**«Разработка измерительного преобразователя».**

**Задание:**

Требуется разработать измерительный преобразователь со следующими техническими характеристиками:

* Напряжение входного сигнала *℮с=20 мВ*
* Максимальное значение частоты входного сигнала *fс=0,3 мГц*
* Погрешность нелинейности =1,5%
* Значение выходного сигнала *Uвых=3 В*
* Измерительный преобразователь должен запитываться от источника постоянного напряжения *Е1, Е2=32 В*
* Нестабильность источников питания *δЕ=20%*

Исходя из технического задания, измерительный преобразователь должен содержать усилитель переменного напряжения, поскольку данный усилитель предназначен для усиления только переменой составляющей входного сигнала;

двухполупериодный выпрямитель, осуществляющий преобразование переменного напряжения в средневыпрямленное значение;

фильтр низкой частоты, предназначенный для сглаживания пульсаций входного сигнала выпрямителя;

масштабирующий усилитель, осуществляющий приведение выходного сигнала измерительного преобразователя к номинальному значению.

Структурная схема измерительного преобразователя переменного напряжения в постоянное приведена на рисунке 1.

℮с Uвых

ФНЧ

МУ

В

У

СТ2

СТ1

UСТ1 UСТ2

Е1

Е2

На рисунке 1 введены следующие обозначения:

У - усилитель переменного напряжения;

В - выпрямитель;

ФНЧ - фильтр низкой частоты;

МУ - масштабирующий усилитель;

СТ1, СТ2 - стабилизаторы напряжений;

**Разработка принципиальной электрической схемы.**

На основании структурной схемы была разработана функциональная, а затем и принципиальная электрическая схема. Поскольку принципиальная и функциональная схемы измерительного преобразователя, построенного на интегральных микросхемах отличаются незначительно (в функциональных схемах отсутствует нумерация выводов микросхемы), описание принципа действия основных узлов будем вести по принципиальной электрической схеме.

**Описание основных узлов измерительного преобразователя.**

Усилитель переменного напряжения выполнен на операционных усилителях *Э1, Э2*, резисторах *R1-R4*, конденсаторе *С1*. Он предназначен для усиления только переменной составляющей входного сигнала. Применение данного усилителя позволяет существенно уменьшить погрешность, обусловленную смещением и дрейфом нуля операционного усилителя. Первый каскад усилителя выполнен по схеме инвертирующего усилителя. Он имеет коэффициент усиления *R3/R1*. Второй каскад выполнен по схеме буферного повторителя напряжения. Его значение - обеспечить лучшее согласование выхода усилителя переменного напряжения со входом двухполупериодного выпрямителя. Переходная цепочка *С1, R4* не пропускает постоянной составляющей выходного сигнала первого каскада усилителя на вход второго каскада. Как известно, передаточная функция такой цепи описывается выражением*: Кц (р) = рτц /1+ рτц*, где

*τц = С1R4* - постоянная времязадающая цепи. (1).

Двухполупериодный выпрямитель выполнен на микросхемах *Э4, Э6,* резисторах *R8, R9, R10, R14*, диодах *D1, D2*. Выпрямитель работает следующим образом. При входном сигнале *Uвх>0* сигнал проходит на выход усилителя, через усилитель *Э4*, диод *D2*, усилитель *Э6*, а обратная связь замыкается через резисторы *R9, R14*. При этом очевидно, что *Uвых= Uвх**(R8+R9+R14/R8).* Если же *Uвх<0* , то открывается диод *D1*, диод *D2* закрыт и выходное напряжение формируется в результате усиления инвертирующим усилителем *Э6* напряжения, поступающего с выхода повторителя на основе *Э4*. В результате *Uвых= - Uвх \* R14/ R9*. Постоянство модуля коэффициента передачи будет достигаться при:

*1+ R9/ R8 + R14/R8 = R14/ R9* (2)

В частности, если *R8 = ∞ и R9 = R14, то Uвых= Uвх*

В качестве ФНЧ выбираем активный ФНЧ.

Применение активного ФНЧ позволяет исключить из структурной схемы измерительного преобразователя масштабирующий усилитель. Передаточная функция активного фильтра описывается выражением

*Кф(р) = - R17/ R15\*1/рС6 R17+1* (3)

Подобный фильтр применяется в тех случаях, когда необходимо усилить постоянную составляющую входного сигнала фильтра и сгладить с этом сигнале пульсации.

**Расчет параметров элементов схемы**

**измерительного преобразователя.**

При разработке принципиальной схемы использовались:

* Операционный усилитель 154 УД2
* Стабилизаторы напряжения

имеющие следующие характеристики:

**Микросхема 154 УД2:**

коэффициент усиления *К*, тыс - 104

напряжение питания *±Uп, В* - 13,5-16,5

напряжение смещения *±lсм, мВ* - 2

входной ток *iвх, нА* - 100

граничная частота *f, мГц* - 50

сопротивление нагрузки *Rн, кОм* - ≥ 2

дрейф нуля *ТКlсм мкВ/К*- 20

Ток потребления *Iпотр , мА*- 10

**Микросхема К142 ЕН 3:**

Выходное напряжение *Uвых, В*- 3-30

Ток нагрузки *Iнmax, А-* 1

*Uвх max, В-* 45

*Uвх min- Uвых, В*- 4

*Кст %/В-* 0,05

*ТК Uвых %/К-* 0,01

*Uвх min* - 9

Определяем общий коэффициент передачи измерительного преобразователя: *К = Ку\*Кв\*Кф=150*, где

*Ку,Кв,Кф* - коэффициенты передач усилителя, выпрямителя и фильтра соответственно.

Распределим коэффициенты передач *Ку, Кв,Кф* следующим образом:

*Ку=3, Кв=5, Кф=10.*

**Расчет параметров усилителя**

**переменного напряжения.**

Для обеспечения достаточно высокого входного сопротивления измерительного преобразователя, равного суммирующему сопротивлению *R1*, выбираем *R1=10кОм*. Тогда *R3* определится из уравнения *R3/R1=Ку=3;*

*R3=30кОм*. Значение сопротивления резистора *R2* выбирается из уравнения *R2= R1\*R3/ R1+R3. R2=10\*30/10+30≈7,5кОм.*

Выходное сопротивление 1-го каскада усилителя определится как

*Rвых ос= Rвых/1+ Куβ*, где *Rвых ос* - выходное сопротивление 1-го каскада, охваченного обратной связью; *Rвых* - выходное сопротивление собственно Оу.

*Rвых≈500Ом; Ку* - коэффициент усиления на рабочей частоте *fс max=0,3мГц*

*Ку≈f1/fс max=50/0,3≈180*; *β*-глубина обратной связи *β= 1/R1+R3=10/40=0,25.*

Тогда *Rвых ос=500/1+180\*0,25≈10 Ом*.

Выходное сопротивление 2-го каскада усилителя (*β=1*)

*Rвых ус =500/1+180≈2,8 Ом.*

Погрешность нелинейности *γ н= ­­–1/ Куβ=1/180\*0,25≈2%.*сказанное справедливо, если О.у. представлен аппериодическим звеном 1-го порядка. В реальном случае Оу моделируется аппериодическим звеном 2-го и даже 3-го порядка. При этом реальный коэффициент усиления *Ку* возрастает больше, чем на порядок, что приводит к уменьшению погрешности нелинейности более, чем на порядок, т.е*. γ н≈0,2%,* что соответствует требованиям технического задания.

При расчёте переходной цепи из выражения для передаточной функции (1) получим выражение для модуля комплексного коэффициента передачи.

*Кц (ω)= ω τц /V1+ ω2 τ2 ц  (4)*

Используя это выражение построим логарифмическую амплитудно-частотную характеристику.

*20lgkц*

*0 ω=1/τ ц ωс max=2πfc max*

*ω*

*20дб/дек*

-*20lgkц*

Определим значения параметров *С1, R4* переходной цепи. Предположим, что коэффициент передачи *Кц* при максимальном значении частоты входного сигнала *fс =0,3мГц* меньше 1 на 1%. Как следует, из выражения (4), этому условию соответствует неравенство *ωс τц  ≥10*,

откуда *τц ≥10/2П\*0,3\*106 =5\*10-6с*. Задаёмся значением *R4=10кОм* и определяем значение *С1: С1≥ τц / R4=5\*10-6 /104=500пФ*. Выбираем значение *С1=1000пФ.*

**Расчёт параметров**

**двухполупериодного выпрямителя.**

Коэффициент передачи *Кв*выпрямителя, как было определено выше, должен быть равен *Кв=5.* Постоянство модуля коэффициента передачи для положительных и отрицательных полуволн входного сигнала обеспечивается при выполнении условия *1+ R9/ R8+ R14/ R8= R14/ R9=5*. Выбираем значение *R9=10кОм*, тогда *R14==50кОм*. Выбираем ближайшее из ряда *Е24 R14==51кОм*. Тогда *R8=15кОм*.

Значение сопротивления *R10= R9\* R14/ R9+ R14=510/61≈8,2кОм.*

**Расчёт параметров активного фильтра.**

Коэффициент передачи фильтра, как было определено выше, должен быть равен *Кф =10*. Из выражения для передаточной функции (3) получим выражение для модуля комплексного коэффициента передачи

*Кф (ω)= – R17/ R15 · 1/√1+ ω2 τ2 , где τ=С6\* R17* (5)

При передачи постоянной составляющей входного сигнала *ω=0*, тогда

*Кф = –R17/ R15*. Задаёмся значением *R15=10кОм*, тогда *R17=100кОм*. Значение *R16* определяется из условия *R16= R15\* R17/ R15+ R17≈9,1кОм*. Используя выражение (5) построим логарифмическую амплитудно-частотную характеристику фильтра.

*20lgkф*

*20lgkф*

*ω1=1/τ ωср=10/τ ωс=2пfс*

*ω*

Частота сопряжения ω определяется из условия *ω1 = 1/ τ*. На этой частоте модуль комплексного коэффициента передачи *К(ω)= – R17/ R15 · 1/√2.* Частота среза *ωср*при которой модуль комплексного коэффициента передачи *Кф (ω)=1*, как следует из выражения (5), равна *ωср = 10/ τ.* Действительно пренебрегая 1 в подкоренном выражении (5) получим

*Кср = – R17/ R15 · 1/10=1.*

Определим значения параметров времязадающей цепи *τ* условия, что пульсации при максимальном значении частоты выходного сигнала *fс* не будет превышать 1% от постоянной составляющей. Данному условию удовлетворяет очевидное неравенство *ωс τ ≥100*. При выполнении этого условия из выражения (5) получим *Кф (ωс)= – R17/ R15 · 1/100*. Постоянная времязадающей цепи *τ* при этом должна быть τ*≥100/ωс=100/2пfс=100/6,28\*0,3\*10-6=10-4/2=50мкс*. Поскольку *τ=С6 R17*, значение ёмкости конденсатора *С6 ≥ τ/ R7=50\*10-6/105 =500пФ*. Выбираем значение *С6=1000пФ*.

**Расчёт стабилизаторов напряжения.**

Определяем диапазон изменения напряжения

*Е1,2 min= Е1,2 –δе Е1,2=32–6,4=25,6В.*

*Е1,2 mах= Е1,2 +δе Е1,2=32+6,4=38,4В.*

Напряжение питания микросхем измерительного преобразователя ±15В.

Всем этим требованиям удовлетворяет стабилизатор напряжения К142 ЕН 3 (см. технические характеристики на микросхему). В соответствии с рекомендациями на применение микросхемы К142 ЕН 3. Значения сопротивлений резисторов *R7= R13=1,5кОм, R6= R12=15кОм*, ёмкости конденсаторов *С2=С4=0,01мкФ, С3=С5=22мкФ*. Резисторы *R5, R11* предназначены для защиты стабилизаторов от перегрузки выходным током. Значения сопротивления этих резисторов *R5=R11=1,5Ом*.

Все резисторы, которые определяют коэффициент передачи измерительного преобразователя – высокочастотные типа *С2–29В ±0,5%,* остальные типа *С2–33±5%.*

**Литература**

1. Гутников В.С. «Интегральная электроника в измерительных устройствах». Энергоатомиздат 1988 г.
2. Справочник «Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы». Радио и связь, 1989 г.