**Лабораторная работа 15. Исследование интегральных микросхем** (Операционный усилитель)

**1 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.

**2 Теоретический материал**

Операционный усилитель – это усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления, имеющим дифференциальный вход и один общий выход. Являясь, по существу, идеальным усилительным элементом, ОУ составляет основу всей аналоговой электроники, что стало возможным в результате достижений современной микроэлектроники, позволившей реализовать достаточно сложную структуру ОУ в интегральном исполнении на одном кристалле и наладить массовый выпуск подобных устройств. Все это позволяет рассматривать ОУ в качестве простейшего элемента электронных схем подобно диоду, транзистору и т.п.

ОУ – это аналоговая интегральная микросхема, снабженная пятью выводами. Два вывода ОУ используются в качестве входных, один - является выходным и еще два вывода используются для подключения источника питания. Условно-графические изображения ОУ приведены на рисунке 8.1.



Рисунок 8.1 - Условно-графические изображения ОУ в электронных схемах:

а) - в виде интегральной схемы, б) - упрощенное обозначение

С учетом фазовых соотношений входного и выходного сигналов один из входных выводов *(вход 1) называется неинвертирущим*, а другой (*вход 2) - инвертирующим*. При подаче сигнала на неинвертирующий вход приращение выходного сигнала совпадает по знаку (фазе) с приращением входного сигнала. Если же сигнал подан на инвертирующий вход, то приращение выходного сигнала имеет обратный знак (противоположный по фазе) по сравнению с приращением входного сигнала. Инвертирующий вход часто используют для введения в операционный усилитель внешних отрицательных обратных связей.

Выходное напряжение Uвыхсвязано с входными напряжениями Uвх1и Uвх2 соотношением:

Uвых = Kоу (Uвх1 – Uвх2),

где КУО– собственный коэффициент усиления ОУ по напряжению.

Из приведенного выражения следует, что *ОУ воспринимает только разность входных напряжений, называемую дифференциальным входным сигналом,* и нечувствителен к любой составляющей входного напряжения, воздействующей одновременно на два его входа (синфазный входной сигнал). Если входные напряжения  и  совпадают по фазе и одинаковы по амплитуде (такие сигналы называют синфазными)

Коэффициент усиления *КУО* в ОУ должен стремиться к бесконечности, однако на практике он ограничивается значением 105 – 106  или 100-120 дБ.

В качестве источника питания ОУ используют двухполярный источник напряжения *(+ЕП, - Е*П). Средний вывод этого источника является общей шиной для входных и выходных сигналов и в большинстве случаев не подключается к ОУ. В реальных ОУ напряжение питания лежит в диапазоне 3-18 В. Использование источника питания со средней точкой предполагает возможность изменения не только уровня, но и полярности как входного, так и выходного напряжений ОУ.

Реальные ОУ строятся на основе двух- или трехкаскадных усилителей постоянного тока. Структурная схема трехкаскадного ОУ приведена на рисунке 8.2. Она включает в себя входной, согласующий и выходной каскады усиления.



Рисунок 8.2 – Структурная схема трехкаскадного ОУ

Основу ОУ составляет дифференциальный каскад, применяемый в качестве входного каскада усилителя. Выходным каскадом ОУ обычно служит эмиттерный повторитель, обеспечивающий требуемую нагрузочную способность всей схемы, или усилитель мощности класса АВ. Поскольку коэффициент усиления по напряжению эмиттерного повторителя близок к единице, необходимое значение *КОУ* операционного усилителя достигается с помощью дополнительных усилительных каскадов, включаемых между дифференциальным каскадом и эмиттерным повторителем. Согласующий каскад служит для согласования выходного сигнала дифференциального усилителя с выходным каскадом ОУ, обеспечивая необходимое усиление сигнала по току и напряжению, а также согласование фаз сигналов.

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

***Средний входной ток Iвх.*** 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 отсутствии 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:

IВХ=(I1 +I2)/2

где *I1* и *I2* соответственно токи инвертирующего и неинвертирующего входов.

Разность входных токов определяется выражением:

*∆IВХ = I1 - I2*

В справочниках указывают модуль этой величины. Схема для измерения входных токов представлена на рисунке 8.3.

***Коэффициент усиления напряжения на постоянном токе КУ*** *-* 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 (рисунок 8.4) вычисляется по формуле:

KУ=R2/R1

***Напряжение смещения Uсм*** - значение напряжения, которое необходимо подать на вход ОУ, чтобы напряжение на его выходе было равно нулю. Напряжение смещения Uсмможно вычислить, зная выходное напряжение при отсутствии напряжения на входе и коэффициент усиления:

Uсм=∆UВЫХ / KУ

***Входное сопротивление Rвх*.** 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 к вызванному приращению среднего входного тока:

RВХ.СФ.= ∆UВХ.СФ. /∆IВХ.СР.

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

RВХ.ДИФ= ∆UВХ /∆IВХ,

где ∆*UВХ* - изменение напряжения между входами ОУ, ∆*IВХ* - изменение входного тока.

***Выходное сопротивление Rвых*** 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 рисунке 8.5.

Скорость нарастания выходного напряжения Vuвыхравна отношению изменения выходного напряжения ОУ ко времени его нарастания при подаче на вход скачка напряжения. Время нарастания определяется интервалом времени, в течение которого выходное напряжение ОУ изменяется от 10% до 90% от своих установившихся значений.

Vuвых= UВЫХ / tУСТ

Схема для измерения скорости нарастания выходного напряжения показана на рисунке 8.6. Измерения проводятся при подаче импульса в виде ступени на вход ОУ, охваченного отрицательной обратной связью (ООС) с общим коэффициентом усиления от 1 до 10.

**3 Выполнение работы**

***1. Измерение входных токов***

Соберите схему, изображенную на рис. 8.3. Включите схему. Измерьте входные токи ОУ. По результатам измерений вычислите средний входной ток *IВХ* и разность входных токов ОУ. Результаты занесите в раздел "Результаты экспериментов".



Рисунок 8.3 – Схема для измерения входных токов ОУ

***2. Измерение напряжения смещения.***

Соберите схему, изображенную на рисунке 8.4. Включите схему. Запишите показания вольтметра в раздел "Результаты экспериментов". По результатам измерения, вычислите напряжение смещения *Uсм*, используя коэффициент усиления схемы на ОУ. Результаты вычислений также занесите в раздел "Результаты экспериментов".



Рисунок 8.4 – Схема для измерения напряжения смещения ОУ

***3. Измерение входного и выходного сопротивлений***

а) Откройте файл со схемой, изображенной на рисунке 8.5. Включите схему. Измерьте входной ток *IВХ* и выходное напряжение *UВЫХ* запишите показания в раздел "Результаты экспериментов". Переключите ключ клавишей [Space]. Измерьте входной ток после переключения ключа. Рассчитайте изменения входного напряжения и тока. По полученным результатам вычислите дифференциальное входное сопротивление ОУ. Результаты занесите в раздел "Результаты экспериментов".

**

Рисунок 8.5 – Схема для измерения сопротивлений ОУ

б) Уменьшайте сопротивление нагрузочного резистора *RL* до тех пор, пока выходное напряжение *UВЫХ* не будет примерно равно половине значения полученного в предыдущем пункте (а). Запишите значение сопротивления *RL*, которое в этом случае приблизительно равно выходному сопротивлению *UВЫХ ОУ*, в раздел "Результаты экспериментов".

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

Откройте файл со схемой, изображенной на рисунке 8.6.



Рисунок 8.6 - Схема для измерения нарастания выходного напряжения ОУ

Включите схему. Отобразите осциллограмму выходного напряжения в разделе "Результаты экспериментов". По осциллограмме определите величину выходного напряжения, время его установления и вычислите скорость нарастания выходного напряжения в В/мкс. Запишите результат в раздел "Результаты экспериментов".

**3.1Результаты экспериментов**

**1. *Измерение входных токов****.*

Ток неинвертирующего входа *измерение*

Ток инвертирующего входа *измерение*

Средний входной ток *измерение*

Разность входных токов ОУ *расчет*

**Эксперимент 2*. Измерение напряжения смещения***.

Выходное напряжение усилителя *измерение*

Коэффициент усиления схемы *расчет*

Напряжение смещения *расчет*

**3. *Измерение входного и выходного сопротивлений***

а) Входной ток *IВХ* , мкА до переключения ключа *измерение*

Входной ток *IВХ* , мкА после переключения ключа *измерение*

Изменение входного напряжения, мВ *расчет*

Изменение входного тока, мкА *расчет*

Входное дифференциальное сопротивление ОУ, Ом *расчет*

б) Выходное напряжение *UВЫХ* , В *измерение*

Выходное сопротивление ОУ *измерение*

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

Выходное напряжение *UВЫХ измерение*

Время установления выходного напряжения *измерение*

Скорость нарастания выходного напряжения ОУ *расчет*

**Контрольные вопросы**

1. Сравните между собой величины входного и выходного сопротивлений

ОУ. Какова схема замещения ОУ как элемента электрической цепи?

2. Отличается ли экспериментальное значение скорости нарастания выходного напряжения от номинального значения?

3. В чем причина возникновения входных токов ОУ и разности входных токов? К чему они приводят при работе схем на ОУ?

4. К какому классу усилителей относится операционный усилитель?

5. Приведите условно-графические изображения ОУ в электронных схемах, дайте характеристику внешних выводов.