

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 13.01.2022 13:01:54
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d42660de5f1c11e9bbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и средств связи

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г.Локтионова
2017 г.



ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей 10.05.02, 10.03.01, 11.03.02, 11.03.03

УДК 621.38

Составитель В.Н. Усенков

Рецензент

Кандидат технических наук, профессор *В.А. Шлыков*

Построение и исследование электронных устройств на операционных усилителях: методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.Н. Усенков. - Курск, 2017. - 23 с.: ил. 5, табл. 2, прилож. 1. - Библиогр.: с. 21.

Исследуются свойства операционных усилителей в разных схемах включения. Содержатся теоретические сведения о принципе работы последовательных линейных стабилизаторов напряжения. Указывается порядок выполнения лабораторной работы и формулы для расчета параметров исследуемого стабилизатора. Приводятся рекомендации по оформлению отчетов и контрольные вопросы.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальностям автоматики и электроники (УМО АЭ).

Предназначены для студентов специальностей 10.05.02, 10.03.01, 11.03.02, 11.03.03 дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. 1,34 . Уч.изд.л. 1,21 . Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

Введение	4
1. Исследование ОУ в неинвертирующем включении	5
2. Исследование ОУ в инвертирующем включении	8
3. Построение и исследование компенсационного последовательного стабилизатора напряжения	11
Список литературы	21
Приложение	22

Введение

Операционный усилитель (ОУ) – это универсальное электронное изделие, которое находит широкое применение в аналоговых электронных устройствах различного назначения. В первых лабораторных работах исследуются особенности двух основных способов включения операционного усилителя. Последняя работа демонстрирует использование операционного усилителя в стабилизаторе постоянного тока.

Предполагается, что обучающимся освоены начальные лабораторные работы по дисциплине «Электроника и схемотехника», в том числе изучены особенности моделирования электронных схем в программной среде Electronics Workbench (Multisim).

Для выполнения лабораторных работ и защиты следует ознакомиться с теоретическим материалом по операционным усилителям, который имеется в [1]. Кроме того, следует изучить характеристики промышленно изготавливаемых операционных усилителей, используя справочные данные фирм - изготовителей или специальные справочники [2]. Краткие характеристики некоторых ОУ можно найти в Приложении.

1 Исследование ОУ в неинвертирующем включении.

Цели работы:

- изучение особенностей функционирования операционного усилителя в неинвертирующем включении

Подготовка к работе

Изучить принципы работы операционного усилителя, обращая внимание на следующие разделы:

- способы включения операционного усилителя (ОУ);
- характеристики идеального ОУ.

Вопросы для самопроверки

- Что такое операционный усилитель?
- Для чего предназначен операционный усилитель?
- Что означает термин неинвертирующее включение ОУ?
- Способен ли ОУ усиливать постоянное напряжение?
- Способен ли ОУ усиливать переменное напряжение?

Порядок проведения работ:

1. Собрать схему в соответствии с рисунком ниже.
2. Подать на вход схемы сигнал, включающий постоянную и переменную составляющие, наблюдая форму сигнала на выходах.
3. Зафиксировать амплитуды и форму сигналов на входе и выходах при вариации переменной составляющей в диапазоне $100\text{mV} \dots 10\text{V}$ и фиксированной постоянной составляющей 1 V .
4. Зафиксировать амплитуды и форму сигналов на входе и выходах при вариации постоянной составляющей в диапазоне $100\text{mV} \dots 10\text{V}$ и фиксированной переменной составляющей 100 mV .

5. Увеличить номинал сопротивления R2 и повторить пункты 2-4 (см. *рекомендации* ниже) .

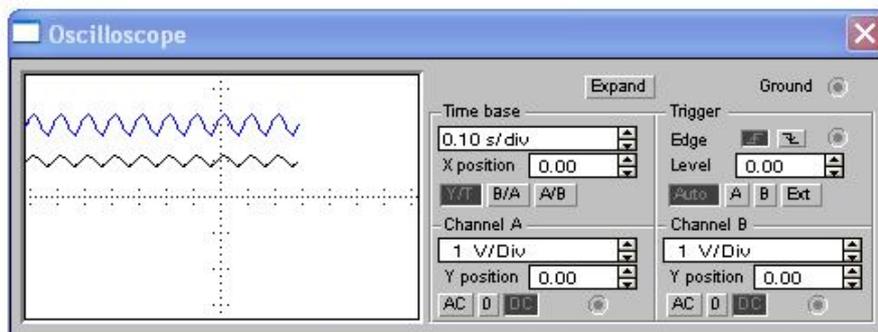
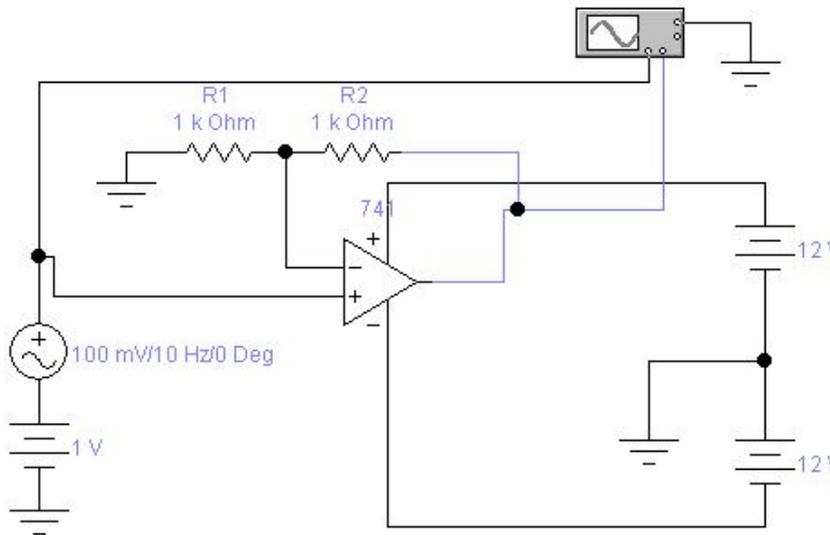


Рисунок 1 - Схема исследования операционного усилителя в неинвертирующем включении

Содержание отчета:

- цель проведения исследований
- ответы на вопросы для самопроверки
- исследуемая схема
- таблицы с результатами экспериментов для каждого этапа проведенных исследований.
- выводы
- характерные диаграммы формы сигналов для проведенных исследований
- подготовленные ответы на контрольные вопросы.

Указания и рекомендации

Частоту синусоидального сигнала установить равной 10Hz, амплитуду сигнала – в соответствии с заданием.

Степень увеличения номинала резистора R2 согласуется с преподавателем или пошагово удваивается до достижения неадекватного поведения схемы.

Результаты эксперимента свести в две таблицы, отдельно для постоянной составляющей сигнала и переменной составляющей сигнала.

Таблица 1 – Форма регистрации результатов эксперимента

№	Входной сигнал, постоянная составляющая, mV	Входной сигнал, переменная составляющая, mV	Выходной сигнал, V	Коэфф. передачи

Контрольные вопросы

1. Что означает термин «неинвертирующее включение» ОУ?
2. Как рассчитать коэффициент передачи схемы для неинвертирующего включения ОУ?
3. Как оценить входное сопротивление схемы в неинвертирующем включении?
4. Как оценить выходное сопротивление схемы в неинвертирующем включении?
5. Как соотносятся фазы входного и выходного сигналов схемы в неинвертирующем включении?
6. Каковы особенности частотной характеристики схемы в неинвертирующем включении?
7. Какую нагрузку допустимо подключать к выходу ОУ?

2 Исследование ОУ в инвертирующем включении.

Цели работы:

- изучение особенностей функционирования операционного усилителя в инвертирующем включении.

Подготовка к работе

Изучить принципы работы операционного усилителя, обращая внимание на следующие разделы:

- способы включения операционного усилителя (ОУ);
- характеристики идеального ОУ.

Вопросы для самопроверки

- Что такое операционный усилитель?
- Для чего предназначен операционный усилитель?
- Что означает термин «инвертирующее включение ОУ»?
- Способен ли ОУ усиливать постоянное напряжение?
- Способен ли ОУ усиливать переменное напряжение?

Порядок проведения работ:

1. Собрать схему в соответствии с рисунком ниже.
2. Подать на вход схемы сигнал, включающий постоянную и переменную составляющие, наблюдая форму сигнала на выходах.
3. Зафиксировать амплитуды и форму сигналов на входе и выходах при вариации переменной составляющей в диапазоне $100\text{mV} \dots 10\text{V}$ и фиксированной постоянной составляющей 1 V .
4. Зафиксировать амплитуды и форму сигналов на входе и выходах при вариации постоянной составляющей в диапазоне $100\text{mV} \dots 10\text{V}$ и фиксированной переменной составляющей 100 mV .

5. Увеличить номинал сопротивления R2 и повторить пункты 2-4 (см. *рекомендации* ниже).

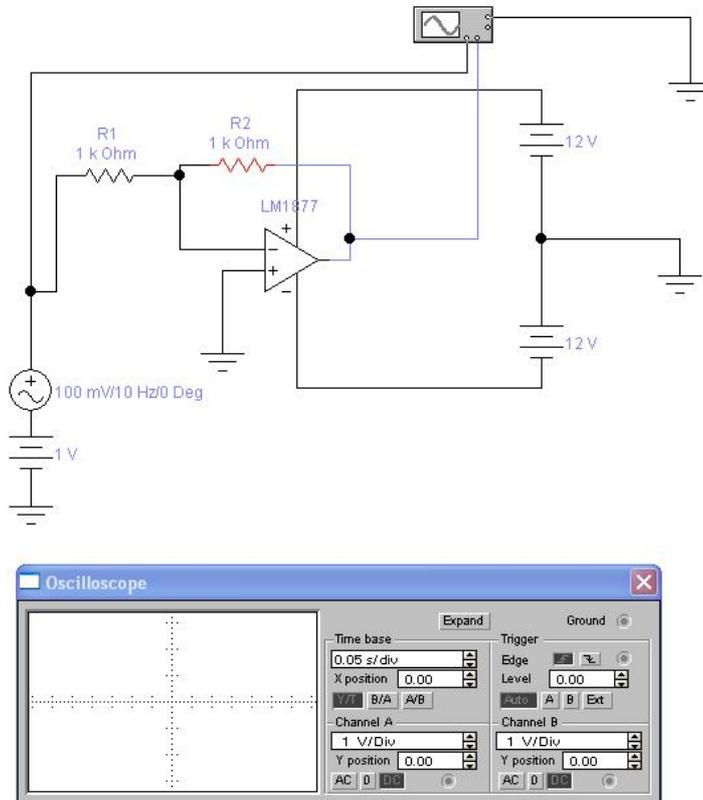


Рисунок 2 - Схема исследования операционного усилителя в инвертирующем включении.

Содержание отчета:

- цель проведения исследований
- ответы на вопросы для самопроверки
- исследуемая схема
- таблицы с результатами экспериментов для каждого этапа проведенных исследований.
- выводы
- характерные диаграммы формы сигналов для проведенных исследований
- подготовленные ответы на контрольные вопросы.

Указания и рекомендации

Частоту синусоидального сигнала установить равной 10Hz, амплитуду сигнала – в соответствии с заданием.

Степень увеличения номинала резистора R2 согласуется с преподавателем или пошагово удваивается до достижения неадекватного поведения схемы.

Результаты эксперимента свести в две таблицы, отдельно для постоянной составляющей сигнала и переменной составляющей сигнала

Таблица 2 – Форма регистрации результатов эксперимента

№	Входной сигнал, постоянная составляющая, mV	Входной сигнал, переменная составляющая, mV	Выходной сигнал, V	Коэфф. передачи

Контрольные вопросы

1. Что означает термин «инвертирующее включение» ОУ?
2. Как рассчитать коэффициент передачи схемы для инвертирующего включения ОУ по данным эксперимента?
3. Как оценить входное сопротивление схемы в инвертирующем включении?
4. Как оценить выходное сопротивление схемы в инвертирующем включении?
5. Как соотносятся фазы входного и выходного сигналов схемы в инвертирующем включении?
6. Каковы особенности частотной характеристики схемы в инвертирующем включении?
7. Как рассчитать коэффициент передачи усилителя до проведения исследований?

Построение и исследование компенсационного последовательного стабилизатора напряжения

Цель работы

Практическое исследование *компенсационного последовательного стабилизатора напряжения*, построенного на биполярных транзисторах и операционном усилителе.

Исследованию подлежат:

- параметры выходного напряжения;
- зависимости выходного напряжения от входного;
- зависимости свойств стабилизатора от параметров компонентов схемы.

Основные сведения о компенсационных стабилизаторах последовательного типа

Питание радиоэлектронной аппаратуры чаще всего осуществляется от сети переменного тока. Поэтому входное напряжение, как правило, является выпрямленным напряжением с вторичной обмотки сетевого трансформатора. Вследствие этого, оно неизбежно содержит переменную составляющую, называемую *пульсациями*. Кроме того, вследствие временных колебаний сетевого напряжения, постоянная составляющая также будет изменяться.

С другой стороны, для обеспечения надежной и стабильной работы многих электронных устройств требуется источник питания со стабильными и жестко определенными параметрами напряжения.

Задачу обеспечения указанных требований выполняют *стабилизаторы напряжения*.

Один из возможных способов построения стабилизаторов исследуется в данной лабораторной работе.

На рисунке ниже приведена стандартная структурная схема *компенсационного последовательного* стабилизатора напряжения. Название *последовательный* связано с тем, что регулирующий

элемент включен последовательно с нагрузкой. Название *компенсационный* отражает принцип стабилизации, который будет пояснен ниже.

Входное напряжение для правильной работы данного вида стабилизаторов должно превышать получаемое выходное. Регулирующий элемент можно условно представить в виде переменного сопротивления, включенного последовательно с нагрузкой, на котором падает избыточное напряжение. Если в некоторый момент времени входное напряжение изменилось, то с помощью регулирующего элемента, изменяя его «сопротивление», можно *скомпенсировать* появившийся дисбаланс: при повышении входного напряжения увеличиваем величину «сопротивления» регулирующего элемента, при понижении – уменьшаем его.

Очевидно, что для осуществления такого регулирования необходимо уметь определять направление регулировки и ее величину. В указанной схеме эту задачу выполняет схема сравнения, которая сравнивает (вычитает) текущее значение выходного напряжения с той величиной, которая требуется. По этой причине в структурной схеме появляется элемент, именуемый *источником опорного напряжения*. Выделенный схемой сравнения разностный сигнал содержит знак отклонения, что и определит направление компенсации. Однако требуется еще обеспечить степень (величину) компенсации, для чего предназначен *усилитель отклонений*. В результате, напряжение на нагрузке будет изменяться в малой степени, причем, эта «малость», очевидно, зависит от коэффициента усиления усилителя отклонений. Чтобы обеспечить малые отклонения на нагрузке, стремятся повысить указанную степень усиления.

В качестве регулирующего элемента можно применить биполярные транзисторы, предельные параметры которых удовлетворяют требованиям к максимальному выходному току стабилизатора и рабочим напряжениям.

Схему сравнения удобно выполнить на операционном усилителе, который по своей структуре содержит разностную схему на входе (дифференциальный вход). В этом случае отпадает необходимость применения отдельного усилителя отклонений,

поскольку операционный усилитель имеет большой собственный коэффициент усиления.

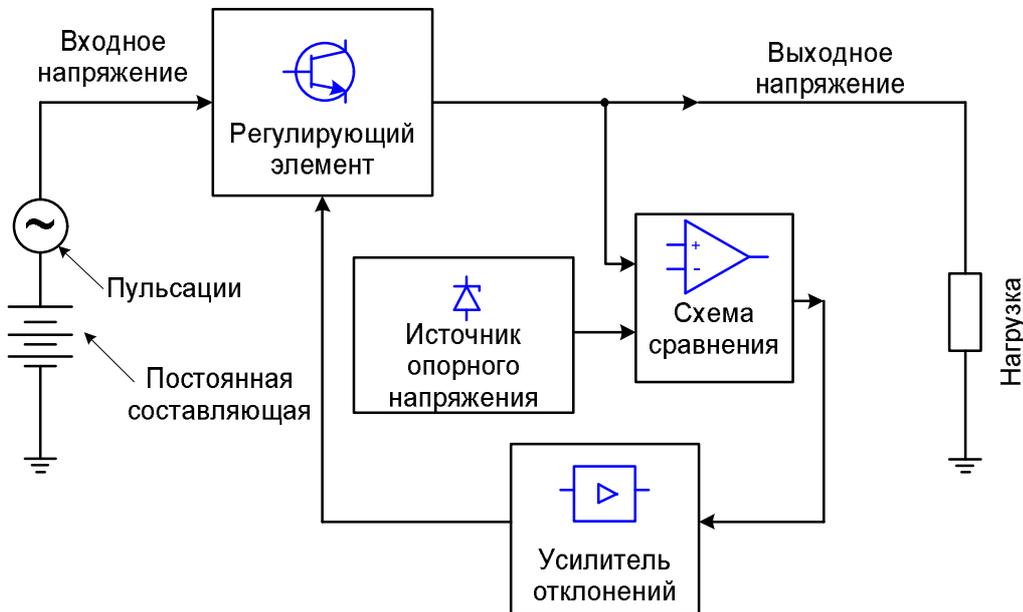


Рисунок 3 - Структурная схема последовательного компенсационного стабилизатора

Источник опорного напряжения обычно выполняют с использованием стабилитрона, стабилистра или специальных микросхем.

На рис. 4 приведен пример схемы стабилизатора, соответствующего приведенному описанию. Стабилизатор содержит регулирующий элемент на транзисторе VT1 и схему сравнения, совмещенную с усилителем отклонений на операционном усилителе DA1. Источник опорного напряжения моделируется гальваническим элементом U_{ref} .

Делитель напряжения R1, R2 формирует на входе схемы сравнения напряжение, пропорциональное выходному. В данном конкретном случае, при равенстве R1 и R2, это напряжение равно половине выходного. Следовательно, схема сравнения и последующие каскады будут подстраивать выходное напряжение так, чтобы на выходе делителя напряжение сравнивалось с опорным. При этом собственно выходное напряжение будет стабилизироваться на уровне, вдвое большим опорного. Такое схемное решение позволяет:

- использовать в качестве источника опорного напряжения элемент с напряжением, отличающимся от стабилизируемого на выходе;
- регулировать (подстраивать) выходное напряжение в некоторых пределах.

Связь между выходным напряжением стабилизатора и опорным выражается формулой:

$$U_{out} = U_{ref} * \frac{R1 + R2}{R2}, \quad (1)$$

Стабилизатор должен поддерживать выходное напряжение в заданных пределах при изменениях входного. Качество исполнения этого требования оценивается *коэффициентом стабилизации*, определяемым как отношение изменения входного напряжения U_{in} к изменению выходного U_{out} :

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{in}}{\Delta U_{out}} \quad (2)$$

Стабилизатор должен поддерживать выходное напряжение в заданных пределах при изменениях тока нагрузки. Качество исполнения этого требования оценивается *выходным сопротивлением* стабилизатора, определяемым как отношение изменения выходного напряжения U_{out} к изменению выходного тока I_{out} :

$$R_{cm} = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta I_{out}} \quad (3)$$

Стабилизатор должен поддерживать выходное напряжение в заданных пределах при изменениях температуры окружающей среды. Качество исполнения этого требования оценивается *температурным коэффициентом напряжения* стабилизатора, определяемым как отношение изменения выходного напряжения U_{out} к изменению температуры T :

$$TKH = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta T} \quad (4)$$

K_{cm} , R_{cm} и TKH определяют так называемые *точностные параметры* стабилизатора.

Для оценки качества стабилизатора рассчитывают также *динамические параметры*, к которым относится коэффициент подавления пульсаций, определяемый как отношение амплитуд пульсаций на выходе и входе, выраженное в децибелах:

$$K_{pn} = 20 * \lg \frac{\Delta U_{n_in}}{\Delta U_{n_out}}, \quad (5)$$

где U_{n_in} – амплитудная мера пульсаций на входе,
 U_{n_out} - амплитудная мера пульсаций на выходе.

Пульсации имеют сложный спектр, поэтому на практике ограничиваются измерениями первой гармоники. Предполагается также, что пульсации формируются двухполупериодным однофазным выпрямителем.

Выходное напряжение, получаемое на выходе стабилизатора, имеет некоторый разброс, который не должен превышать заданной величины.

Выходной ток, отдаваемый стабилизатором в нагрузку, ограничивается сверху и указывается в технических характеристиках.

Также в технических характеристиках ограничивается диапазон входных напряжений, при котором гарантируются параметры стабилизатора.

Подготовка к работе

Изучить методы работы с системой моделирования в программе Electronics WorkBench 5.12 (EWB) и библиотеки

моделируемых компонентов, обращая внимание на следующие компоненты:

- источники питания, цепь заземления, резисторы, конденсаторы, транзисторы;
- измерительные устройства – функциональный генератор, осциллограф, вольтметр, амперметр.

Изучить теорию работы последовательных компенсационных стабилизаторов напряжения [1], обратив внимание на способы измерения точностных и прочих параметров.

Вопросы для самоконтроля

Какие измерительные приборы целесообразно использовать совместно с осциллографом?

Как получить изображение на осциллографе, для наглядности имеющее различный цвет луча для каждого канала?

Какие органы регулировки имеет осциллограф для:

- подстройки под временные параметры сигнала;
- подстройки под амплитудные параметры сигнала;
- смещения изображения каждого луча по вертикали для удобства наблюдения?

Из каких структурных компонентов состоит типичный компенсационный последовательный стабилизатор?

Какие параметры стабилизатора определяют его основные эксплуатационные характеристики?

Какие параметры регулирующего транзистора учитываются при оценке надежности работы устройства?

Программа работ

1. Ознакомиться с постановкой задачи и исходными данными.
2. Собрать схему (рис. 4) для исследования в среде EWB, рассчитав параметры примененных компонентов.
3. Проверить правильность функционирования схемы. Зарисовать временные диаграммы для входа и выхода исследуемой схемы.
4. Установить переменную составляющую входного напряжения на уровне 1V. Изменяя значения постоянной составляющей входного напряжения, определить коэффициент стабилизации и нижнюю границу допустимого входного напряжения.
5. Установить переменную составляющую входного напряжения на уровне 1V, постоянную составляющую – 20V. Изменяя сопротивление нагрузки, определить выходное сопротивление стабилизатора.
6. Установить переменную составляющую входного напряжения на уровне 5V и частотой 100 Hz, постоянную составляющую – 20V. Определить коэффициент подавления пульсаций.
7. Изменить коэффициент деления резистивного делителя R1, R2. Рассчитать ожидаемое выходное напряжение. Определить выходное напряжение и проверить расчет. Новый коэффициент задается преподавателем, по умолчанию принять его равным 0,2.

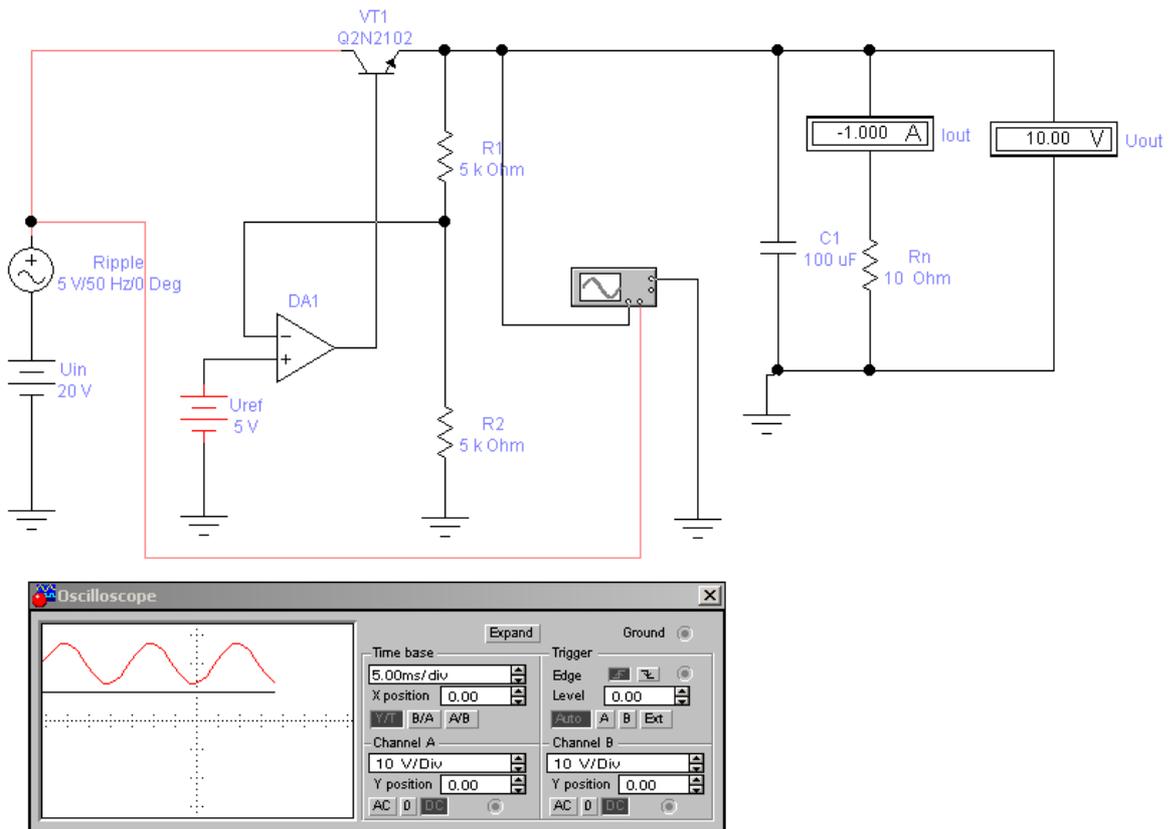


Рисунок 4 - Принципиальная схема стабилизатора для моделирования

Содержание отчета

Отчет оформляется индивидуально для каждой лабораторной работы и содержит следующие обязательные разделы.

1. Тема лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Индивидуальное задание (если имеется).
4. Исследуемые схемы с указанием измерительных устройств и контрольных точек.
5. Результаты теоретического расчета параметров элементов схемы, с указанием порядка расчета по формулам.
6. Результаты эксперимента в виде таблиц и графиков, диаграммы сигналов в контрольных точках.

7. Интерпретация результатов и выводы.
8. Ответы на контрольные вопросы (если имеются)

Указания и рекомендации

При сборе схемы в EWB следует стремиться к поэтапному ее наращиванию, убеждаясь в работоспособности промежуточных вариантов.

При использовании осциллографа целесообразно пользоваться обоими его каналами, наблюдая одновременно входной и выходной сигналы. Для удобства наблюдения следует сместить лучи каналов осциллографа так, чтобы сигналы не перекрывались. Кроме того, удобно задать разный цвет для каждого луча (опция задания цвета для цепей электрической схемы).

В данной работе пульсации на входе стабилизатора симулируются источником ЭДС переменного тока. Форма пульсаций отличается от реальной, существующей на выходе выпрямителя и сглаживающего фильтра, но упрощает расчет первой гармоники пульсаций.

Источник опорного напряжения представлен в идеализированном варианте – в виде гальванического элемента с заданной ЭДС. Возможные практически существующие решения предлагается найти самостоятельно.

При проведении исследований изменяемый параметр должен перекрывать диапазон $\pm 50\%$, количество точек – не менее 4.

При исследовании некоторых параметров бывает необходимым более гибко изменять вариации; в этом случае при проведении эксперимента количество точек увеличивают. В отчет заносят результаты, соответствующие 3-4 точкам вблизи полученного результата.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные точностные параметры стабилизаторов.
2. Перечислите эксплуатационные (потребительские) параметры стабилизаторов.

3. Почему коэффициент подавления пульсаций характеризуется как *динамический параметр*?
4. Коэффициент подавления пульсаций равен 30 dB, пульсации на выходе – 10mV. Определите пульсации на входе.
5. Предложите один или несколько известных вам вариантов построения источника опорного напряжения.
6. Проанализируйте схему на рисунке 5. Изобразите ее структурную схему и выделите блоки по аналогии с рис. 1. Сделайте предположительные сравнения параметров этой схемы и исследованной.

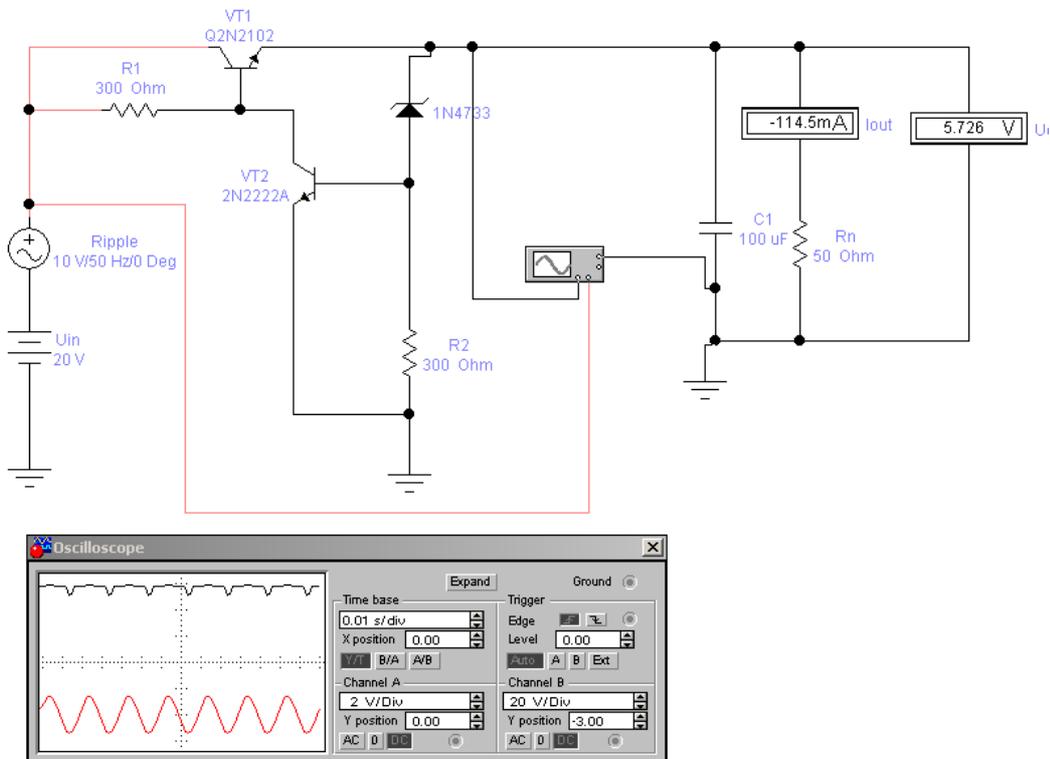


Рис. 5 Последовательный стабилизатор напряжения на транзисторах.

Литература

1. Наундорф У. Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование [Комплект]: [учебное пособие] / Уве Наундорф; пер. с нем. М. М. Ташлицкого. - М.: Техносфера, 2008. - 472 с.
2. Применение прецизионных аналоговых микросхем [Текст] / А. Г. Алексенко, Е. А. Коломбет, Г. И. Стародуб. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1985. - 255 с. : ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ - Основные параметры некоторых операционных усилителей

Параметр	Тип операционного усилителя					
	μA741C	K140УД6А	K140УД17А	K544УД1	K574УД1	OP37
$K_{y(u)}$	50'000	70'000	200'000	25'000	150'000	1'000'000
$U_{см}, mV$	5	5	0.075	20	20	0.01
$I_{вх}, nA$	100	30	4	0.05	0.5	10
$\Delta I_{вх}, nA$	±30	±10	±3.8	±0.02	±0.2	±7
$\Delta U_{тксм}, \mu V/^\circ C$	-	20	3	20	50	0.2
$V_{и\text{ вых}}, V/\mu S$	0.25	2.5	0.1	5	90	11
$K_{ос\text{ сф}}, dB$	70	70	106	80	80	126
$U_{пит}, V$	±(2...20)	±(5...20)	±(3...18)	±(8...16.5)	±15	±(4...18)
$I_{потр}, mA$	3.0	2.8	5	3	5.5	140mW †
$U_{вых\text{ max}}, V$	±12	±12	±12	-	-	±12
$U_{сф\text{ max}}, V$	±12	±10	±10	±10	±30	±11
$U_{ш}, nV/\sqrt{Hz}$	23@1kHz	-	-	-	-	3@1kHz
f_l, MHz	0.7	1	0.4	1	18	60
$R_{нагр}, kOhm$	2	1	2	2	2	0.6
Входной каскад	БТ	БТ	БТ	ПТ	ПТ	БТ

Пояснения к обозначениям, принятым в таблице

Обозначение	Варианты названия	Употребляемое зарубежными изготовителями название	Определение / пояснение
$K_{y(u)}$	Коэффициент усиления по напряжению	Open-Loop Gain	Усиление при отсутствии обратной связи
$U_{см}$	Напряжение смещения на входе	Input Offset Voltage	Разность напряжений между входами, необходимая для того, чтобы выходное напряжение ОУ стало равно нулю
$I_{вх}$	Входной ток. Ток смещения.	Input Bias Current	Втекающий/ вытекающий по входам ток
$\Delta I_{вх}$	Разность входных токов. Разность входных токов смещения.	Input Offset Current	Нормируемая разность между входными токами

	Ток сдвига.		
$\Delta U_{\text{тксм}}$	Температурный коэффициент напряжения смещения. Температурный дрейф напряжения смещения.	Offset Voltage Drift	Выражает зависимость параметра от температуры
$V_{\text{и вых}}$	(Максимальная) скорость нарастания выходного напряжения	Slew Rate	Отношение приращения выходного напряжения ко времени, за которое произошло это приращение
$K_{\text{ос сф}}$	Коэффициент ослабления синфазного сигнала	Common Mode Rejection Ratio (CMRR)	Отношение приращений синфазного и дифференциального входных напряжений, вызывающих одинаковое приращение выходного напряжения
$U_{\text{пит}}$	Напряжение питания		Допустимый диапазон питающих напряжений
$I_{\text{потр}}$	Потребляемый ток		Указывается при нормированном напряжении питания. Иногда указывается потребляемая ОУ мощность при нормированном напряжении питания.
$U_{\text{вых max}}$	Максимальное выходное напряжение	Output Voltage Swing	Максимально достижимое напряжение на выходе при нормированной нагрузке
$U_{\text{сф max}}$	Максимальное синфазное напряжение на входе	Input Common Mode Voltage Range	Максимально допустимое равное напряжение на входах
$U_{\text{ш}}$	Шумовое напряжение,	Input Voltage Noise	Приведенное ко входу среднеквадратичное напряжение шумов в определенном диапазоне частот (или на указанной частоте) при определенном значении сопротивления источника сигнала.
f_l	Частота единичного усиления	Gain Bandwidth Product	Частота, на которой усиление падает до единичного значения
$R_{\text{нагр}}$	Сопротивление нагрузки		Допустимая величина нагрузки, подключенной к выходу при нормированном напряжении питания
Входной каскад	Тип транзисторов во входном каскаде ОУ		БТ – биполярные транзисторы ПТ – полевые транзисторы