

## Лабораторная работа № 3

### Исследование интегратора и дифференциатора на основе операционного усилителя

#### 1. Цель работы

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

#### 2. Подготовка к работе

Изучить следующие вопросы курса:

- свойства и особенности построения схем интегратора и дифференциатора на ОУ;
- способы повышения устойчивости схемы дифференциатора на ОУ;
- функциональные схемы и характеристики операционных усилителей.

#### Литература

1. Травин Г.А. Основы схемотехники устройств радиосвязи, радиовещания и телевидения. Учебное пособие. Часть 2. – Новосибирск: СибГУТИ, 2002, стр. 129-169.
2. Конспект лекций.

#### 3 Описание исследуемых схем

**Интегратором** называется устройство, выходное напряжение которого пропорционально площади под кривой входного сигнала. Схема лабораторной установки для исследования интегратора приведена на рисунке 3.

Схема содержит входной резистор  $R1$  и конденсатор  $C1$ , включенный в цепь обратной связи ОУ ( $A1$ ).

Учитывая большой собственный коэффициент усиления ОУ и глубокую отрицательную обратную связь, дифференциальное напряжение между инвертирующим и неинвертирующим входами ( $U_d = U_{\text{вх}} / K$ ) 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 C1, заряжая его. При этом реализуется операция интегрирования.

Таким образом, для идеального интегратора

$$i_{R1} = i_{C1}. \quad (3.1)$$

При этом

$$i_{R1} = \frac{U_{\text{вх}}(t)}{R1}; \quad i_{C1} = -C1 \frac{dU_{\text{вых}}(t)}{dt} \quad (3.2)$$

Подставляя (3.2) в (3.1) и выражая  $U_{\text{вых}}$ , получим выражение для выходного напряжения во временной области.

$$U_{\text{вых}}(t) = -\frac{1}{R1 \cdot C1} \cdot \int_0^T U_{\text{вх}}(t) dt, \quad (3.3)$$

где  $T$  – интервал интегрирования. Величина  $T_1 = R1 \times C1$  называется постоянной времени интегратора, определяющей скорость заряда емкости.

В реальном интеграторе 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 C1 подключается резистор обратной связи R2, как показано на рис. 3, выполняющий следующие функции:

- ограничение коэффициента усиления на низких частотах;
- устранение ошибки интегрирования, связанной с зарядом емкости C1 входными токами ОУ;
- уменьшение влияния напряжения смещения ОУ.

Таким образом, на низких частотах ( $f < f_{\text{раб}}$ ) схема интегратора с резистором R2 работает как инвертирующий усилитель с постоянным коэффициентом усиления. На частотах  $f > f_{\text{раб}}$  схема 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.

**Дифференциатор** – это устройство, выходное напряжение которого пропорционально скорости изменения сигнала на входе. Схема лабораторной установки для исследования дифференциатора приведена на рисунке 15.

Дифференциатор состоит из резистора R1, конденсатора C1 и ОУ (A1). Изменения входного напряжения вызывают протекание тока через конденсатор C1. 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

$$i_{C1} = i_{R1}. \quad (3.4)$$

При этом

$$i_{C1} = C \cdot \frac{dU_{ex}(t)}{dt}; \quad i_{R1} = -\frac{U_{вых}(t)}{R1} \quad (3.5)$$

Подставляя (3.5) в (3.4) и выражая  $U_{вых}$ , получим выражение для выходного напряжения во временной области.

$$U_{вых}(t) = C1 \cdot R1 \cdot \frac{dU_{ex}}{dt} \quad (3.6)$$

АЧХ идеального дифференциатора имеет положительный наклон +20 дБ/дек. С учетом элементов коррекции реальный дифференциатор будет выполнять свои функции на частотах  $f < f_{раб}$ . На более высоких частотах сопротивление емкости  $C1$  будет много меньше  $R2$  и схема будет работать как обычный инвертирующий усилитель.

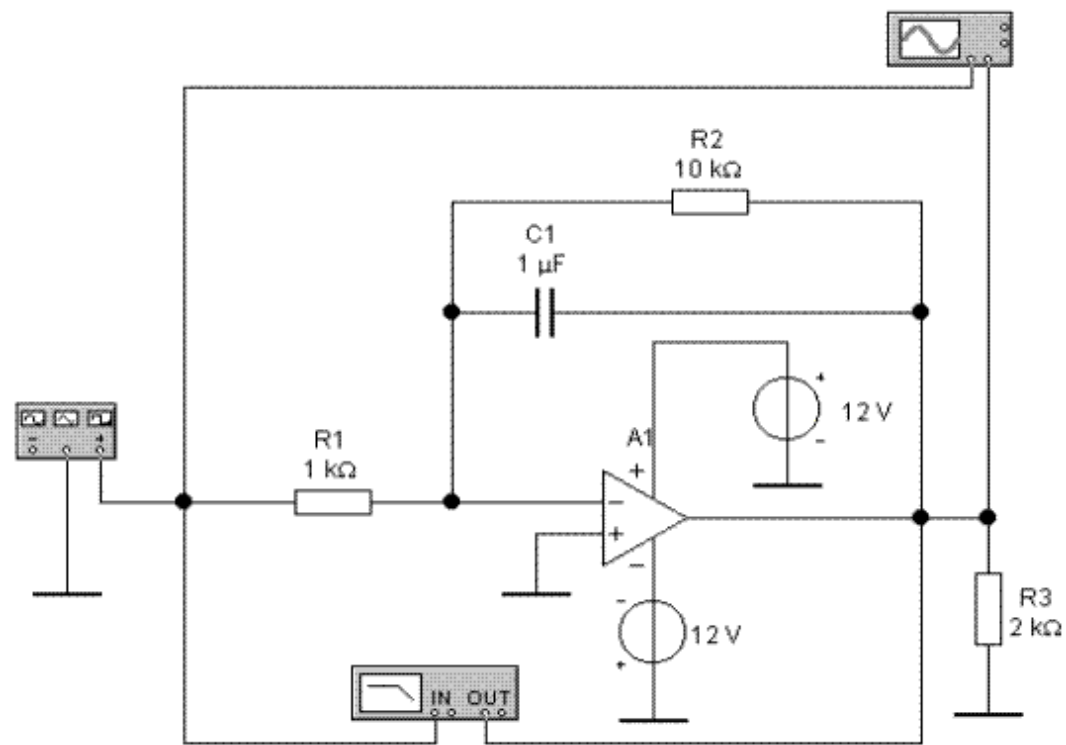


Рисунок 3 – Принципиальная схема исследования интегратора

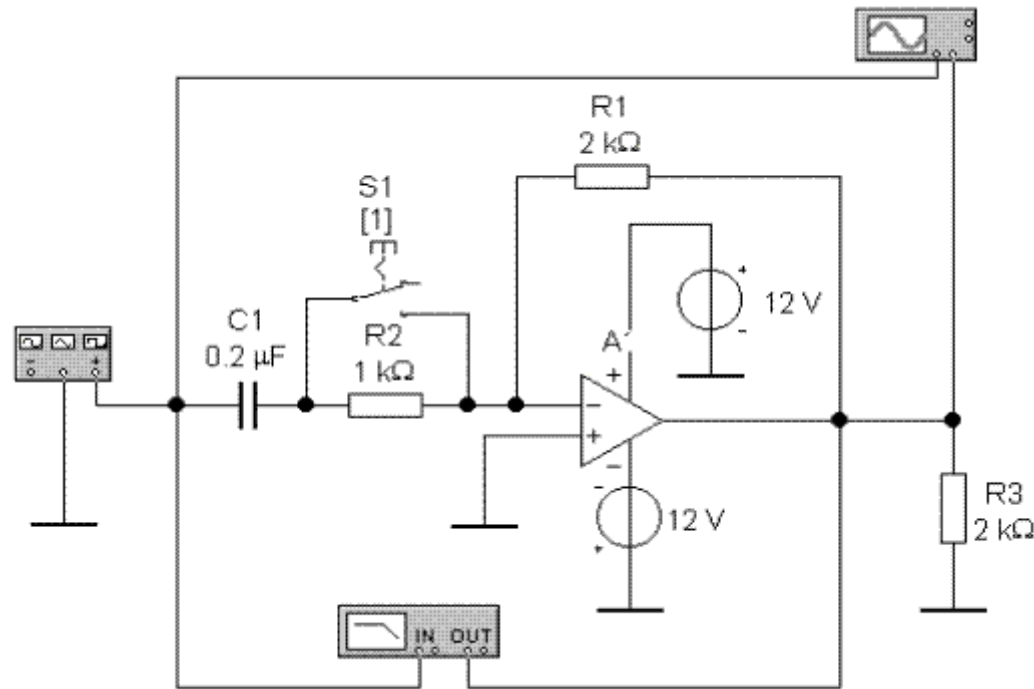


Рисунок 4 – Схема измерения дифференциатора

При построении схем реальных дифференциаторов (рис. 4) 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 ( $R_2$ ). При этом в передаточной характеристике появляется дополнительный полюс, при котором ограничивается коэффициент передачи на высоких частотах.

Таким образом, резистор  $R_2$  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  $R_2$  подключается с помощью ключа  $S_1$ . Резистор  $R_3$  выступает в качестве нагрузки.

#### **4 Задание**

4.1 Исследование влияния сопротивления обратной связи  $R_2$  на амплитудно-частотную характеристику схемы интегратора.

4.2 Исследование влияния сопротивления обратной связи  $R_2$  на переходную характеристику схемы интегратора.

4.3 Исследование амплитудно-частотных характеристик схемы дифференциатора с выключенным и включенным резистором  $R_2$ .

4.4 Исследование переходных характеристик схемы дифференциатора с выключенным и включенным резистором  $R_2$ .

#### **5 Содержание отчета**

5.1 Принципиальные схемы интегратора и дифференциатора на ОУ.

5.2 Логарифмические амплитудно-частотные характеристики и значения рабочих частот для различных вариантов схем.

5.3 Переходные характеристики интегратора и дифференциатора для различных вариантов схем.

5.3 Выводы по проделанной работе.