

## *Лабораторная работа*

### **Характеристики операционного усилителя**

#### **Цель**

1. Измерение входных токов операционного усилителя (ОУ).
2. Оценка величин среднего входного тока и разности входных токов ОУ.
3. Измерение напряжения смещения ОУ.
4. Измерение дифференциального входного сопротивления ОУ.
5. Вычисление выходного сопротивления ОУ.
6. Измерение скорости нарастания выходного напряжения ОУ.

#### **Приборы и элементы**

Вольтметр

Амперметр

Осциллограф

Функциональный генератор

Источник напряжения

ОУ LM741

Резисторы

#### **Краткие сведения из теории**

Интегральный операционный усилитель характеризуется рядом параметров, описывающих этот компонент с точки зрения качества выполнения им своих функций. Среди параметров, обычно приводимых в справочных данных, основными являются следующие.

Средний входной ток  $I_{вх}$ . В отсутствие сигнала на входах ОУ через его входные выводы протекают токи, обусловленные базовыми токами входных биполярных транзисторов или токами утечки затворов для ОУ с полевыми транзисторами на входе. Входные токи, проходя через внутреннее сопротивление источника входного сигнала, создают падения напряжения на входе ОУ, которые могут вызвать появление напряжения

на выходе в отсутствие сигнала на входе: Компенсация этого падения напряжения затруднена тем, что токи входов реальных ОУ могут отличаться друг от друга на 10...20%.

Входные токи ОУ можно оценить по среднему входному току, вычисляемому как среднее арифметическое токов инвертирующего и неинвертирующего входов:

$$I_{\text{вх}} = \frac{I_1 + I_2}{2},$$

где  $I_1$  и  $I_2$  соответственно токи инвертирующего и неинвертирующего входов.

Разность входных токов  $\Delta I_{\text{вх}}$  определяется выражением:

$$\Delta I_{\text{вх}} = I_1 - I_2.$$

В справочниках указывают модуль этой величины.

Схема для измерения входных токов представлена на *рис.2.1*.

Коэффициент усиления напряжения на постоянном токе  $K_0$  - показатель ОУ, определяющий насколько хорошо выполняет ОУ основную функцию - усиление входных сигналов. У идеального усилителя коэффициент усиления должен стремиться к бесконечности.

Коэффициент усиления напряжения схемы усилителя на ОУ (*рис.2.2*) вычисляется по формуле:

$$K_y = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Напряжение смещения  $U_{\text{см}}$  - значение напряжения, которое необходимо подать на вход ОУ, чтобы напряжение на его выходе было равно нулю.

Напряжение смещения  $U_{\text{см}}$  можно вычислить, зная выходное напряжение  $\Delta U_{\text{вых}}$  при отсутствии напряжения на входе и коэффициент усиления:

$$U_{\text{см}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{K_y}.$$

Входное сопротивление  $R_{вх}$ . Различают две составляющие входного сопротивления: дифференциальное входное сопротивление и входное сопротивление по синфазному сигналу (сопротивление утечки между каждым входом и "землей"). Входное дифференциальное сопротивление для биполярных ОУ находится обычно в пределах 10 кОм...10 МОм. Входное сопротивление по синфазному сигналу определяется как отношение приращения входного синфазного напряжения  $\Delta U_{вх.сф}$  к вызванному приращению среднего входного тока  $\Delta I_{вх.ср}$ :

$$R_{вх.сф.} = \frac{\Delta U_{вх.сф.}}{\Delta I_{вх.ср}}$$

Дифференциальное входное сопротивление наблюдается между входами ОУ и может быть определено по формуле:

$$R_{вх.диф} = \frac{\Delta U_{вх.}}{\Delta I_{вх.}}$$

где  $\Delta U_{вх.}$  – изменение напряжения между входами ОУ,  $\Delta I_{вх.}$  – изменение входного тока.

Выходное сопротивление  $R_{вых}$  в интегральных ОУ составляет 20...2000 Ом. Выходное сопротивление уменьшает амплитуду выходного сигнала, особенно при работе усилителя, на сравнимое с ним сопротивление нагрузки. Схема для измерения дифференциального входного сопротивления ОУ и выходного сопротивления приведена на *рис.2.3*.

Скорость нарастания выходного напряжения  $V_{УВЫХ.}$  равна отношению изменения выходного напряжения ОУ ко времени его нарастания при подаче на вход скачка напряжения. Время нарастания определяется интервалом времени, в течении которого выходное напряжение ОУ изменяется от 10% до 90% от своих установившихся значений.

$$V_{УВЫХ.} = \frac{U_{ВЫХ.}}{t_{уст}}$$

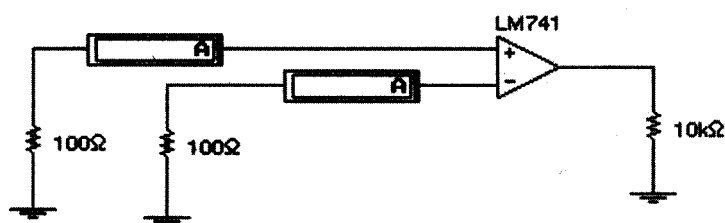
Схема для измерения скорости нарастания выходного напряжения

показана на *рис.2.4*. Измерения проводятся при подаче импульса в виде ступени на вход ОУ, охваченного отрицательной обратной связью (ООС) с общим коэффициентом усиления от 1 до 10.

### Порядок проведения экспериментов

#### Эксперимент 1. Измерение входных токов.

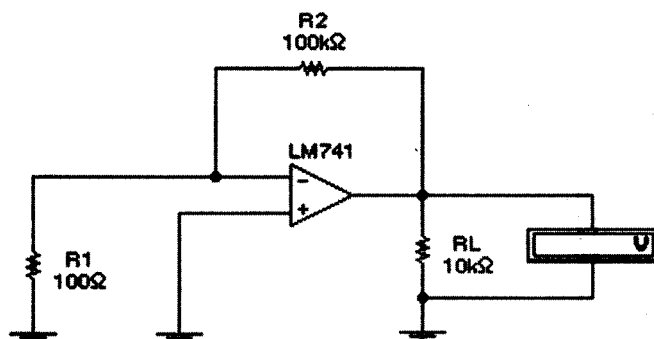
Соберите схему, изображенную на *рис.2.1*. Включите схему. Измерьте входные токи ОУ. По результатам измерений вычислите средний входной ток  $I_{ВХ}$  и разность  $\Delta I_{ВХ}$  входных токов ОУ. Результаты занесите в раздел "Результаты экспериментов".



*Рис.2.1*

#### Эксперимент 2. Измерение напряжения смещения.

Соберите схему, изображенную на *рис.2.2*. Включите схему. Запишите показания вольтметра в раздел "Результаты экспериментов". По результатам измерения, вычислите напряжение смещения  $U_{см}$ , используя коэффициент усиления схемы на ОУ. Результаты вычислений также занесите в раздел "Результаты экспериментов".



*Рис. 2.2*

### Эксперимент 3. Измерение входного и выходного сопротивлений.

а). Измерьте входной ток  $I_{вх}$  и выходное напряжение  $U_{вых}$  схемы, изображенную на *рис.2.3*, запишите показания в раздел "Результаты экспериментов". Переключите ключ клавишей [Space]. Измерьте входной ток после переключения ключа.

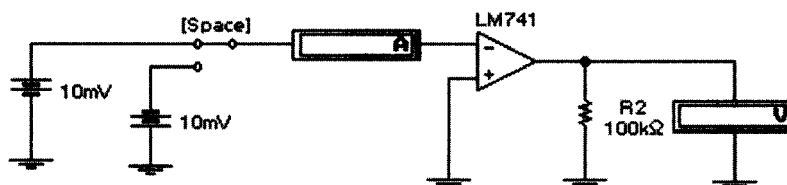


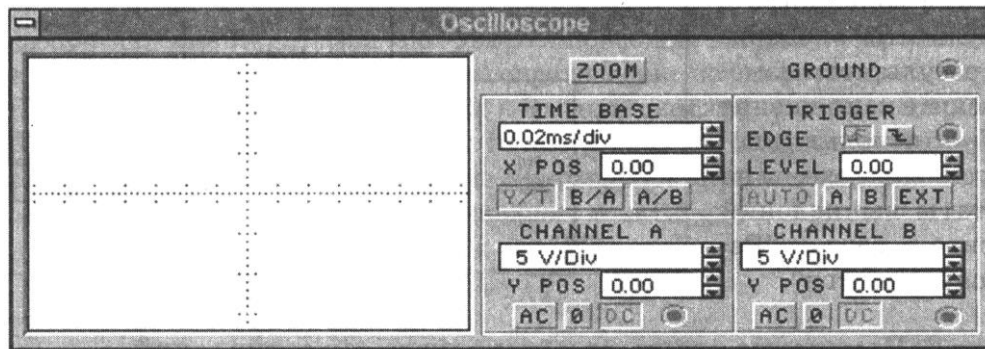
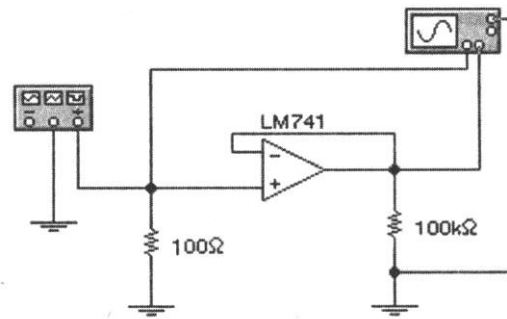
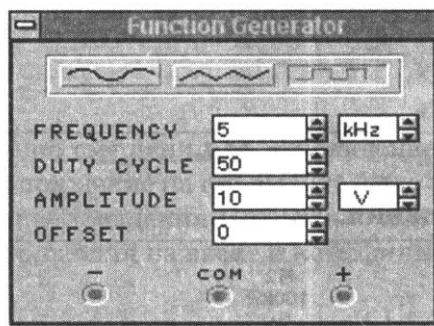
Рис. 2.3

Рассчитайте изменения входного напряжения и тока. По полученным результатам вычислите дифференциальное входное сопротивление ОУ. Результаты занесите в раздел "Результаты экспериментов".

б). Уменьшайте сопротивление нагрузочного резистора  $R_L$  до тех пор, пока выходное напряжение  $U_{вых}$  не будет примерно равно половине значения полученного в п. а). Запишите значение сопротивления  $R_L$ , которое в этом случае приблизительно равно выходному сопротивлению  $U_{вых}$  ОУ, в раздел "Результаты экспериментов".

### Эксперимент 4. Измерение времени нарастания выходного напряжения ОУ.

Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения в раздел "Результаты экспериментов" схемы, изображенной на *рис.2.4*. По осциллограмме определите величину выходного напряжения, время его установления и вычислите скорость нарастания выходного напряжения в В/мкс. Запишите результат в раздел "Результаты экспериментов".



*Puc.2.4*

## Результаты экспериментов

### Эксперимент 1. Измерение входных токов.

	<i>Измерение</i>
Ток ( $I_1$ ) неинвертирующего вход	_____
	<i>Измерение</i>
Ток ( $I_2$ ) инвертирующего входа	_____
	<i>Расчет по результатам измерений</i>
Средний входной ток $I_{вх}$	_____
	<i>Расчет по результатам измерений</i>
Разность входных токов ОУ $\Delta I_{вх}$	_____

### Эксперимент 2. Измерение напряжения смещения.

	<i>Измерение</i>
Выходное напряжение усилителя $U_{вых}$	_____
	<i>Расчет</i>
Коэффициент усиления схемы	_____
	<i>Расчет по результатам измерений</i>
Напряжение смещения $U_{см}$	_____

### Эксперимент 3. Измерение входного и выходного сопротивлений.

<i>a).</i>	<i>Измерение</i>
Входной ток $I_{вх}$ , мкА до переключения ключа	_____
	<i>Измерение</i>
Входной ток $I_{вх}$ , мкА после переключения ключа	_____
	<i>Расчет по результатам измерений</i>
Изменение входного напряжения, мВ	_____

*Расчет по результатам измерений*

Изменение входного тока, мкА \_\_\_\_\_

*Расчет по результатам измерений*

Входное дифференциальное сопротивление ОУ, Ом \_\_\_\_\_

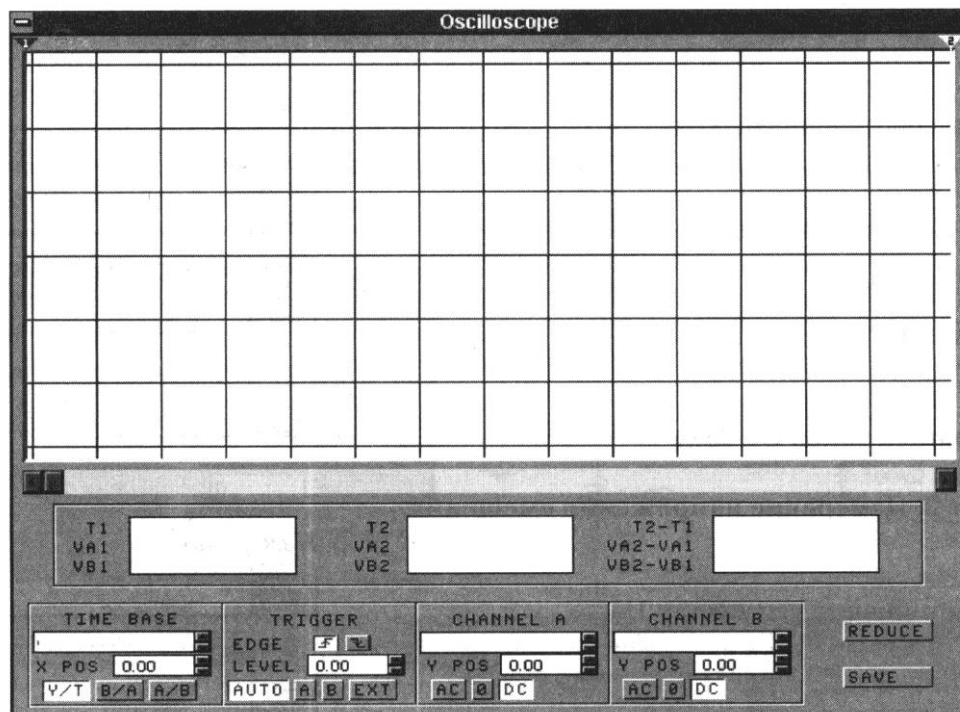
*Измерение*

Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ , В \_\_\_\_\_

*Измерение*

Выходное сопротивление ОУ  $R_{\text{вых}}$  \_\_\_\_\_

**Эксперимент 4. Измерение времени нарастания выходного напряжения ОУ.**



*Измерение*

Выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  \_\_\_\_\_

*Измерение*

Время установления выходного напряжения \_\_\_\_\_

*Расчет по результатам измерений*

Скорость нарастания выходного напряжения ОУ  $V_{\text{увых}}$  \_\_\_\_\_



## Вопросы

1. Отличается ли измеренное значение среднего входного тока  $I_{вх}$  от его номинального значения для ОУ LM741, взятого из паспортных данных?
2. Существенно ли отличие разности входных токов от номинального значения для ОУ LM741?
3. Совпадают ли измеренное значение напряжения смещения с номинальным значением для ОУ LM741?
4. Сравните величину измеренного входного сопротивления с паспортными данными на ОУ LM741.
5. Сравните величину измеренного выходного сопротивления с паспортными данными на ОУ LM741.
6. Сравните между собой величины входного и выходного сопротивлений ОУ. Какова схема замещения ОУ как элемента электрической цепи?
7. Отличается ли экспериментальное значение скорости нарастания выходного напряжения от номинального значения?
8. В чем причина возникновения входных токов ОУ и разности входных токов? К чему они приводят при работе схем на ОУ?

Примечание. Паспортные данные ОУ LM741:

- средний входной ток ОУ 0,08 мкА;
- разность входных токов ОУ 0,02 мкА;
- напряжение смещения ОУ 1 мВ;
- входное сопротивление ОУ 2 Мом;
- выходное сопротивление ОУ 75 Ом;
- скорость нарастания выходного напряжения ОУ 0,5 В/мкс.