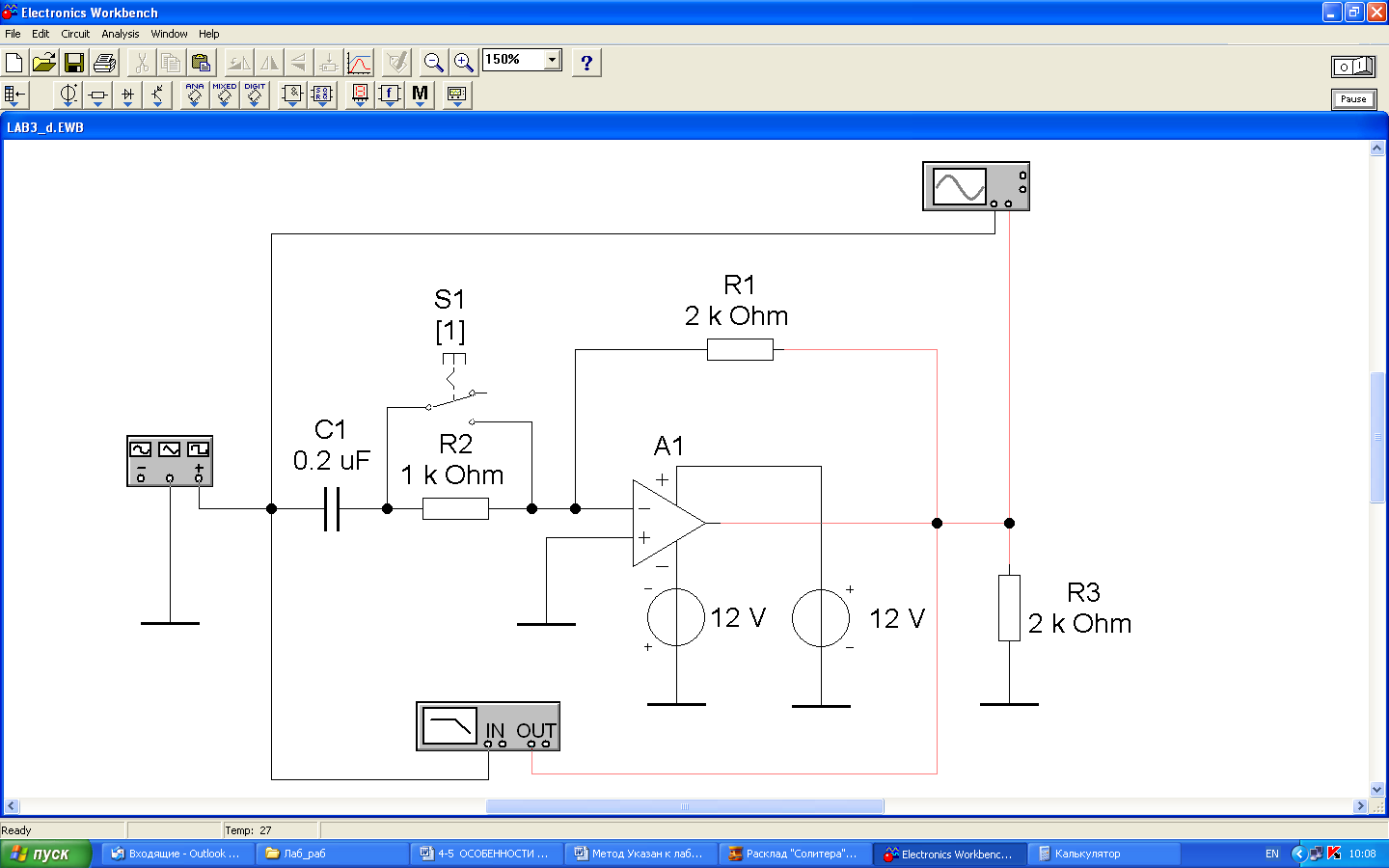


Рисунок 18 – Схема лабораторной установки для исследования дифференциатора (в формате ElectronicsWorkbench)

При построении схем реальных дифференциаторов возникают ряд практических проблем:

1. Возникающие в цепи обратной связи дополнительные фазовые сдвиги могут привести к нарушению устойчивости работы дифференциатора. Таким образом, переходная характеристика будет иметь колебательный характер, что приводит к ошибкам дифференцирования.
2. На высоких частотах возрастает входной ток от источника сигнала, что может привести к нарушению его работы.
3. Коэффициент передачи дифференциатора возрастает с ростом частоты, что приводит к увеличению высокочастотных помех.

Для улучшения работы дифференциатора в схему вводят корректирующие элементы (R2). При этом в передаточной характеристике появляется дополнительный полюс, при котором ограничивается коэффициент передачи на высоких частотах.

Таким образом, резистор R2 выполняет следующие функции:

1. Ограничивает величину входного тока на высоких частотах.
2. Повышает устойчивость работы дифференциатора.
3. Ограничивает коэффициент передачи на высоких частотах, что приводит к уменьшению собственных помех дифференциатора.

Резистор R2 подключается с помощью ключа S1. Резистор R3 выступает в качестве нагрузки.

# Задание к работе в лаборатории:

4.1. Ознакомиться с методикой проведения измерений с применением программы ElectronicsWorkbench.

4.2. Исследовать влияние сопротивления обратной связи R2 на амплитудно-частотную характеристику схемы интегратора. Определить рабочую частоту fраб для двух различных значений R2 (см. рис. 14).

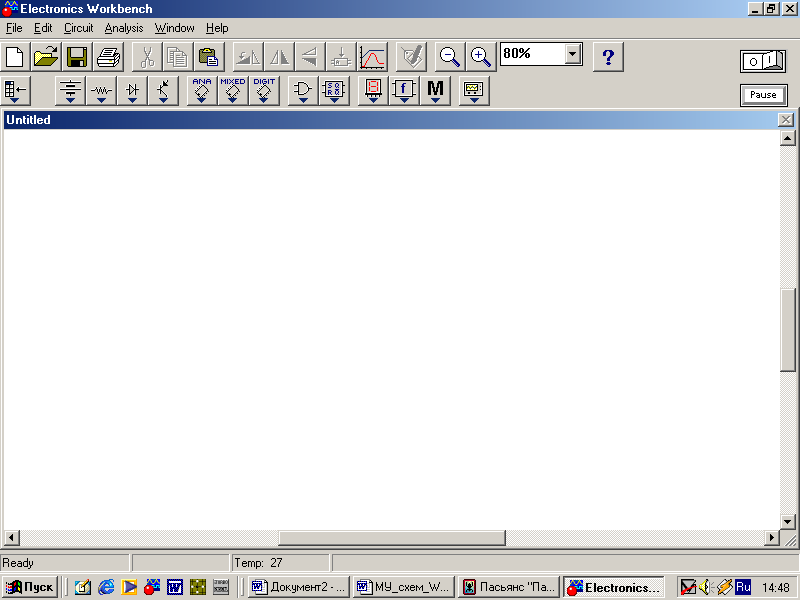
4.3. Исследовать влияние сопротивления обратной связи R2 на переходную характеристику схемы интегратора.

4.4. Исследовать амплитудно-частотные характеристики схемы дифференциатора с выключенным и включенным резистором R2. Определить рабочую частоту fраб обоих случаев (см. рис.15).

4.5. Исследовать переходные характеристики схемы дифференциатора с выключенным и включенным резистором R2.

Порядок выполнения работы:

5.1.Запустить программу ElectronicsWorkbench. После завершения загрузки управляющей оболочки необходимо открыть схему лабораторной установки, для чего выбрать в меню File команду Open, (либо щелкнуть левой кнопкой мыши на пиктограмме в линейке меню) а затем из предложенного списка выбрать файл LAB\_3i.ewbдля исследования схемы интегратора.



5.2. С помощью Боде-плоттера снять логарифмические амплитудно-частотные характеристики интегратора при значениях сопротивления R2 =10 кОм и 100 кОм. Определить fраб для обоих случаев. Для схемы интегратора рабочей считается частота, на которой коэффициент передачи уменьшается на 3 дБ по сравнению со значением на низких частотах (где коэффициент передачи стремится к постоянной величине).

5.3.С помощью осциллографа исследовать переходные характеристики схемы интегратора при значениях сопротивления R2 10 кОм и 100 кОм. Для этого необходимо подать на вход схемы прямоугольные импульсы с частотой 50 Гц и амплитудой 20 мВ. Зарисовать осциллограмму выходного напряжения для обоих случаев. Объяснить отличие формы сигнала от линейной при малом значении R2.

5.5. Закрыть программу LAB\_3i.ewb(без сохранения изменений). Выбрать в меню File команду Open; из предложенного списка выбрать файл LAB\_3d.ewb.

5.4. С помощью Боде-плоттера снять амплитудно-частотные характеристики схемы дифференциатора. Определить fраб для случаев, когда ключ S1 замкнут и разомкнут. Для схемы дифференциатора рабочей считается максимальная частота, на которой сохраняется линейно нарастающий характер ЛАЧХ.

5.5. С помощью осциллографа исследовать переходные характеристики схемы дифференциатора. Для этого необходимо подать на вход схемы прямоугольные импульсы с частотой 50 Гц и амплитудой 20 мВ. Зарисовать осциллограммы выходного напряжения при замкнутом и разомкнутом ключе S1. Объяснить колебательный характер переходной характеристики в схеме без коррекции.

Отчет:

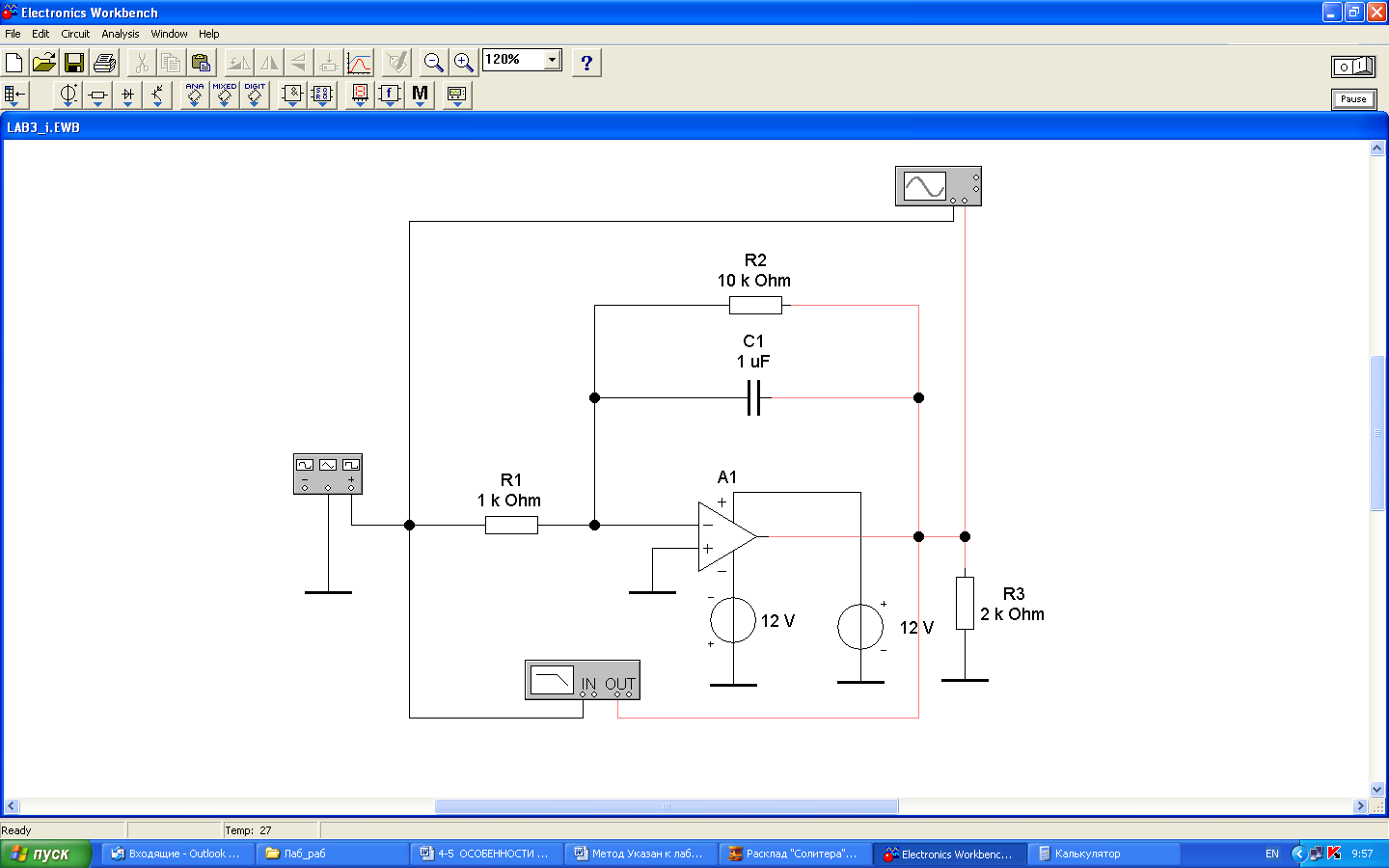


Рис 1. Схема исследования интегратора.

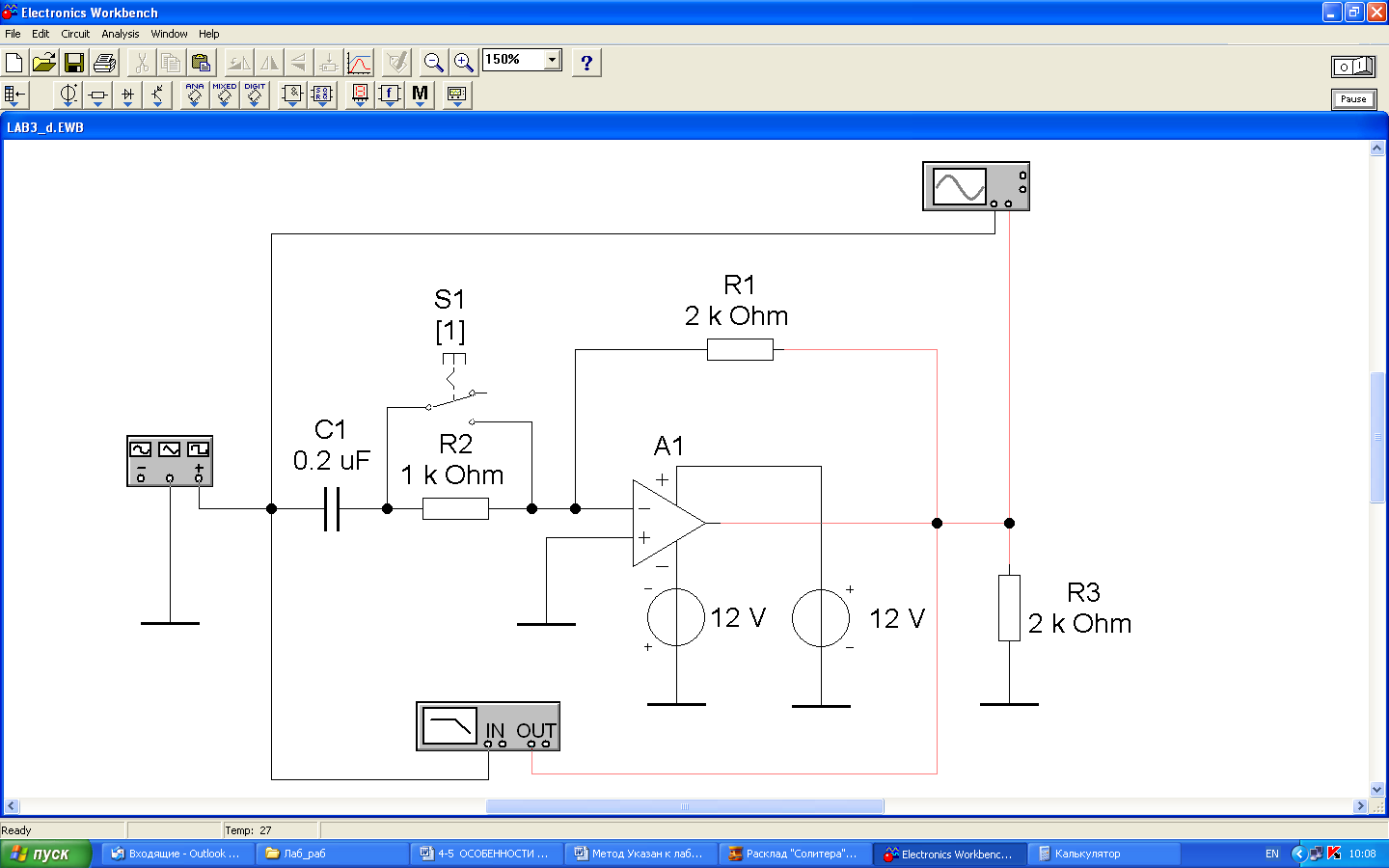


Рис. 2. Схема исследования дифференциатора

|  |  |
| --- | --- |
|  | fраб= 16Гц |
| Рис.3 АЧХ интегратора при R2=10кОм |  |
|  | fраб= 1.63Гц |
| Рис.4 АЧХ интегратора при R2=100кОм | |
|  |  |
| Рис.5 Переходные характеристики интегратора при R2=10кОм | |
|  |  |
| Рис.6 Переходные характеристики интегратора при R2=100кОм | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | fраб= 534 Гц |
| Рис.7 АЧХ дифференциатора при S1-выкл. | | |
|  | fраб= 10кГц | |
| Рис.8 АЧХ дифференциатора при S1-вкл. | | |
|  | | |
| Рис.9 Переходные характеристики дифференциатора при S1 – выкл. | | |
|  | | |
| Рис.10 Переходные характеристики дифференциатора при S1 – вкл | | |

Заключение о проделанной работе:

1. При увеличении значения резистора R2 в цепи обратной связи интегратора на ОУ, рабочая частота интегратора увеличивается. При уменьшении R2, его влияние увеличивается и схема начинает работать как фильтр нижних частот.

2. В схеме без коррекции (R2-замкнут)дифференциатор имеет большой коэффициент усиления на высоких частотах, что может приводить к самовозбуждению. Применение сопротивления R2 ограничивает усиление на ВЧ и обеспечивает динамическую устойчивость.

**Контрольные вопросы**

1. Назначение интегратора (дифференциатора).

2. Привести передаточную функцию интегратора (дифференциатора).

3. Типовая частотная характеристика идеального интегратора (дифференциатора).

4. Как изменится частотная характеристика интегратора (дифференциатора) с учетом корректирующих элементов?

5. Почему инвертирующий вход ОУ с обратной связью называют «виртуальной землей»?

6. Вывести выражения для выходного напряжения идеального интегратора (дифференциатора) во временной области

7. Переходная характеристика при подаче на вход скачкообразного или периодического импульсного сигнала (для схем интегратора и дифференциатора).

8. Методы уменьшения погрешности интегрирования для схемы на реальных ОУ.

9. Способы повышения устойчивости работы дифференциатора на реальном ОУ.

10. Перечислить свойства идеального операционного усилителя.