МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет Информатики и радиоэлектроники

Кафедра Информационных систем

и измерительных технологий

Специальность 200106

Задание

На курсовой проект

Подгорнову Олегу Павловичу

Шифр 6041012

Тема работы: Разработать электронный вольтметр переменного тока действующих значений, обеспечивающий измерение напряжения в заданном диапазоне

2. Исходные данные

Диапазон измерения, В: 10-3 – 300;

Диапазон частот, кГц: 0.02 – 200;

Входное сопротивление, не менее, МОм: 2.5;

Входная ёмкость, не более, пФ: 10;

Основная погрешность, %: 1.5;

Рабочий диапазон температур, оС: 10 – 45;

Напряжение питания, В: 220  10 %.

3. Содержание пояснительной записки

3.1. Выбор и обоснование схемы прибора

3.2. Расчет элементов и узлов прибора (расчет принципиальной схемы)

3.3. Оценка погрешности

3.4. Описание прибора

4. Перечень графического материала

4.1. Структурная схема

4.2. Принципиальная электрическая схема

4.3. Чертеж печатной платы

4.4. Электромонтажный чертеж платы

4.5. Сборочный чертеж

5. Дата выдачи задания

6. Срок сдачи проекта

Задание выдал Мельников А.А.

(подпись)

Задание принял

Содержание:

1 Техническое задание

2 Выбор и обоснование схемы прибора

3 Расчет элементов и узлов прибора

3.1 Расчет входного делителя

3.2 Расчет преобразователя импеданса

3.3 Расчет аттенюатора

3.4 Расчет усилителя

3.5 Расчет преобразователя действующих значений (ПДЗ)

4 Оценка погрешности прибора

4.1 Расчет погрешности входного делителя

4.2 Расчет погрешности преобразователя импеданса

4.3 Расчет погрешности аттенюатора

4.4 Расчет погрешности ПДЗ

4.5 Расчет погрешности усилителя

4.6 Расчет основной погрешности прибора

5 Описание спроектированного прибора

6 Выводы по результатам проектирования

7 Список использованной литературы

Приложение A Справочные данные

# Техническое задание

Разработать электронный вольтметр переменного тока действующих значений, обеспечивающий измерение напряжения в заданном диапазоне со следующими характеристиками (параметрами):

Диапазон измерения, В: 10-3 – 300;

Диапазон частот, кГц: 0.02 – 200;

Входное сопротивление, не менее, МОм: 2.5;

Входная ёмкость, не более, пФ: 10;

Основная погрешность, %: 1.5;

Рабочий диапазон температур, оС: 10 – 45;

Напряжение питания, В:220 10 %.

Выбор и обоснование схемы прибора

Электронные вольтметры переменного тока представляют собой сочетание выпрямляющего устройства (детектора), усилителя, измерительного механизма и выполняются по двум схемам:

1. “Детектор – Усилитель постоянного тока”.



Рис. 2.1

Данная схема имеет широкую область частот измеряемых напряжений с верхней границей порядка 0.5 – 1 ГГц, но обладает меньшей точностью и чувствительностью, чем электронные вольтметры, выполненные по второй схеме.

1. “Усилитель – Детектор”.



Рис. 2.2

Данная схема имеет более высокую чувствительность, нижний предел измерения порядка 1 мВ, класс точности порядка 1.5 – 2.5, но меньший диапазон частот измеряемых напряжений, верхняя граница частот не превышает 5 – 10 МГц.

Исходя из технического задания, выбираем вторую схему. Общая структурная схема проектируемого вольтметра представлена на рис. 2.3. Данная схема используется потому, что применение обратных связей, охватывающих несколько блоков, усложняет расчёт и настройку прибора.



Рис. 2.3

Первые четыре элемента, представленные на рис. 2.3, образуют масштабный преобразователь, следующие три – преобразователь действующих значений, а последний – измерительный механизм (ИМ).

Из-за сложности конструирования многопредельного входного высокоомного делителя и для получения требуемого входного сопротивления прибора и точности измерения, входной блок прибора строят на основе одноступенчатого входного делителя, повторителя напряжения и многоступенчатого низкоомного делителя (аттенюатора).

ВД – входной делитель. Представляет собой пассивный одноступенчатый делитель. Состоит из высокоомных сопротивлений, чтобы переключения ВД не сильно изменяли входное сопротивление прибора и корректирующих конденсаторов, чтобы коэффициент деления не зависел от частоты.

ПИ – преобразователь импеданса. Реализован на операционном усилителе КР140УД26 с полной обратной связью и представляет собой повторитель напряжения. Предназначен для согласования сопротивлений входного делителя и аттенюатора.

Атт. – аттенюатор. Осуществляет реализацию нескольких пределов измерения путем деления входной величины на разные коэффициенты. Строится таким образом, чтобы его выходное сопротивление не было в зависимости от предела измерения.

У – однопредельный активный усилитель с постоянным коэффициентом преобразования. Должен обладать малым дрейфом нуля, низким порогом чувствительности, большим диапазоном частот пропускания. Предназначен для получения необходимого коэффициента усиления. Для усиления только переменной составляющей тока перед усилителем необходимо расположить разделительную цепь, которая устранит постоянную составляющую тока.

Преобразователь действующих значений (ПДЗ) предназначен для преобразования переменного тока в постоянный. Может быть реализован двумя способами: с использованием логарифмирующих и антилогарифмирующих устройств; с помощью нелинейных преобразователей с квадратичной характеристикой и устройства, извлекающего квадратный корень. При использовании первого способа преобразователь получается достаточно сложным и имеет небольшую точность преобразования. Структура ПДЗ состоит из следующих трёх блоков:

Кв. ФП – квадратирующий функциональный преобразователь.

УУ – усредняющее устройство.

ФП ИК – функциональный преобразователь, реализующий извлечение квадратного корня.

В данном проекте ПДЗ выполнен на квадратичном преобразователе, основанном на множительно-делительном устройстве на управляемых проводимостях. На входе такого квадратичного преобразователя нет необходимости использовать устройство выделения модуля.

Расчет элементов и узлов прибора

## Расчет входного делителя

Сопротивление входного делителя и входное сопротивление прибора должны быть не менее заданного в техническом задании входного сопротивления прибора, т.е. не менее 2.5 МОм.



Рис. 3.1

С резистора R2 на вход преобразователь импеданса подается напряжение UВЫХ, составляющее часть измеряемого напряжения UВX, задаваемое коэффициентом умножения K равным 0.001, т.е. входной делитель делит входное напряжение на 1000.

, (3.1.1)

где ;

RП – входное сопротивление преобразователя импеданса. RП ≈ 109 Ом.

Сопротивление RП >> (R2 + R3), поэтому можно считать, что R2П ≈ (R2 + R3). Для обеспечения требуемого входного сопротивления прибора Rвх необходимо выполнение условия:

, (3.1.2)

где .

Следовательно,

. (3.1.3)

Зная входное сопротивление преобразователя импеданса RП и входное сопротивление Rвх электронного вольтметра, можно найти RД:

 [МОм].(3.1.4)

Из формул (3.1.2) и (3.1.3) следует, что

 [кОм].(3.1.5)

 [МОм].(3.1.6)

При работе делителя напряжения из активных сопротивлений на переменном токе, коэффициент деления зависит от частоты в результате шунтирования сопротивлений паразитными ёмкостями. Для устранения этой зависимости необходимо осуществить частотную коррекцию путём шунтирования сопротивлений делителя ёмкостями C1 и C2. При этом:

, (3.1.7)

где C2П = C2 + CП;

CП – входная ёмкость преобразователя импеданса. CП ≈ 2 пФ.

Ёмкость конденсатора C1, в основном, определяет входную ёмкость электронного вольтметра Cвх. Приняв C1 ≈ Cвх, получим, что C1 = 10 пФ. Конденсатор C1 подстроечный, поэтому условие, заданное в техническом задании о значении входной ёмкости, выполнимо.

Исходя из условия (3.1.7), получим значение C2:

 [нФ],(3.1.8)

Ограничительные диоды VD1 и VD2 предназначены для защиты преобразователя импеданса от перегрузки по напряжению. В качестве диодов используются Д311, прямое падение напряжения на которых составляет 0.4 В.

R1: С2-29В-0.25-2.49 МОм ± 0.5%

R2: С2-29В-0.25-2.49 кОм ± 0.5%

R3: РП1-85А-0.5-240 Ом ± 10%

C1: КТ4-25-250В-3…15 пФ ± 10%

C2: К71-6-300В-10 нФ ± 10%

## Расчет преобразователя импеданса

Преобразователь импеданса, изображённый на рис. 3.2, основан на неинвертирующем повторителе напряжения. Его достоинством является высокое входное сопротивление.



Рис. 3.2

Ёмкость разделительного конденсатора C3 можно рассчитать по формуле:

. (3.2.1)

Согласно техническому заданию, нижняя граничная частота электронного вольтметра составляет 20 Гц, входное сопротивление ОУ КР140УД26 составляет 1 ГОм, следовательно

 [пФ].(3.2.2)

R4: РП1-85А-0.5-10 кОм ± 10%

С3: К71-6-300В-390 пФ ± 10%

## Расчет аттенюатора

Аттенюатор – это набор однотипных ячеек, представляющих собой симметричные четырехполюсники П- и Т-типов. Равенство и постоянство входных и выходных сопротивлений ячеек аттенюаторов облегчает согласование звеньев канала, через которые проходит преобразуемый сигнал. Затухание (коэффициент деления) в аттенюаторах можно изменять либо изменяя количество включенных ячеек (аттенюаторы с постоянными параметрами звеньев), либо изменяя параметры входящих в ячейки элементов (аттенюаторы с переменными параметрами звеньев).



Рис. 3.3

В электронных вольтметрах, как правило, применяются аттенюаторы с постоянными параметрами звеньев, в качестве которых используются П-образные четырёхполюсники.



Рис 3.4

Коэффициент затухания i-го четырехполюсника Ki определяется как отношение его выходного напряжения Ui к входному Ui+1:

. (3.3.1)

Коэффициент затухания K аттенюатора равен произведению коэффициентов затухания четырёхполюсников:

, (3.3.2)

где n – число четырёхполюсников.

Значение коэффициента затухания i-го звена Ki находится как:

. (3.3.3)

Сопротивление части схемы, находящейся слева от точки 1, согласно теории аттенюаторов, равно R0:

. (3.3.4)

Решая совместно полученные уравнения, получим:

, (3.3.5)

. (3.3.6)

Если аттенюатор должен работать на нагрузку Rн, сопротивление которой не бесконечно велико, принимают верным равенство R0 = Rн.

Диапазон измерения напряжения разрабатываемого электронного вольтметра от 1 мВ до 300 В. Определим количество пределов измерения, число ступеней и коэффициенты затухания аттенюатора.

Соотношение номинальных напряжений двух смежных пределов измерений выбираем равным .

Получим 12 пределов измерения:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № предела | Диапазон, мВ | № предела | Диапазон, В |
| 1 | 0 – 1 | 7 | 0 – 1 |
| 2 | 0 – 3.16 | 8 | 0 – 3.16 |
| 3 | 0 – 10 | 9 | 0 – 10 |
| 4 | 0 – 31.6 | 10 | 0 – 31.6 |
| 5 | 0 – 100 | 11 | 0 – 100 |
| 6 | 0 – 316 | 12 | 0 – 316 |

Исходя из установленных пределов измерения электронного вольтметра и коэффициента деления входного делителя, напряжения на ступенях затухания аттенюатора Ui будут соответственно равны:

U1 = 1 мВ; U2 = 3.16 мВ; U3 = 10 мВ; U4 = 31.6 мВ; U5 = 100 мВ; U6 = 316 мВ.

В соответствии с уравнением (3.3.1),

.(3.3.7)

Тогда из формул (3.3.5) и (3.3.6):

;(3.3.8)

.(3.3.9)

Параллельно соединённые сопротивления могут быть заменены одним:

; ; ;

; ; .(3.3.10)

Зная входное сопротивление усилителя и приняв R0 = Rн = 20 кОм, по формулам (3.3.5) и (3.3.6) определим параметры сопротивлений аттенюатора.

 [кОм];(3.3.11)

 [кОм];(3.3.12)

 [кОм].(3.3.13)

Особенностью аттенюаторов является то, что вне зависимости положения его переключателя, его входное и выходное сопротивления постоянны и равны R0.

Ёмкость разделительного конденсатора C4 можно рассчитать по формуле:

 [нФ] (3.3.14)

Расчетные значения резисторов:

R5, R15: 13.18 кОм

R6, R8, R10, R12, R14: 28.43 кОм

R7, R9, R11, R13: 19.27 кОм

Номинальные значения:

R5, R15: С2-29В-0.25-13.2 кОм ± 0.1%

R6, R8, R10, R12, R14: С2-29В-0.25-28.4 кОм ± 0.1%

R7, R9, R11, R13: С2-29В-0.25-19.3 кОм ± 0.1%

С4: К71-6-300В-390 нФ ± 10%

## Расчет усилителя

Усилитель представляет собой усилитель переменного напряжения, состоящий из двух каскадов, выполненных на ОУ OP37.



Рис 3.5

Коэффициент усиления выбирается исходя из максимального значения величины входного напряжения и величины тока максимального отклонения стрелки измерительного механизма.

В разрабатываемом устройстве применяется измерительный механизм типа М2027-М1, описание которого находится в Приложении А. Данный прибор имеет внутреннее сопротивление 3 кОм и ток полного отклонения стрелки 100 мкА.

Для уменьшения влияния температуры последовательно с ним ставится добавочное сопротивление, номинал которого в 5…10 раз больше внутреннего сопротивления. Принимаем Rдоб = 15 кОм.

Для полного отклонения стрелки измерительного механизма необходимо приложить напряжение, вычисляемое по формуле:

 [В].(3.4.1)

Максимальное напряжение, поступающее на вход усилителя равно 1 мВ, тогда общий коэффициент усиления равен 1800. Принимаем коэффициент усиления первого каскада К1 = 40, а коэффициент усиления второго каскада К2 = 45. Примем R16 и R20 равными 20 кОм. Тогда

R17 = K1∙R17 = 40∙20 = 800 [кОм]. (3.4.2)

R21 = K2∙R20 = 45∙20 = 900 [кОм]. (3.4.3)

Номиналы резисторов R18 и R22 вычисляются по формулам:

 [кОм].(3.4.4)

 [кОм].(3.4.5)

Ёмкость разделительного конденсатора C5 можно рассчитать по формуле:

 [нФ](3.4.6)

R16, R20: С2-29В-0.25-20 кОм ± 0.5%

R17: С2-29В-0.25-806 кОм ± 0.5%

R18: С2-23-0.25-20 кОм ± 10%

R19, R23: РП1-85А-0.5-10 кОм ± 10%

R21: С2-29В-0.25-898 кОм ± 0.5%

R22: С2-23-0.25-20 кОм ± 10%

C5: К71-6-300В-390 нФ ± 10%

## Расчет преобразователя действующих значений (ПДЗ)

Преобразователи действующих значений напряжений могут быть реализованы двумя методами: с использованием логарифмирующих-антилогарифмирующих устройств, но преобразователь получается сложным и невысокоточным; с помощью преобразователей с квадратичной характеристикой и извлекающей квадратный корень. Чаще пользуются вторым методом.

Структурная схема ПДЗ состоит из устройства выделения модуля (УВМ), квадратирующего функционального преобразователя (КФП), усредняющего устройства (УУ) и функционального преобразователя, реализующего извлечение квадратного корня ().



Рис. 3.6

В качестве УВМ входного напряжения в зависимости от граничных значений частоты могут использоваться активные или пассивные преобразователи средних значений (ПСЗ).

В качестве КФП применяются преимущественно терморезисторные, термоэлектрические преобразователи и функциональные преобразователи с естественной нелинейностью характеристик и кусочно-линейной аппроксимацией параболы.

В качестве УУ могут использоваться активные и пассивные фильтры нижних частот.

В данном проекте КФП выполнено на основе множительно-делительного устройства (МДУ) на управляемых проводимостях. На входе такого КФП нет необходимости использовать УВМ. Схема МДУ приведена на рис. 3.7.



Рис. 3.7

МДУ состоит из усилителя рассогласования на операционном усилителе (ОУ) DA4, двух полевых транзисторов VT1 и VT2, расположенных в одном корпусе, преобразователя напряжение-ток на ОУ DA5, преобразователя ток-напряжение на ОУ DA6 и двух источников питания на U0 и E.

Модуль напряжения стабилизации стабилитронов 2С156В VD3 и VD4 Uст = 5.6 В, а ток стабилизации Iст = 5 мА. Следовательно, номиналы сопротивлений R24 и R25 можно определить по формуле:

 [Ом](3.5.1)

Значения напряжений U0 и E равны соответственно +5.6 В и –5.6 В.

Выходное напряжение усилителя рассогласования DA4 управляет проводимостями каналов полевых транзисторов VT1 и VT2 таким образом, чтобы сохранить напряжение на его инвертирующем выходе близким к нулю. При этом i1 + i2 = i3. Откуда

.(3.5.2)

Так как характеристики полевых транзисторов VT1 и VT2 идентичны, то проводимости их каналов равны, то есть g1 = g2 и

. (3.5.3)

Ток i5 на выходе преобразователя напряжение-ток при выполнении условия

(3.5.4)

равен

.(3.5.5)

Постоянная составляющая напряжения на выходе DA6 будет равна

.(3.5.6)

Резистор R26 выбирается исходя из минимально допустимого сопротивления нагрузки для источника входного сигнала Uвх. Так как в качестве него обычно используют электронные усилители, то R26 целесообразно брать большим 10 кОм. Резистор R32 можно брать равным резистору R26. Существенно увеличивать резистор R26 не следует, так как лучшие результаты получаются при больших токах i1, i2, i3, которые не превышают 1 мА. Поэтому, при выборе R26 надо ориентироваться на выполнение неравенств:

[А]; (3.5.7)

, (3.5.8)

где Rдоп – минимальное сопротивление нагрузки источника входного сигнала.

Максимальное выходное напряжение усилителя равно 3 В. Расчеты приведены в п. 3.4. Из неравенства (3.5.7) следует, что R26 > 6 кОм. Приняв значение резистора R32 равным значению резистора R26, из неравенства (3.5.8) получим, что R26 > 2∙Rдоп. Для ОУ КР140УД26 минимальное сопротивление нагрузки составляет 2 кОм (см. Приложение А). Следовательно, R26 > 2∙2∙103 = 4 кОм. Для обеспечения входного сопротивления ПДЗ равным 10 кОм, примем R26 = R32 = 20 кОм, что не противоречит вышеприведенным рассуждениям.

Значение резистора R27 следует выбирать исходя из условий:

, (3.5.9)

, (3.5.10)

где g1min и g1max – минимальное и максимальное значения проводимости “канала” полевого транзистора.

Максимальная проводимость канала у полевого транзистора с управляющим p-n переходом будет при напряжении Uзи = 0 В и будет равно обратной величине сопротивления RСИдиф, равным нескольким десяткам-сотням Ом. Для получения лучших результатов целесообразно подать небольшое запирающее напряжение на затвор относительно стока так, чтобы сопротивление канала RСИдиф стало бы равным RСИдифmin = (2 ÷ 5)∙103, а

. (3.5.11)

Так как g1max известно и априорно заданы напряжения U0 и E, то можно определить значение резистора R27. Из формулы (3.5.10) получим:

 [кОм].(3.5.12)

Резисторы R28 и R31 следует выбирать из условий: R28 = R30; R29 = R31. При этом, ввиду малости тока затвора их номиналы могут быть заданы достаточно большими: R28 = R30 = 100 кОм, R29 = R31 = 0.2∙R28 = 20 кОм. Значения этих резисторов не очень критичны, так как режим работы транзисторов зависит, в первую очередь, от параметров ОУ DA4. Более точно соотношение между резисторами R28, R29 можно найти из условия:

,(3.5.13)

где Uвыхmax – максимальное выходное напряжение ОУ DA4. Uвыхmax = 12 В;

UЗИотс – напряжение отсечки полевого транзистора. UЗИотс = 4 В.

Подставив в выражение (3.5.13) значения параметров, получим:

. (3.5.14)

Суммарное сопротивление резисторов R28, R29 не должно быть большим нескольких сотен килоом. R28 + R29 = 100∙103 + 20∙103 = 120 кОм. Следовательно значения резисторов R28 и R29 не противоречат условиям.

Резисторы R32, R33, R34 выбираются из условия:

. (3.5.15)

При этом следует учитывать, что резистор R32 также источник входного напряжения, как и резистор R26. При R26 = R32 резисторы R33 и R34 следует брать равным сотням килоом. Пусть R34 = 100 кОм. Тогда, по условию (3.5.15):

 [кОм].(3.5.16)

Резистор R35 выбирают из условия:

.(3.5.17)

Откуда

 [кОм].(3.5.18)

Для подавления переменной составляющей выходного напряжения в цепи ОУ DA6 включен конденсатор C7, а на его выходе – ФНЧ. Конденсатор C7 выбирают исходя из требуемой верхней частоты полосы пропускания wв:

, (3.5.19)

где τ = R35∙C7.

 [пФ].(3.5.20)

Ёмкость разделительного конденсатора C6 можно рассчитать по формуле:

 [нФ].(3.5.21)

R24, R25: С2-23-0.25-1.8 кОм ± 10%

R26, R32: С2-29В-0.25-20 кОм ± 0.5%

R27: С2-29В-0.25-5.42 кОм ± 0.5%

R28, R30: С2-29В-0.25-100 кОм ± 0.5%

R29, R31: С2-29В-0.25-20 кОм ± 0.5%

R33: С2-29В-0.25-370 кОм ± 0.5%

R34: С2-29В-0.25-100 кОм ± 0.5%

R35: С2-29В-0.25-61.9 кОм ± 0.5%

R36, R37, R38: РП1-85А-0.5-10 кОм ± 10%

C6: К71-6-300В-820 нФ ± 10%

C7: К71-6-300В-12 пФ ± 10%

Для получения линейной зависимости показаний выходного магнитоэлектрического измерительного прибора электронного вольтметра, после ФНЧ включается преобразователь, в котором извлекается квадратный корень из Uвых КФП.



Рис. 3.8

Устройство, выполняющее операцию извлечения квадратного корня представляет собой ОУ DA7, в ОС которого включен перемножитель DA8.

Напряжение на входе ОУ DA7 равно

,(3.5.22)

где k – коэффициент перемножения микросхемы DA8;

Ku – коэффициент усиления ОУ DA7;

U2 – напряжение на конденсаторе C9;

U3 – суммарное напряжение резисторах R47, R48 и РА1.

Из уравнения (3.5.22) следует, что квадрат выходного напряжения U3 ОУ DA7 равен

.(3.5.23)

При U2 < 0 и если значение элемента в квадратных скобках уравнения (3.5.23) примерно равно 1, то

.(3.5.24)

Следовательно, U2 может быть только отрицательным, иначе схема запирается и в исходное состояние её можно привести только разрывом цепи обратной связи. Для исключения запирания схемы, необходимо на выходе DA7 включить диод VD5, который разрывает ОС при отрицательном выходном напряжении. Сумма токов на входе DA7 равна 0, следовательно

. (3.5.25)

Откуда

. (3.5.26)

Сумма сопротивлений резисторов (R39 + R40 + R41) выбирается исходя из допустимой нагрузки источника напряжения U1, как правило, не меньше 10 кОм и не более 1 МОм. Номинал резистора R42 выбирают исходя из желаемого значения коэффициента преобразования, как правило, в таких же пределах. Для микросхем КР525ПС2А коэффициент перемножения k равен 0.1.

Зададим R39 = R40 = R41 = 100 кОм. Тогда из (3.5.26) следует, что

 [кОм].(3.5.27)

Расчет значения суммарного сопротивления резисторов R47 и R48 приведен выше в п. 3.4. R47 + R48 = 18 кОм. Тогда их значения примем равными R47 = 12 кОм и R48 = 6 кОм.

Ёмкости конденсаторов C8 и C9 УУ (ФНЧ) можно рассчитать по формуле:

 [нФ].(3.5.28)

R39, R40, R41: С2-29В-0.25-100 кОм ± 0.5%

R42: С2-29В-0.25-54.2 кОм ± 0.5%

R43: РП1-85А-0.5-10 кОм ± 10%

R44, R45, R46: РП1-85А-0.5-22 кОм ± 10%

R47: С2-23-0.25-12 кОм ± 10%

R48: РП1-85А-0.5-6.8 кОм ± 10%

Оценка погрешности прибора

## Расчет погрешности входного делителя

Относительная погрешность коэффициента деления K при изменении сопротивлений находится как

, (4.1.1)

где ;

.

Следовательно, из (4.1.1) получим:

.(4.1.2)

Данная погрешность устраняется с помощью подстроечного резистора R3 и её можно не учитывать.

## Расчет погрешности преобразователя импеданса

В качестве преобразователя импеданса применяется неинвертирующий усилитель, коэффициент усиления которого зависит от частоты и определяется по формуле:

, (4.2.1)

где Kу.u – функция коэффициента усиления микросхемы ОУ;

 – коэффициент ОС.

Поскольку усилитель включен по схеме повторителя напряжения, то R1 = ∞, а R2 = 0. Следовательно, из (4.2.1) γ = 1.

По графику зависимости коэффициента усиления ОУ от частоты определим значения коэффициента усиления на граничных частотах. Kу.u(20 Гц) = 106, Kу.u(200 кГц) = 104.

, (4.2.2)

,(4.2.3)

Погрешность преобразователя импеданса можно определить по формуле:

.(4.2.4)

## Расчет погрешности аттенюатора

Относительная погрешность j-го звена определяется по формуле:

,(4.3.1)

где  – суммарная относительная погрешность резистора Ri;

 – суммарная относительная погрешность резистора Ri+1;

δiр, δ(i+1)р – относительная погрешность, возникающая в результате несовпадения расчетного и номинального значений соответственно резисторов Riр, R(i+1)р;

δiн, δ(i+1)н – допускаемые отклонения номинальных сопротивлений резисторов Riн, R(i+1)н.

Абсолютные величины относительной погрешности, возникающей в результате несовпадения расчетного и номинального значений резисторов Ri и Ri+1, находятся по формулам:

, (4.3.2)

, (4.3.3)

где  – абсолютное значение погрешности сопротивления Ri;

 – абсолютное значение погрешности сопротивления Ri+1;

Riр, R(i+1)р – расчетные значения сопротивлений резисторов Ri, Ri+1;

Riн, R(i+1)н – номинальные значения сопротивлений резисторов Ri, Ri+1.

Определим суммарные погрешности резисторов:

,(4.3.4)



.(4.3.6)

Определим относительные погрешности для каждого звена:



(4.3.8)

Относительная погрешность аттенюатора равна:

.(4.3.9)

## Расчет погрешности ПДЗ

Для квадратичных преобразователей характерно, что коэффициент усиления транзисторов VT1 и VT2 существенно не изменяется в рабочем диапазоне частот вольтметра. Дрейф нуля операционных усилителей составляет 0.5 мкВ/град, коэффициент усиления изменяется в рабочей полосе частот на 10 %.

Для аналогового перемножителя погрешность преобразования составляет 1.0 %.

Суммарное значение погрешности ПДЗ, в котором учтены составляющие, вносимые активными интегральными компонентами, составляет 1.12 %.

## Расчет погрешности усилителя

Коэффициент усиления усилителя зависит от частоты и определяется по формуле:

, (4.5.1)

где Kу.u – функция коэффициента усиления микросхемы ОУ;

;

.

По графику зависимости коэффициента усиления ОУ от частоты определим значения коэффициента усиления на граничных частотах. Kу.u(20 Гц) = 106, Kу.u(200 кГц) = 104.

Определим погрешность для первого каскада усилителя.

,(4.5.2)

,(4.5.3)

,(4.5.4)

,(4.5.5)

,(4.5.6)

Определим погрешность для второго каскада усилителя.

,(4.5.7)

,(4.5.8)

,(4.5.9)

,(4.5.10)

,(4.5.11)

Определим погрешность усилителя по формуле:

,(4.5.12)

Расчет основной погрешности прибора

Основная погрешность прибора вычисляется по формуле:

(4.6.1)

Полученное значение основной погрешности соответствует требованиям технического задания (не более 1.5 %).

Описание спроектированного прибора

Электронный вольтметр действующего значения переменного тока является переносным электроизмерительным прибором, предназначенным для измерения действующего значения переменного напряжения со следующими характеристиками:

1. Диапазон измерения: 1 мВ – 300 В;
2. Диапазон частот: 20 Гц – 200 кГц;
3. Входное сопротивление: не менее 2.5 МОм;
4. Входная емкость: не более 10 пФ;
5. Основная погрешность: 1.5 %.

В качестве электроизмерительного прибора в электронном вольтметре применяется микроамперметр М2027-М1 магнитоэлектрической системы со стрелочным указателем с подвижной частью на растяжках, с антипараллаксным устройством, с током полного отклонения 100 мкА и имеющий две шкалы: 0…10 и 0…31.6.

Расширение диапазонов измерения достигается за счет использования делителя, аттенюатора и электронного усилителя.

Питание вольтметра производится от сети переменного тока 220 В 50 Гц.

Вольтметр предназначен для работы при температуре окружающей среды от 10˚С до 45˚С.

Рабочее положение прибора – горизонтальное.

Ручка переключателя диапазонов измерений, выключатель сети и входное гнездо выведены на переднюю панель прибора.

Вольтметр является законченной конструкцией. Все основные блоки прибора размещены в прямоугольном металлическом корпусе.

При эксплуатации прибора необходимо соблюдать следующие требования:

1. Перед проведением измерений включить вольтметр в сеть и прогревать в течение 10 – 15 минут;
2. Перед началом измерений убедиться, что стрелка измерителя покоится на левой крайней отметке шкалы;
3. Начинать измерения рекомендуется с верхних пределов измерения, лишь затем при необходимости переходить на нижние ступени аттенюатора.

Не реже одного раза в шесть месяцев рекомендуется поверять прибор в соответствии с инструкцией 184-62 “Поверка амперметров, вольтметров, ваттметров, вариометров”.

Принципиальная схема вольтметра приведена на чертеже 4032.525018.000 Э3.

Выводы по результатам проектирования

В данном курсовом проекте был разработан электронный вольтметр переменного тока действующего значения, удовлетворяющий следующим требованиям технического задания:

1. Диапазон измерения: 1 мВ – 300 В;
2. Диапазон частот: 20 Гц – 200 кГц;
3. Входное сопротивление: не менее 2.5 МОм;
4. Входная емкость: не более 10 пФ;
5. Основная погрешность: 1.5 %.
6. Рабочий диапазон температур: 10 - 45 ˚С;
7. Напряжение питания: 220 В ± 10 %.

# Список использованной литературы

1. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: Высш. шк., 2004.
2. Аналоговые измерительные устройства: Учебное пособие / В.Г. Гусев, А.М. Мулик; Уфимск. гос. авиац. техн. у-нт. Уфа, 1996.
3. Гусев В.Г., Мулик А.В. Проектирование электронных аналоговых измерительных устройств. – Уфа, 1990 г.
4. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – Л.: Энергоатомиздат, 1988 г.
5. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник / В.А. Аронов, А.В. Баюков, А.А. Зайцев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1982 г.
6. Полупроводниковые приборы: Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник / А.В. Баюков, А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983 г.
7. А.И. Аксенов, А.В. Нефедов. Резисторы, конденсаторы, провода, припои, флюсы. Справочное пособие. – М.: “Солон-Р”, 2000 г.
8. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К., Терехова М.В. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. – М.: Издательство стандартов, 1992 г.
9. The Complete RS Catalogue on CD. 2004 г.
10. Каталог фирмы “ЧИП Индустрия”. 2003 г. www.chipindustry.ru.
11. Справочные данные

Описание измерительного механизма М2027-М1.

Измерительный механизм представляет собой прибор общетехнического назначения постоянного тока типа М2027-М1, электроизмерительный прибор магнитоэлектрической системы со стрелочным указателем с подвижной частью на растяжках и с антипараллаксным устройством.

Применяется для измерения постоянного тока стационарных, переносных устройств, эксплуатируемых в различных областях промышленности, науки и техники в качестве показывающих приборов.

По устойчивости к климатическим воздействиям соответствуют ГОСТ 22261-76 (группа 5).

Изготавливаются с нулевой отметкой на краю диапазона измерения и имеют следующие технические характеристики:

Диапазон измерения: 0…100 мкА;

Класс точности: 1.0;

Внутреннее сопротивление: не более 3 кОм;

Длина шкалы: 100 мм;

Время успокоения подвижной части: не более 3 с;

Габаритные размеры: 120 х 105 х 75 мм;

Масса: 0.5 кг;

Наработка на отказ: не менее 27500 ч;

Средний срок службы: не менее 6 лет;

Прибор соответствует ТУ 25-04.3618-78.

Описание операционного усилителя КР140УД26.

КР140УД26 – широкополосный прецизионный усилитель со сверхнизким значением выходного напряжения шума и высоким коэффициентом усиления напряжения. Внутренняя частотная коррекция отсутствует. Предназначен для построения малошумящих широкополосных систем с большим коэффициентом усиления. Корпус типа 2108.8-1.

При балансировке микросхемы с помощью потенциометра с номиналом   
10 кОм ± 20 % температурный коэффициент напряжения смещения не изменяется.

Электрические параметры при Uп = ± 15 В ± 10 %, Rн = 2 кОм, T = 25 oC:

Максимальное выходное напряжение: не менее ± 12 В;

Напряжение смещения нуля: не более ± 30 мкВ;

Входной ток: не более ± 40 нА;

Ток потребления: не более ± 4.7 мА;

Разность входных токов: не более ± 35 нА;

Коэффициент усиления напряжения: не менее 106;

Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений: не менее 114дБ;

Коэффициент влияния нестабильности источников питания на напряжение смещения: не более 10 мкв/В;

Частота единичного усиления: не менее 20 МГц;

Скорость нарастания выходного напряжения: не менее 11 В/мкс.

Предельно допустимые режимы эксплуатации:

Напряжение питания: ± (13.5…16.5) В;

Входное синфазное напряжение: не более ± 10 В;

Сопротивление нагрузки: не менее 2 кОм;

Температура окружающей среды: –10…+70 oC.Описание аналогового перемножителя сигналов КР525ПС2А.

Микросхема КР525ПС2А представляет собой четырехквадрантный аналоговый перемножитель сигналов с операционным усилителем на выходе. Содержит 62 интегральных элемента, корпус типа 201.14-1, масса не более 1

Электрические параметры:

Номинальное напряжение питания: ± 15 В ± 10 %;

Выходное напряжение: не менее ± 10.5 В;

Остаточное напряжение по входу X: не более 80 мВ;

Остаточное напряжение по входу Y: не более 60 мВ;

Ток потребления: не более ± 6 мА;

Входной ток по входам X и Y: не более 4 мкА;

Коэффициент влияния нестабильности источников питания на погрешность перемножения: не более 0.5 %;

Нелинейность перемножения по входу X: не более ± 0.8 %;

Нелинейность перемножения по входу Y: не более ± 0.5 %;

Полоса пропускания по входам X и Y: не менее 0.7 МГц;

Погрешность перемножения: не более ± 1 %;

Предельно допустимые режимы эксплуатации:

Максимальное входное напряжение по входам X, Y, Z: ± 10 В;

Минимальное сопротивление нагрузки: 2 кОм;

Максимальная ёмкость нагрузки: 100 пФ;

Температура окружающей среды: –45…+85 oC.

Схемы подключения логометров к внешней цепи

*1* – логометр; *2* – магазин сопротивлений; *3* – образцовый мост; *4* – образцовый магазин сопротивлений; *RЛ* – резистор, имитирующий сопротивление внешней цепи; *R* – регулировочное сопротивление (магазин сопротивлений); *Rогр* – резистор, имитирующий сопротивление, ограничивающее ток в цепи питания логометра; *Uпит* – напряжение питания логометра; *В* - выключатель

*0,5RЛ*

*0,5RЛ*

4

*R*

*Uпит*

*в*

*0,5RЛ*

*0,5RЛ*

*-1,5В*

*б*

*Rогр*

4

*RЛ*

4

*R*

*Uпит*

*г*

*0,5RЛ*

*0,5RЛ*

2

*R*

*Uпит*

3

*В*

*а*