



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра электроники

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Методические указания по выполнению курсовых работ
для студентов специальности
5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Алматы 2016

СОСТАВИТЕЛИ: Абдрешова С.Б., Абдрешова Г.Н. Основы электронной и измерительной техники. Методические указания по выполнению курсовых работ для студентов специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АУЭС, 2016. – 23 с.

Методические указания содержат индивидуальные задания на курсовые работы, рекомендации по их выполнению, требования к содержанию и оформлению, образец выполнения и список литературы. Курсовая работа включает в себя составление функциональной схемы устройства, производящего обработку входных сигналов по заданному алгоритму, выбор и электрический расчёт функциональных узлов, разработку печатной платы одного из узлов, тестирование работы схемы с помощью программных продуктов, например Electronics Workbench.

Методические указания предназначены для студентов очной формы обучения специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникаций.

Содержание методических указаний может быть полезно при выполнении УИР и дипломного проектирования всех специальностей факультета радиотехники и связи.

Ил.8, табл.1, библиогр. – 31 назв.

Рецензент: доцент кафедры ИКТ Ю.М. Гармашова

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2016 год.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2016 г.

Содержание

Введение	4
1 Задание на курсовую работу	4
2 Содержание курсовой работы и требования к оформлению	5
2.1 Содержание пояснительной записки и графической части	5
2.2 Требования к оформлению	5
3 Методические указания по выполнению курсовой работы	6
3.1 Выбор варианта задания	6
3.2 Разработка функциональной схемы устройства	6
3.3 Принципиальная схема	7
3.4 Электрический расчёт схемы	8
3.5 Разработка печатной платы	9
4 Пример выполнения курсовой работы	9
4.1 Составление функциональной схемы устройства	9
4.2 Выбор и расчёт принципиальных электрических схем	11
Приложение А	19
Приложение Б	20
Приложение В	21
Список литературы	22

Введение

Курсовая работа по дисциплине «Основы электронной и измерительной техники» завершает базовую схемотехническую подготовку студентов специальности 5В071900 – «Радиотехника, электроника и телекоммуникаций» по аналоговой электронной схемотехнике. Задачей курсовой работы является углубление знаний, полученных при изучении курса, а также развитие навыков самостоятельной работы с технической и справочной литературой. Задания на курсовые работы индивидуальные и выполнение их заключается в разработке функционально законченного устройства для обработки входных сигналов по заданным математическим выражениям с использованием аналоговых и аналого-цифровых узлов.

В методических указаниях даётся перечень индивидуальных заданий на проектирование, изложены требования к оформлению, приведены рекомендации по выполнению работы, дан пример разработки устройства и список литературы. Знания, приобретённые студентами при выполнении курсовой работы, могут быть полезными в УИР, а также при дипломном проектировании всех специальностей факультета радиотехники и связи.

1 Задание на курсовую работу

В качестве задания предлагается проектирование аналогового электронного устройства, осуществляющего обработку входных сигналов в соответствии с заданным математическим выражением зависимости выходного сигнала от двух входных сигналов. Виды зависимостей, а также формы входных и выходных сигналов выбираются в соответствии с вариантом задания из приложений А и Б. Подобного рода устройства обработки сигналов находят широкое применение в различных отраслях науки и техники.

В качестве входных сигналов присутствуют различные электрические величины: постоянные и переменные напряжения и токи, сигналы в виде импульсов уровня ТТЛ с изменяющейся частотой, сигналы в виде изменений активного сопротивления. Устройство должно выдавать сигнал, являющийся результатом обработки входных сигналов по заданной формуле. Выходные сигналы также имеют различные формы в зависимости от варианта задания: ток, напряжение, импульсы с изменяющейся частотой.

Проектирование устройства включает в себя:

- составление функциональной схемы устройства;
- выбор схем отдельных функциональных узлов;
- согласование узлов друг с другом по уровням сигналов;
- согласование узлов по входным и выходным сопротивлениям;
- выбор режимов работы отдельных узлов, обеспечивающих условия согласования;
- электрический расчёт узлов устройства;

- вычерчивание полной электрической схемы устройства;
- составление спецификации использованных компонентов;
- тестирование устройства с помощью программных продуктов например, Electronics Workbench;
- разработку печатной платы одного из фрагментов устройства.

2 Содержание курсовой работы и требования к оформлению

2.1 Содержание пояснительной записки и графической части

2.1.1 Курсовая работа должна содержать расчётно-пояснительную записку объёмом 20-25 листов рукописного или машинописного текста и 2 листа графического материала формата А4, А3.

2.1.2 Расчётно-пояснительная записка включает в себя: титульный лист; техническое задание; содержание; введение; основную часть с подробным описанием функциональной схемы устройства, выбора принципиальных схем отдельных узлов с описаниями их работы; справочные данные и характеристики применяемых компонентов; расчёты, в том числе и проведенные на компьютере; заключение; список использованной литературы; приложения.

2.1.3 На листах графической части приводятся: функциональная и принципиальная схема устройства, временные диаграммы, поясняющие работу устройства и его отдельных блоков.

2.2 Требования к оформлению

2.2.1 Пояснительная записка выполняется на листах формата А4 и должна быть переплетена. Текст разбивается на разделы, снабжённые заголовками, и иллюстрируется необходимыми для расчёта схемами и характеристиками, выполненными на миллиметровой бумаге в соответствии с требованиями ГОСТ. Описание должно сопровождаться ссылками, страницы должны быть пронумерованы, начиная со второй, снизу, посередине без точки. На титульном листе номер страницы не ставится.

2.2.2 Графический материал выполняется с соблюдением требований ЕСКД. Спецификация компонентов оформляется на листе А4 и располагается в расчётно-пояснительной записке. При выборе значений элементов следует использовать ГОСТ на шкалы номиналов резисторов и конденсаторов.

2.2.3 Расчётные формулы должны быть приведены полностью с пояснениями буквенных обозначений и ссылками на источники.

2.2.4 Схемы, использованные в тестировании устройства с помощью программных продуктов, выносятся в приложения.

2.2.5 В заключительной части необходимо отразить особенности разработанного устройства и его основных узлов, привести результаты сравнительного анализа значений параметров выходного сигнала

спроектированного устройства с заданными значениями. Указать возможные области применения разработанного устройства.

3 Методические указания по выполнению курсовой работы

3.1 Выбор варианта задания

Из таблицы приложения А выбирается выражение зависимости выходного сигнала Y от входных сигналов X_1 и X_2 , форма выходного сигнала, а также сопротивление нагрузки, подключаемой к выходу устройства. Из таблицы приложения Б выбираются формы входных и выходных сигналов с диапазонами их значений, вид и частотный диапазон помехи, а также частотный спектр информативного параметра сигнала.

3.1.1 Вместе с входным сигналом X_1 во всех вариантах задания присутствует аддитивная помеха, поэтому необходима частотная фильтрация сигнала. В тех случаях, когда сигнал имеет фиксированную частоту, следует использовать узкополосный избирательный фильтр. Если же сигнал занимает полосу частот, то, в зависимости от расположения полосы, помехи относительно полосы сигнала следует убирать так: либо фильтр низких частот (ФНЧ), либо фильтр высоких частот (ФВЧ), либо полосовой фильтр (ПФ). Фильтры типов ФНЧ, ФВЧ и ПФ должны быть третьего порядка. Все фильтры должны иметь коэффициент передачи для сигнала, равный 1.

3.2 Разработка функциональной схемы устройства

3.2.1 Разработка функциональной схемы - наиболее ответственная и творческая часть работы. Для начала необходимо по заданному выражению зависимости выходного сигнала от двух входных сигналов выявить, какие математические действия должны производиться с входными сигналами. Затем по литературным источникам ознакомиться с принципами действия электронных схем, осуществляющих необходимые математические операции (сумматоры, вычитатели, умножители, делители, логарифматоры, интеграторы, дифференциаторы и т.д.). Выявить наиболее подходящие схемы, исходя из их характеристик. При выборе и обосновании схем следует отдавать предпочтение устройствам на базе интегральных микросхем.

3.2.2 Разработку функциональной схемы следует начать с построения временных диаграмм входных сигналов для того, чтобы проверить, можно ли тот или иной сигнал подать непосредственно на вход узла, выполняющего ту или иную математическую операцию. Входные сигналы присутствуют не только в форме однополярного напряжения, они могут быть и в форме однополярного тока; переменных напряжений и токов; в виде активного сопротивления; в виде последовательности импульсов, информативным параметром которой является частота их следования. Очевидно, что подобного рода сигналы необходимо прежде всего преобразовать в форму

однополярного напряжения при помощи соответствующих схем: прецизионных выпрямителей, преобразователей тока в напряжение (ПТН), частоты в напряжение (ПЧН), сопротивления в напряжение (ПСН).

Выходные сигналы тоже могут быть заданы не только в форме напряжения, но и в форме тока или в виде импульсов с изменяющейся частотой следования. В таких случаях в качестве выходных каскадов устройства должны быть использованы соответственно усилитель с токовым выходом и преобразователь напряжения в частоту (ПНЧ).

Необходимо согласование выходного каскада устройства с нагрузкой, при этом нужно иметь в виду, что микросхемы операционных усилителей (ОУ) способны выдать максимальную величину выходного сигнала до ± 10 В на активном нагрузочном сопротивлении не менее $1,5 \dots 2$ кОм, то есть могут выдать в нагрузку максимальный ток не более $5 \dots 7$ мА. Если же по заданию требуется обеспечить большее напряжение на нагрузке или большую силу тока, то следует использовать буферный транзисторный каскад между выходом ОУ и нагрузкой.

3.3 Принципиальная схема

После составления функциональной схемы разрабатывается принципиальная электрическая схема устройства. Каждый из функциональных узлов может быть реализован с помощью множества различных схем, количество которых не поддаётся подсчёту. Поскольку в задании не оговариваются требования к точности устройства, то при выборе схем узлов следует отдавать предпочтение сравнительно простым схемам, работу которых легче проанализировать. При выборе и расчёте схем следует ориентироваться в основном на источники [1,2,3,4,5]. Полезными также могут быть и другие источники, указанные в библиографии.

3.3.1 На основании сведений из литературы и справочного материала следует провести сравнительный анализ схемотехнических решений отдельных узлов и выбрать из них то, которое более полно отвечает требованиям задания и удовлетворяет заданным величинам. Требуется обеспечить согласование выходных сигналов отдельных блоков с входами подключённых к ним узлов, при этом значения сигналов на выходах ОУ не должны превышать максимально допустимых паспортных величин.

Необходимо не упускать из виду и соблюдение фазовых соотношений между входными и выходными сигналами узлов с тем, чтобы полярность выходного сигнала устройства соответствовала заданной.

3.3.2 При согласовании уровней входных и выходных напряжений отдельных блоков друг с другом, необходимо обеспечить такие режимы работы ОУ, при которых их выходные сигналы пребывают в линейной области. С целью упрощения расчётов при согласовании уровней принимаем равными 1 все масштабные коэффициенты входных сигналов. Отсюда следует, что при любых преобразованиях входных сигналов в форму

однополярного напряжения должно сохраняться соотношение 1:1 между входными сигналами X_1 и X_2 . Поясним сказанное примером. Пусть сигнал X_1 задан в форме тока, преобразуем его в постоянное напряжение. Величину максимального напряжения ПТН, соответствующую максимальному входному току, мы выбрали равной, например, 1В. Сигнал X_2 задан в виде импульсов уровня ТТЛ, информация сигнала заключена в частоте следования импульсов. Преобразуем сигнал X_2 в однополярное напряжение с помощью ПЧН, следовательно, мы должны установить максимальное значение напряжения на выходе ПЧН той же самой величины, то есть 1 В.

В тех случаях, когда значения сигналов велики для работы ОУ в линейном режиме, их следует уменьшить с помощью делителей напряжения, но не забывать при этом уменьшить и другой сигнал в той же пропорции.

Расчёт источников питания не входит в курсовую работу, достаточно лишь подсчитать суммарные потребляемые токи по каждому из питающих напряжений, использованных в схеме.

3.4 Электрический расчёт схемы

3.4.1 Электрический расчёт производится с целью получения требуемых заданием параметров выходного сигнала на данной нагрузке, выбора элементной базы, определения номинальных значений пассивных элементов. Для выбора элементной базы можно пользоваться как российскими справочниками, так и литературой стран дальнего зарубежья. В любом случае в пояснительной записке следует приводить сведения об основных параметрах выбранных элементов.

В пояснительной записке нужно описать принцип работы каждой из схем узлов с пояснениями в виде временных диаграмм. В электрической схеме не должны быть упущены и цепи коррекции ОУ. Полная электрическая схема устройства должна быть начерчена на листе формата А3 по ГОСТу. Электрические схемы ОУ чертить не надо.

3.4.2 Задания на разработку индивидуальны, но следует придерживаться общих для всех вариантов следующих рекомендаций. В соответствии с выражением зависимости выходного сигнала от входных необходимо выяснить, как предельные значения выходного сигнала связаны с предельными значениями входных сигналов. Обычно максимальный выходной сигнал Y имеет место при максимальном входном сигнале X_1 в сочетании с максимальным сигналом X_2 , а минимальный уровень Y - при минимальном X_1 и минимальном X_2 . Затем надо определить, каков диапазон изменений величины сигнала на входе оконечного узла должен соответствовать предельным выходным значениям выходного сигнала. Двигаясь от выхода по направлению к входам, нужно вычислять требуемые соотношения между входными и выходными сигналами на каждом из узлов, производящих математические операции. Это даст возможность определить или выбрать абсолютные величины сигналов на входах каждого узла. При

согласовании уровней сигналов нужно помнить о том, что выходные сигналы ОУ не должны превышать максимальных паспортных величин.

3.4.3 После расчёта электрической схемы следует провести испытания устройства с помощью программного продукта, например, Electronics Workbench. При тестировании нужно наблюдать изменения значений выходных сигналов блоков, подавая на входы предельные значения входных сигналов в различных комбинациях: 1) $X1_{\min}$, $X2_{\min}$, 2) $X1_{\min}$, $X2_{\max}$, 3) $X1_{\max}$, $X2_{\min}$, 4) $X1_{\max}$, $X2_{\max}$. Выходной сигнал устройства должен изменяться в соответствии с заданной рабочей формулой и иметь указанные в задании предельные значения.

3.5 Разработка печатной платы

3.5.1 Печатная плата разрабатывается для одного из фрагментов схемы по согласованию с преподавателем. Чертёж печатной платы вычерчивается на формате А4 с соблюдением требований ГОСТа.

3.5.2 В настоящее время применяется функционально-модульный принцип компоновки аппаратуры, по которому предусматривается соединение схемы на печатной плате с источниками питания, с нагрузкой, с устройствами управления и с другими блоками через стандартный разъём. Печатная схема по выбору студента может быть как однослойная, так и двухслойная.

4 Пример выполнения курсовой работы

Порядок разработки устройства рассмотрим на примере.

4.1 Составление функциональной схемы устройства

Дано выражение зависимости выходного сигнала Y от входных сигналов $X1$ и $X2$

$$Y = \frac{d \ln(X1 + X2)}{dt} \int X2 dt \quad (1)$$

Сигнал $X1$ задан в форме переменного тока с частотой 10 кГц и амплитудой, изменяющегося от 0 до 1 мА. Сигнал $X2$ задан в виде импульсов уровня ТТЛ с длительностью 10 мксек и с постоянной амплитудой в пределах от 3,4 В до 5 В. Частота следования изменяется в пределах от 0 до 5 кГц. Частотные спектры информативных параметров входных сигналов занимают полосу от 10 Гц до 100 Гц. Сигнал на выходе устройства должен быть представлен в форме однополярного тока в пределах от 0 до + 20 мА в нагрузке 1000 Ом. В соответствии с выражением (1) в устройстве выполняются операции сложения, логарифмирования, дифференцирования, умножения и интегрирования. На основании данного выражения составляем

функциональную схему устройства в общем виде (рисунок 1). Однако поскольку входные сигналы X_1 и X_2 представлены не в форме однополярного напряжения, то их нельзя подавать непосредственно ни на сумматор, ни на интегратор. Поэтому первоначальный вариант функциональной схемы нужно доработать с целью преобразования форм входных и выходного сигналов и в связи с необходимостью подавления помехи, наложенной на входной сигнал X_1 .

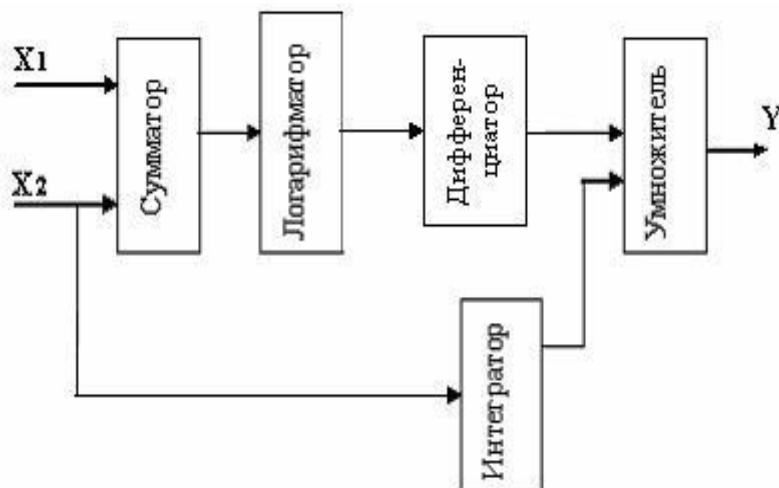


Рисунок 1

Сигнал X_1 представляет собой переменный ток постоянной частоты, его информативным параметром является амплитуда. Прежде всего, ток должен быть преобразован в сигнал переменного напряжения, затем он должен быть отфильтрован от помех, после этого его можно преобразовать в однополярное напряжение для подачи на сумматор. Для этого используем схемы ПТН, частотного фильтра и прецизионного амплитудного выпрямителя.

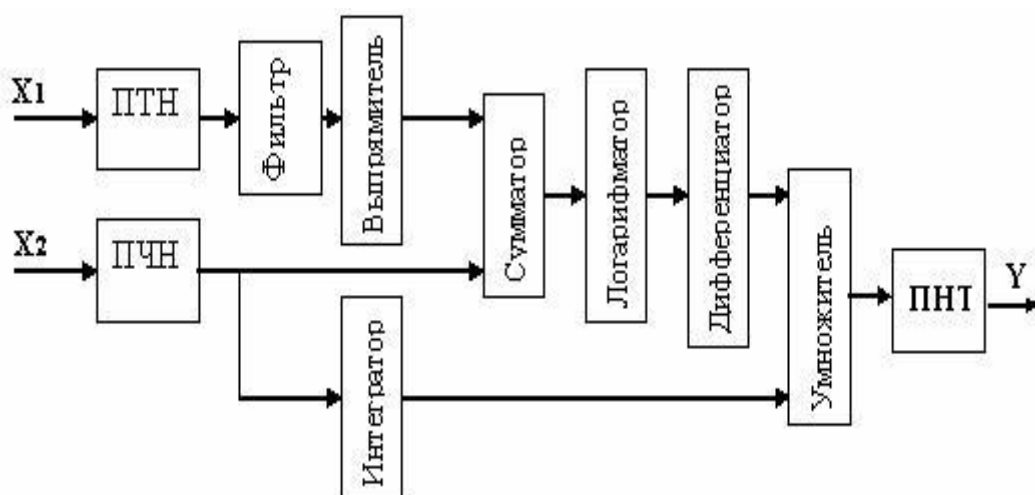


Рисунок 2

Сигнал X_2 имеет форму прямоугольных импульсов уровня ТТЛ, и его информативным параметром является частота следования импульсов. Для

преобразования частотного сигнала в однополярное напряжение применим схему ПЧН. Выходной сигнал устройства должен быть в виде однополярного тока, для этого к выходу умножителя подключим схему ПНТ, которая обеспечит требуемое значение тока в нагрузке. Доработанная структурная схема примет вид, показанный на рисунке 2.

4.2 Выбор и расчёт принципиальных электрических схем

4.2.1 Выбор и согласование уровней сигналов функциональной схемы.

В функциональной схеме устройства имеются два устройства с неравномерными амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ)-это дифференциатор и интегратор. Поскольку ширина частотного спектра информативного параметра сигнала составляет 1 декаду, то коэффициент передачи дифференциатора для низшей частоты спектра 10 Гц должен быть равен 0 дБ, а для высшей частоты спектра-20 дБ, что в относительных единицах соответствует 1 и 10. Для интегратора же, наоборот, коэффициент передачи для низшей частоты спектра полезного сообщения должен составлять 20 дБ, а для высшей частоты спектра-0 дБ. В то же время максимальное напряжение на выходе любого из узлов не должно выходить за пределы линейного режима работы ОУ, и для большинства ОУ диапазон выходных сигналов составляет ± 10 В. Примем пределы изменений напряжения на выходах дифференциатора и интегратора от -10 В до +10 В. На вход интегратора поступает сигнал с выхода ПЧН, следовательно, максимальный уровень напряжения на выходе ПЧН должен составлять 1 В при максимальной частоте сигнала X_2 , равной 5 кГц. При нулевой частоте сигнала X_2 напряжение на выходе ПЧН соответственно будет равно 0 В.

В таком случае и выходное напряжение выпрямителя тоже должно изменяться в пределах от 0 В до 1 В соответственно изменениям сигнала X_1 от 0 мА до 1 мА. Коэффициенты передачи выпрямителя и частотного фильтра выберем равными 1, тогда выходное напряжение ПТН тоже должно изменяться в пределах от 0 В до 1 В.

В качестве ПЧН удобно использовать готовые интегральные схемы (ИС), например, КР1108ПП1. Выходное напряжение этой ИС может быть только положительным, поэтому и на выходе выпрямителя мы тоже должны получить напряжение положительной полярности. Интегратор даёт выходной сигнал противоположной полярности входному, поэтому на выходе интегратора будет отрицательное напряжение от 0 В до -10 В. С другой стороны, дифференциатор и логарифматор тоже инвертируют входные сигналы, и они подключены к выходу сумматора последовательно друг за другом, поэтому полярность выходного напряжения дифференциатора будет повторять полярность выхода сумматора. Для того чтобы полярности выходных напряжений интегратора и дифференциатора были одинаковыми, полярность выходного напряжения сумматора должна быть отрицательной. Отсюда следует, что сумматор должен быть инвертирующим.

4.2.2 Схема ПТН. Для преобразования входного токового сигнала X_1 в напряжение используем схему ПТН на ОУ. Выбираем ОУ, имеющий малую величину входного тока [2, 3, 5]. В такой схеме (рисунок 3) практически весь входной ток протекает через сопротивление обратной связи (ОС) и выходное напряжение равно $U_{вых} = -I_{вх} \cdot R_{ос}$. Здесь студент должен дать краткое описание работы выбранной схемы ПТН. Находим сопротивление в цепи ОС схемы ПТН $R_{ос} = U_{вых} / I_{вх} = 1 / 10^{-3} = 1 \text{ кОм}$. Из справочников и других источников, например, [1] выбираем ОУ типа К140УД14 с малым входным током, там же приведена схема его включения и основные параметры:

- коэффициент усиления, K , тыс. 50;
- напряжения питания, $\pm U_{п}$, В 5...20;
- ток потребления, $I_{п}$, мА 1;
- средний входной ток, $I_{вх}$, мА 5;
- частотная полоса, f_1 , МГц 0,5;
- выходной сигнал, $\pm U_{вых}$, В 12;
- минимальная нагрузка, $R_{н}$, кОм 1;
- зарубежный аналог LM108.

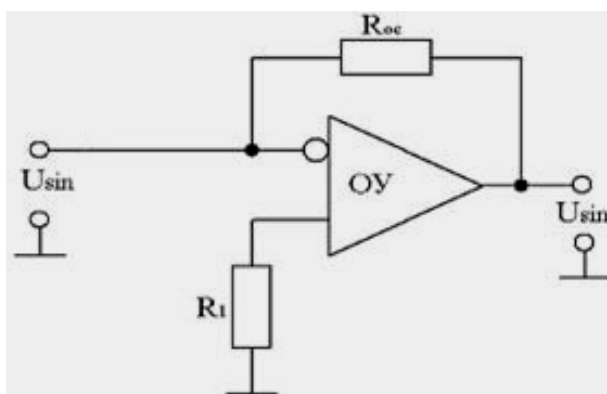


Рисунок 3

4.2.3 Схема фильтра. Вместе с переменным напряжением на выходе ПТН действует широкополосная помеха, наложенная на сигнал X_1 .

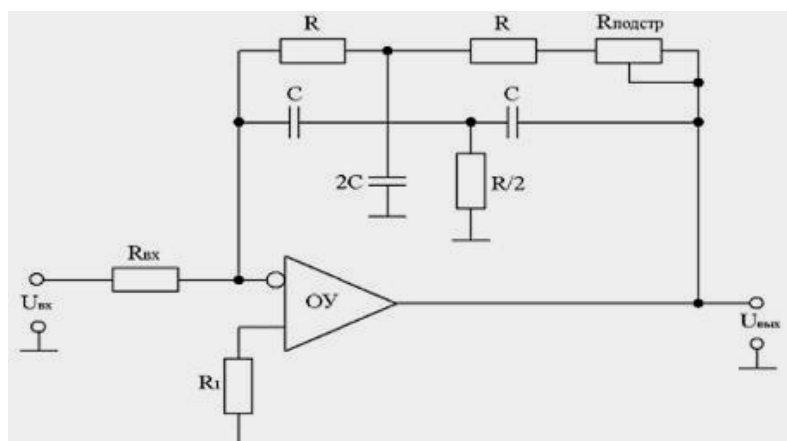


Рисунок 4

Поскольку сигнал имеет фиксированную частоту, то для подавления помехи следует использовать узкополосный избирательный фильтр, например, с двойным Т-образным мостом в цепи отрицательной обратной связи (ООС), (рисунок 4). Студент должен кратко описать работу схемы и дать вид её АЧХ [2]. Степень подавления помех этой квазирезонансной схемой определяется точностью настройки моста на частоту сигнала. Частота пропускания фильтра определяется формулой $f_0 = 1/2\pi RC$. Задавая ёмкостью плеч моста C , например, $C = 0,047$ мкФ, находим величины резисторов плеч моста $R = 338$ Ом. Принимаем ближайший стандартный номинал 330 Ом. Принимая во внимание заводской разброс $\pm 5\%$ сопротивлений и ёмкостей, последовательно к одному из резисторов плеча подключаем переменное сопротивление 50 Ом, с помощью которого производят подстройку частоты пропускания фильтра при отладке схемы. Номиналы деталей «ножек» моста принимаем равными соответственно 0,1 мкФ и 160 Ом. Усиление фильтра по напряжению для частоты сигнала принимаем равным 1, с тем, чтобы сохранить значение масштабного коэффициента сигнала X_1 . Коэффициент усиления фильтра на частоте пропускания f_0 определим из формулы $K_u = 2R/R_{BX}$, отсюда находим сопротивление $R_{BX} = 680$ Ом.

4.2.4 Схема выпрямителя. Отфильтрованный от помех сигнал переменного напряжения преобразуем в постоянное напряжение при помощи схемы прецизионного амплитудного выпрямителя на ОУ (рисунок 5).

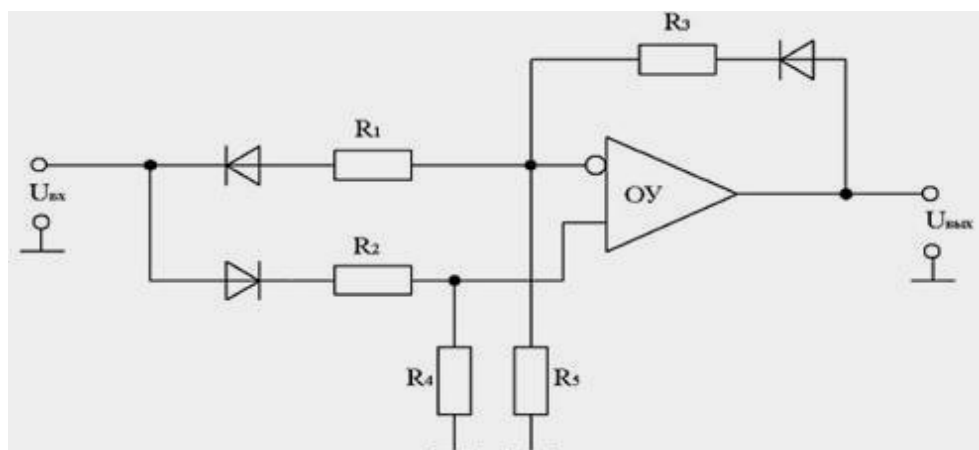


Рисунок 5

Здесь студент даёт краткое описание работы схемы с привлечением формул и временных диаграмм, например, из [2]. Выходное напряжение выпрямителя положительно и равно амплитуде входного напряжения. В целях унификации элементной базы в схемах фильтра и выпрямителя применяем также ОУ типа К140УД14.

4.2.5 Схема ПЧН. Информационный параметр сигнала X2 – частоту 13 следования импульсов преобразуем в однополярное напряжение при помощи ПЧН, в виде готовой ИС типа КР1108ПП1. Эта ИС может работать в режимах и ПНЧ и ПЧН. Здесь студент должен дать описание блок - схемы ИС КР1108ПП1, например, из [4]. Расчёт навесных элементов для работы ИС в режиме ПЧН сводится к определению сопротивления $R_{\text{ИНТ}}$ интегрирующей RC-цепочки, выбору величин опорного напряжения $U_{\text{ОП}}$ и времязадающей ёмкости C_t . Выходное напряжение ПЧН выражается формулой:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ОП}} \cdot R_{\text{ИНТ}} \cdot C_t \cdot f,$$

где f - максимальная частота входного сигнала ПЧН.

Рекомендуемые значения C_t и $R_{\text{ИНТ}}$ берём из [4] (таблицу 4.1). При частотах сигнала до 10 кГц эти значения составляют: $C_t = 3,3$ нФ и $R_{\text{ИНТ}} = 40$ кОм. Максимальное выходное напряжение ПЧН так же, как и напряжение на выходе выпрямителя должно быть равно 1В, с тем, чтобы сохранилось неизменным соотношение между сигналами X1 и X2. Отсюда находим значение опорного напряжения $U_{\text{ОП}} = 1,52$ В. Необходимое значение опорного напряжения снимается с делителя напряжения на резисторах R1 и R2, подключённого к источнику питания +15 В микросхемы КР1108ПП1 (см. там же). Нужно рассчитать сопротивления резисторов делителя.

4.2.6 Схема сумматора. Для суммирования выходных напряжений выпрямителя и ПЧН используем схему инвертирующего сумматора, описанного в [1, 2, 3, 5]. Здесь студент должен дать описание работы сумматора. Суммирование должно быть проведено без изменения масштабирующих коэффициентов слагаемых. В этом случае напряжение на выходе сумматора будет изменяться в пределах от 0 до -2 В. В качестве ОУ используем тоже К140УД14. Расчёт схемы (рисунок 6) не вызывает затруднений и сводится к определению величин сопротивлений.

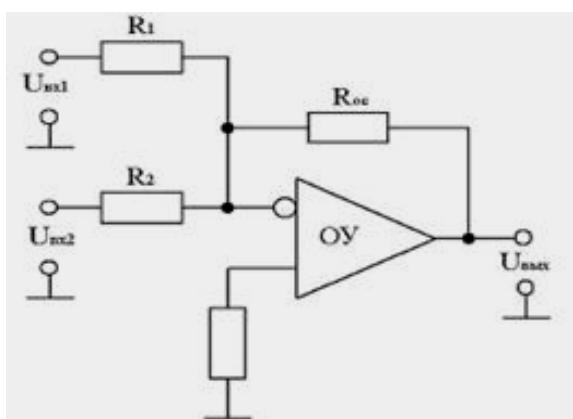


Рисунок 6

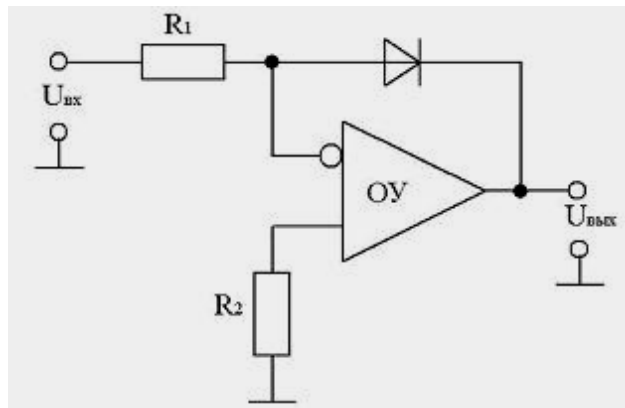


Рисунок 7

4.2.7 Схема логарифматора. Логарифмирование сигнала осуществляется схемой на ОУ, у которой в цепи ОС включён $p-n$ переход (диод или транзистор), как показано на рисунке 7. Следует коротко описать работу логарифматора, например, из [1, 2]. По справочнику [8] выбираем диод, имеющий малый обратный ток.

Диод типа КД520А имеет параметры:

- постоянное прямое напряжение, $U_{пр}$, В; 1,
- постоянный обратный ток, $I_{до}$, мкА. 1.

Максимальный ток диода $I_{дmax}$ в цепи ОС, при котором влиянием его собственного сопротивления можно пренебречь, составляет 0,5 мА.

Сопротивление резистора R_1 определяем из условия $U_{вх max}/R_1 = I_{д max}$, отсюда находим $R_1 = U_{вх max}/I_{дmax} = 2/0,5 \cdot 10^{-3} = 4$ кОм. Ближайший стандартный номинал 3,9 кОм. Максимальное выходное напряжение логарифматора:

$$U_{вых max} = U_T [\ln(U_{вхmax} / R) - \ln I_{до}],$$

здесь U_T – температурный потенциал, равный 26 мВ при $t = 20^0$ С, тогда

$$U_{вых max} = 26 \times 10^{-3} [\ln (2/ 3,9 \cdot 10^3) - \ln 10^{-6}] = 0,162 \text{ В.}$$

Таким образом, работа дифференциатора в линейном режиме будет гарантирована, поскольку напряжение на его входе, подключённом к выходу логарифматора, меньше значения 1 В. Для симметрирования входов ОУ логарифматора сопротивления R_1 и R_2 должны быть одинаковыми, принимаем R_2 тоже равным 20 кОм.

4.2.8 Схема дифференциатора. Выходное напряжение логарифматора должно быть продифференцировано. Эта операция осуществляется схемой на ОУ, описание которой дано в [1, 2, 3, 5, 6]. Здесь нужно остановиться на описании работы схемы дифференциатора (рисунок 8), привести частотные характеристики и временные диаграммы, например, из [2]. Частотный

диапазон дифференциатора должен вмещать в себя весь частотный спектр его входного сигнала, простирающийся от 10 Гц до 100 Гц.

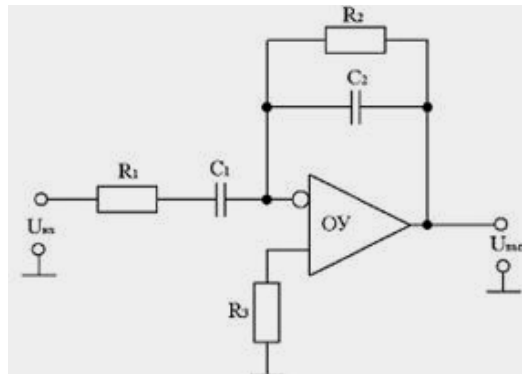


Рисунок 8

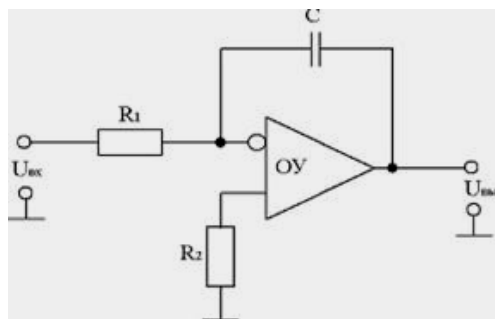


Рисунок 9

Граничные частоты рабочего диапазона дифференциатора связаны с элементами схемы: сопротивлениями и конденсаторами $f_n = 1/2\pi R_2 C_1$, $f_с = 1/2\pi R_1 C_1$. Принимаем частоту среза, равной высшей частоте спектра полезного сообщения, то есть 100 Гц и, задаваясь ёмкостью конденсатора $C_1 = 1,0$ мкФ, находим сопротивления резисторов R_1 и R_2 .

$R_1 = 1/2\pi \cdot 100 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 1,6$ кОм и $R_2 = 1/2\pi \cdot 10 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 16$ кОм. Ёмкость конденсатора C_2 определяем из выражения $f_{cp} = 1/2\pi R_2 C_2$. $C_2 = 1/2\pi \cdot 100 \cdot 16 \cdot 10^3 = 99$ нФ. Сопротивление R_3 служит для симметрирования входной цепи ОУ и должно быть равным активному сопротивлению, соединённому с инверсным входом ОУ. Номинал R_3 тоже принимаем равным 16 кОм. Ёмкость C_2 принимаем равной 100 нФ.

4.2.9 Схема интегратора. Напряжение на выходе схемы (рисунок 9) представляет собой интеграл от напряжения входного сигнала. Данная схема является инвертирующим усилителем, в цепь ООС которого включён конденсатор. Здесь студент описывает работу схемы [1, 2, 3, 5]. Для интегратора нужно выбирать ОУ с очень малым входным током $I_{вх}$ для того, чтобы весь ток сигнала протекал через резистор R и конденсатор C , кроме этого, ОУ, должен иметь большой собственный коэффициент усиления $K_{ио}$.

Таким условиям удовлетворяет К140УД14 [1]. Кроме уже известных параметров ОУ для схемы интегратора имеют значение также и следующие:

- напряжение смещения $\pm e_{см}$, мВ; 5;
- разность входных токов $D_{ивх}$, нА; 1;
- постоянная времени $t_{ОУ}$, с. 16×10^{-3} .

В случае, если постоянная времени выбранного ОУ не приводится в справочнике, её можно определить из формулы $2pf_1 = (K_{uo} + 1)/t_{ОУ}$. АЧХ интегратора имеет наклон -20 дБ/дек, и частота единичного усиления должна соответствовать верхней границе спектра частот сигнала, т.е. 100 Гц, а нижней частоте 10 Гц соответствует коэффициент усиления, равный 10.

Пользуясь выражениями для частоты единичного усиления $w_е = 1/R_1C$ и для нижней частоты рабочего диапазона частот $w_n = 1/R_1C(K_{uo}+1)$, определяем величины R_1 и C схемы интегратора. Прямой вход ОУ должен быть заземлён через сопротивление R_2 , равное R_1 , чтобы уменьшить погрешность интегрирования, вызванную напряжением смещения ОУ. Для этого сопротивления выбираются из условия $R_1 = R_2 \gg e_{см} / D_{ивх}$. Находим:

$$R_1 = R_2 = 5 \cdot 10^{-3} / 1 \cdot 10^{-9} = 5 \cdot 10^6 \text{ Ом,}$$

принимаем номиналы 5,1 мОм.

Ёмкость

$$C = 1/w_е \cdot R_1 = 1/2pf_е \cdot R_1 = 0,031 \times 10^{-9} \text{ Ф,}$$

принимаем номинал 330 пФ. Определим нижнюю частоту рабочего диапазона частот

$$f_n = 1/2p R_1C(K_{uo}+1) = 1/2p 5,1 \cdot 10^6 \cdot 330 \cdot 10^{-12}(50000+1) = 0,0019 \text{ Гц.}$$

Таким образом, схема работает как интегратор во всём диапазоне частот информативного параметра сигнала X2 и даже с запасом.

4.2.10 Схема перемножителя. Перемножение двух сигналов можно осуществить, например, с помощью схем логарифмирования сигналов, сумматора и схемы потенцирования. Имеются также и готовые ИС (К525ПС1 и К525ПС2) четырёхквadrантных перемножителей с параллельно-симметричными транзисторными каскадами [2, 3, 5]. Здесь студент должен дать краткое описание работы перемножителя К525ПС2 по [5], привести его блок-схему и основные параметры.

Выходное напряжение ИС перемножителя К525ПС2 выражается зависимостью $U_{вых} = (U_1 \cdot U_2 / 10) В$. Входные сигналы ИС могут изменяться в пределах $\pm 10,5 В$, погрешность умножения – не более 1 %.

Поскольку сигналы X1 и X2 взаимно независимы и случайны, то на входах перемножителя оба сигнала могут оказаться одновременно максимальными, то есть на выходе дифференциатора $\pm 1,62 В$ и на выходе

интегратора -10 В. В результате на выходе перемножителя напряжение может изменяться в пределах от - 1,61 В до +1,61В.

4.2.11 Схема ПНТ. Выходным сигналом ПНТ является ток, сила которого в нагрузке определяется входным напряжением [1, 2, 5]. В схеме ПНТ ОУ охватывается отрицательной ОС по току (рисунок 10).

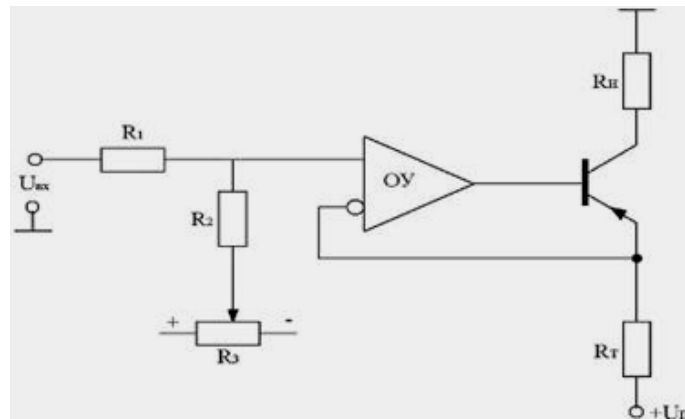


Рисунок 10

Студент должен дать описание работы схемы. В учебнике [1, стр. 331] приводится подробная методика расчёта ПНТ. По заданию полярность выходного тока положительная 0...+20 мА, в то же время входной сигнал ПНТ может быть двухполярным $\pm 1,61$ В. Выражение для тока нагрузки ПНТ:

$$I_H = (U_{ПН} - U_{ВХ}) / R_T,$$

из него следует: чтобы при минимальном сигнале на входе ПНТ, равном -1,62 В, на выходе был ток 0 мА, необходимо на вход подать постоянное напряжение смещения $U_{СМ}$ для достижения условия $U_{ПН} - U_{ВХ} + U_{СМ} = 0$. Способы подачи постоянного смещения на ОУ описаны в [7]. Простая схема смещения показана на рисунке 10 и состоит из переменного резистора R_3 , с которого снимается $U_{СМ}$ и через резистор R_2 подаётся на вход ОУ. Номинал резистора R_2 выбирается из соотношения $R_2 \gg 10R_1$.

Схемы, использованные в пояснениях, изображены без корректирующих цепей ОУ, без выводов питания ОУ и т.д. В общей электрической схеме все эти элементы должны быть отображены.

Приложение А

Таблица А.1 – Варианты заданий на проектирование устройства

Последняя цифра зачётки	Выражение зависимости выходного сигнала Y от входных сигналов X_1 и X_2	Выходной сигнал	Сопротивление нагрузки, R_H
0	$Y = \ln(X_1^2) + \dot{X}_2 dt$	$I_{\text{пост}}$ 0...20 мА	1 кОм
1	$Y = (dX_1/dt) \times (X_1 + \ln X_2)$	Импульсы ТТЛ 0...10 кГц	5 кОм
2	$Y = X_1^2 + \ln(\dot{X}_2 dt)$	$U_{\text{пост}}$ 0...30 В	500 Ом
3	$Y = (\ln X_1) \times (dX_2/dt) + X_2$	$I_{\text{пост}}$ -10...+10 мА	2 кОм
4	$Y = (\ln X_1) \times [d(X_1 + X_2)/dt]$	Импульсы ТТЛ 0...40 кГц	3 кОм
5	$Y = \ln(X_1^2) + \dot{X}_2 dt$	$U_{\text{пост}}$ -20...+20 В	1 кОм
6	$Y = \ln(X_1^2) + dX_2/dt$	$I_{\text{пост}}$ 0...10 мА	3 кОм
7	$Y = (\dot{X}_2 dt) \times \ln(X_1 + X_2)$	Импульсы ТТЛ 0...4 кГц	5 кОм
8	$Y = \ln(X_1 X_2) + dX_2/dt$	$U_{\text{пост}}$ 0...20 В	1 кОм
9	$Y = (\ln X_1) + \dot{(X_1 X_2)} dt$	$I_{\text{пост}}$ 0...30 мА	2 кОм

Приложение Б

Таблица Б.2 - Параметры входных сигналов, помехи и нагрузки

Предпоследняя цифра зачётки	Сигнал X1	Сигнал X2	Аддитивная помеха на сигнале X1	Частотный спектр информативных параметров сигналов
0	$I_{\text{sin}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ $f = 1 \text{ кГц}$	Импульсы ТТЛ $f = 0 \dots 2 \text{ кГц}$	Широкополосная	1...10 Гц
1	$U_{\text{sin}} = 0 \dots 5 \text{ мВ}$ $f = 5 \text{ кГц}$	Активное сопротивление 100...200 Ом	Широкополосная	4...40 Гц
2	$I_{\text{пост}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$	$U_{\text{sin}} = 0 \dots 10 \text{ мВ}$ $f = 2 \text{ кГц}$	Высокочастотная от 150 Гц	10...100 Гц
3	$U_{\text{пост}} = 0 \dots 1 \text{ мВ}$	$I_{\text{sin}} = 0 \dots 5 \text{ мА}$ $f = 4 \text{ кГц}$	Высокочастотная от 250 Гц	20...200 Гц
4	Импульсы ТТЛ $f = 0 \dots 5 \text{ кГц}$	$I_{\text{пост}} = 0 \dots 10 \text{ мА}$	Высокочастотная от 400 Гц	30...300 Гц
5	$I_{\text{sin}} = 0 \dots 1 \text{ мА}$ $f = 10 \text{ кГц}$	$U_{\text{пост}} = 0 \dots 5 \text{ мВ}$	Широкополосная	15...150 Гц
6	$U_{\text{sin}} = 0 \dots 10 \text{ мВ}$ $f = 20 \text{ кГц}$	Импульсы ТТЛ $f = 0 \dots 20 \text{ кГц}$	Широкополосная	50...500 Гц
7	$I_{\text{пост}} = 0 \dots 1 \text{ мА}$	$U_{\text{sin}} = 0 \dots 2 \text{ мВ}$ $f = 2 \text{ кГц}$	Высокочастотная от 300 Гц	20...200 Гц
8	$U_{\text{пост}} = 0 \dots 5 \text{ мВ}$	Активное сопротивление 400...1000 Ом	Высокочастотная от 40 Гц	3...30 Гц
9	Импульсы ТТЛ $f = 0 \dots 2 \text{ кГц}$	$I_{\text{пост}} = 0 \dots 3 \text{ мА}$	Высокочастотная от 200 Гц	10...100 Гц

Приложение В

Ряд	Номинальные значения (Ом, пФ)																							
E24	1,0	1,1	1,0	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1
E12	1,0		1,0		1,5		1,8		2,2		2,7		3,3		3,9		4,7		5,6		6,8		8,2	
E6	1,0				1,5				2,2				3,3				4,7				6,8			

Шкала номинальных значений сопротивлений и ёмкостей.

Пояснения.

Номинальные значения сопротивлений резисторов и ёмкостей конденсаторов стандартизованы. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ 2825 – 67 установлено 6 рядов: E6, E12, E24, E48, E96, E192, а для переменных резисторов в соответствии с ГОСТ 10318 – 80 установлен ряд E6. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом из десятичных интервалов. В обычной практике применяют ряды E6, E12, E24.

Номинальные значения сопротивлений и ёмкостей в каждом десятичном интервале соответствуют указанным в таблице числам, а также значениям, полученным умножением их на 10^n , где n – целое положительное число.

Действительные значения сопротивлений и ёмкостей могут отличаться от номинальных вследствие погрешностей изготовления. Разница между номинальными и действительными значениями, выраженная в % по отношению к номиналу, находится в пределах допустимого отклонения (допуска). Согласно ГОСТ 9664 – 74 для приведённых в таблице рядов E6, E12, E24 допуски составляют соответственно: 20%, 10%, 5%.

Список литературы

Основная

- 1 Лачин В.И., Савелов Н.С. Электроника: Учеб.пособие – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 704 с.
- 2 Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. – М.: Радио и связь, 2005. – 320 с.
- 3 Нефедов А.В. Транзисторы для бытовой, промышленной и специальной аппаратуры: Справочное пособие. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 600 с.
- 4 Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника. Учебник для ВУЗов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002.

Дополнительная

- 1 Нестеренко Б.К. Интегральные операционные усилители: справочное пособие по применению. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
 - 2 Фолкенберри Л. Применение операционных усилителей и линейных ИС. – М.: Мир, 1985.
 - 3 Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М.: Радио и связь, 1990.
 - 4 Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
 - 5 Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Советское радио, 1979.
 - 6 Алексенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых микросхем. – М.: Радио и связь, 1985.
 - 7 Баюков А.В. и др. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
 - 8 Аналоговые интегральные микросхемы: Справочник под ред. Кудряшова В.Д. и др. – М.: Радио и связь, 1991.
- Полезная дополнительная литература
- 9 Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. – Киев.: Техника, 1983.
 - 10 Кофлин У., Дрискол У. Операционные усилители и линейные интегральные схемы. – М.: Мир, 1980.
 - 11 Современные линейные интегральные микросхемы и их применение: Пер. с англ. / Под ред. М.В. Гальперина. – М.: Энергия, 1980.

Абдрешова Самал Бексултановна
Абдрешова Гульмира Нурланкызы

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Методические указания по выполнению курсовых работ
для студентов специальности
5В071900 –Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 100 экз.
Объем 1,38 уч.- изд. л.

Формат 60x84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ _____ Цена 690 тг.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013 Алматы, Байтурсынова, 126