

В.С. МЕЛЕНТЬЕВ

Ю.М. ИВАНОВ

А.Е. СИНИЦЫН

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

**Учебно-методическое пособие по дисциплине
«Основы проектирования приборов и систем»**

**Самара
Самарский государственный технический университет
2013**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Ка ф е д р а «Информационно-измерительная техника»

В.С. МЕЛЕНТЬЕВ
Ю.М. ИВАНОВ
А.Е. СИНИЦЫН

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АНАЛОГОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Учебно-методическое пособие по дисциплине
«Основы проектирования приборов и систем»

Самара, 2013

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 621. 317

М 47

Мелентьев В.С.

Проектирование и расчет аналоговых измерительных преобразователей: учебно-методическое пособие по дисциплине «Основы проектирования приборов и систем» / *В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.Е. Сеницын.* – Изд. 2-е, испр. и дополн. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 81 с.

Рассматриваются основные этапы курсового проектирования и требования, предъявляемые к оформлению проекта. Приведены примеры проектирования и расчета аналоговых измерительных преобразователей. Содержатся варианты индивидуальных заданий на проектирование.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению бакалавриата 200100 «Приборостроение» (профиль «Информационно-измерительная техника и технологии»).

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.И. Батищев

УДК 621. 317

М 47

© В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов,
А.Е. Сеницын

© Самарский государственный
технический университет, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Целями освоения дисциплины являются изучение принципов построения приборов и систем и привитие навыков их проектирования, конструирования и разработки проектно-конструкторской документации.

Изучение дисциплины связано с получением основных сведений о физических основах и принципах построения приборов и систем и перспективах их развития, о теоретических и практических основах расчета, проектирования и конструирования электронных измерительных средств и оформления проектно-конструкторской документации для изделий приборостроительной отрасли [1].

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать принципы построения современных приборов и систем, виды измерительных сигналов, применяемые в приборах, и их характеристики, принципы действия и методы расчета приборов для измерения различных физических величин, основные этапы проектирования, методы и средства автоматизации проектных работ;

- уметь разрабатывать структурно-математические модели процессов, протекающих в приборах, строить характеристики преобразования приборов и систем, анализировать и рассчитывать статические и динамические погрешности, проектировать и конструировать различные типы систем, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях с использованием средств компьютерного моделирования, составлять проектную документацию [3];

- владеть навыками проектирования средств измерений для решения конкретных задач измерения, контроля и диагностики, разработки конструкций, создания проектной документации.

Курсовое проектирование имеет целью обучение студентов практическому применению знаний по материалу основных разделов дисциплины «Основы проектирования приборов и систем», формирование у них умения самостоятельной работы по проектированию средств измерений, вооружение практикой моделирования разработанных преобразователей для исследования режимов их работы.

Основными задачами курсового проекта следует считать: развитие у обучаемых навыков научно-исследовательской работы в части описания и формального представления измерительных средств; практическое освоение методологии планирования и проведения экспериментов с машинными моделями; приобретение опыта выработки обоснованных решений; совершенствование приемов работы с научно-технической и нормативной литературой, а также повышение уровня инженерной культуры при разработке проектной документации.

Предлагаемое учебное пособие состоит из четырех разделов. В первом разделе содержатся рекомендации по организации выполнения курсового проекта и защите его результатов. Второй раздел посвящен содержательному наполнению проекта и включает в себя основы теории измерения среднеквадратических сигналов и мощности, типовой пример расчета измерительного преобразователя и моделирования его принципиальной схемы с помощью программы схемотехнического моделирования Multisim. В третьем разделе приведены типовые задания на проведение исследования. Материал четвертого раздела связан с формальными аспектами представления результатов проделанных исследований.

По окончании выполнения и защиты курсового проекта студенты должны уметь комплексно подходить к решению задач проектирования и расчета измерительных приборов и систем на основе системного подхода, разрабатывать и отлаживать машинные модели в современных программно-аппаратных средах, планировать и проводить эксперименты с моделями на компьютере, интерпретировать результаты исследования, обосновывать выводы и предложения, работать с научно-технической и справочной литературой, оформлять документацию в соответствии с требованиями нормативных документов, докладывать основные результаты исследований перед аудиторией.

Курсовой проект призван вести подготовку студентов к итоговой стадии обучения в университете – выполнению выпускной квалификационной работы и вооружить их умением пользоваться таким мощным инструментарием, как современные средства моделирования, для принятия обоснованных решений в последующей практической деятельности.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект выполняется студентами в процессе обучения по направлению 200100 – «Приборостроение» (профиль «Информационно-измерительная техника и технологии») в рамках изучения дисциплины «Основы проектирования приборов и систем» в пятом семестре.

Для руководства деятельностью обучаемых назначается руководитель, который составляет задание на курсовой проект, следит за ходом его выполнения, проводит консультации, оказывает студентам помощь в процессе исследований.

Каждому студенту выдается индивидуальное задание. Проект выполняется во время самостоятельной работы и в процессе консультаций с руководителем. Практическая часть исследований проводится на информационно-вычислительном центре кафедры «Информационно-измерительная техника». При необходимости место работы может выбираться обучаемым самостоятельно.

По окончании исследований студент представляет преподавателю отчет (пояснительную записку) на проверку. При положительном решении преподавателя о результатах выполнения проекта слушатель допускается к защите. На защите он докладывает комиссии о проведенных изысканиях, отвечает на вопросы, поясняет сущность своих решений. По результатам защиты выставляется оценка. Получение неудовлетворительной оценки ведет к выполнению нового проекта или переработке прежнего в сроки, установленные заведующим кафедрой по согласованию с деканатом факультета.

1.1. ЭТАПЫ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

На выполнение курсового проекта студенту отводится 30 часов самостоятельной работы. Для планирования им своей деятельности и осуществления контроля за ходом выполнения работы со стороны преподавателя рекомендуется следующее распределение времени по этапам.

На первом этапе (4 часа) студенты получают индивидуальные задания, изучают рекомендации по выполнению работы, приступают к анализу задания и его выполнению. Содержание начального этапа исследований составляет уяснение поставленной задачи, подбор необходимой литературы, описание исследуемой структурной схемы измерительного преобразователя, вывод его функции преобразования и функций преобразования отдельных блоков схемы, разработка функциональной схемы преобразователя.

На втором этапе (6 часов) студент на основе исследования известных решений, их корректировки и доработки разрабатывает принципиальную схему измерительного преобразователя в соответствии с его функциональной схемой.

Третий этап (4 часа) заключается в обосновании требований к элементной базе преобразователя, расчете и выборе основных элементов принципиальной схемы на основе анализа справочной литературы и каталогов фирм-производителей.

На четвертом этапе (2 часа) проводится теоретический анализ погрешности преобразователя.

Пятый этап (6 часов) заключается в моделировании разработанной принципиальной схемы с помощью программы схемотехнического моделирования Multisim на компьютере и снятии характеристик в отдельных точках схемы.

Шестой этап (2 часа) посвящен сопоставлению полученных экспериментальных результатов с расчетными характеристиками и корректировке схемы преобразователя. анализу полученных результатов.

Последний этап (6 часов) заключается в оформлении проектной документации и отчета по курсовому проекту, представлении его руководителю и защите.

На консультациях руководитель осуществляет текущий контроль за выполнением работы с целью оказания помощи студентам и выявления отставаний в графике исследований.

1.2. ЗАЩИТА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Завершив теоретические и экспериментальные исследования, а также оформление их результатов, студент представляет руководителю пояснительную записку не позднее, чем за два дня до защиты.

Непосредственная подготовка к защите курсового проекта сводится к написанию тезисов доклада и оформлению иллюстративных материалов. На доклад по материалам проведенных научных изысканий отводится не более 5-7 минут. Рекомендуется такая последовательность изложения:

- тема курсового проекта;
- назначение и основные режимы работы измерительного преобразователя;
- обоснование выбора основных элементов принципиальной схемы измерительного преобразователя;
- анализ результатов машинного моделирования измерительного преобразователя;
- результаты анализа погрешности;
- сопоставление полученных экспериментальных результатов с расчетными характеристиками;
- выводы по результатам выполнения курсового проектирования.

Во время предварительного анализа проекта руководителю, а при защите – членам комиссии должна быть предоставлена возможность ознакомиться с функционирующей моделью измерительного преобразователя.

1.3. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Оценка качества выполненной работы проводится в два этапа.

На первом этапе на основании анализа пояснительной записки руководитель принимает решение о допуске студента к защите. Допуск осуществляется, если содержание отчета соответствует выданному заданию, представлены все разделы пояснительной записки, в том числе и результаты машинных испытаний, оформление соответ-

ствуется требованиям стандартов. При нарушении этих формальных требований пояснительная записка с замечаниями руководителя возвращается студенту для доработки и устранения недостатков.

На втором этапе (по результатам защиты) оценка курсового проекта осуществляется по традиционной четырехбалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Отлично. Проект выполнен самостоятельно в соответствии с заданием и в полном объеме, полученные результаты интерпретированы применительно к исследуемому объекту, основные положения работы освещены в докладе, ответы на вопросы удовлетворяют членов комиссии, качество оформления пояснительной записки и иллюстративных материалов отвечает предъявляемым требованиям.

Хорошо. Основанием для снижения оценки может служить нечеткое представление сущности и результатов исследований на защите, или затруднения при ответах на вопросы, или недостаточный уровень качества оформления пояснительной записки и иллюстративных материалов, или отсутствие последних.

Удовлетворительно. Дополнительное снижение оценки может быть вызвано выполнением проекта не в полном объеме, или неспособностью студента правильно интерпретировать полученные результаты, или неверными ответами на вопросы по существу проделанной работы.

Неудовлетворительно. Эта оценка выставляется при несамостоятельном выполнении работы, или при неспособности студента пояснить ее основные положения, или в случае фальсификации результатов.

2. СОДЕРЖАНИЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В ходе выполнения курсового проекта студент должен провести исследование заданной структурной схемы измерительного преобразователя, описать режимы ее работы, разработать принципиальную схему измерительного преобразователя, провести моделирование принципиальной схемы на компьютере и рассчитать погрешности заданных элементов схемы.

2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

2.1.1. Математические модели и параметры периодических сигналов

Одним из основных элементарных периодических сигналов является синусоидальный (гармонический) сигнал, описываемый моделью вида $x(t) = A \sin(\omega t + \alpha) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \alpha\right)$ и имеющий три параметра: амплитуду A , частоту ω (или период T) и начальную фазу α .

Гармонический сигнал широко используется в измерительной технике для анализа и синтеза измерительных сигналов. Это объясняется тем, что гармонические сигналы инвариантны относительно преобразований, осуществляемых стационарными линейными системами. Если на вход такой системы подан гармонический сигнал, то сигнал на выходе системы остается гармоническим с той же частотой, отличаясь от входного лишь амплитудой и начальной фазой.

Математическая модель сложного периодического сигнала характеризуется условием $x(t) = x(t + kT)$, где $k=1, 2, 3 \dots$. Это означает, что основной параметр сигнала x повторяет свои значения через интервал времени, равный периоду. Чаще всего полигармонические периодические сигналы представляются с помощью элементарных сигналов путем разложения их в ряд Фурье по соответствующим функциям.

Широко распространенные периодические сигналы различной физической природы в большинстве случаев преобразуются в электрические, наиболее удобные для передачи, усиления и сравнения. В свою очередь, среди электрических сигналов одними из наиболее распространенных и удобных для измерения являются электрические напряжения и токи.

Основными информативными параметрами периодических напряжений и токов являются:

– среднеквадратическое значение (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}; \quad (2.1)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}; \quad (2.2)$$

– активная мощность (АМ)

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt, \quad (2.3)$$

где $u(t)$, $i(t)$ – мгновенные значения измеряемого напряжения и тока.

В наиболее общем случае при периодическом переменном токе произвольной формы активную мощность определяют как

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = \sum_{k=0}^{\infty} P_k,$$

где U_k , I_k – среднеквадратические значения напряжения и тока k -той гармоники;

φ_k – угол сдвига фаз между k -тыми гармониками напряжения и тока.

В тех случаях, когда для расчета тех или иных элементов цепи важно знать не только мощность, но и наибольшие допускаемые для них ток и напряжение, пользуются понятием полной мощности:

$$S = U_{СКЗ} I_{СКЗ} = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2 \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}.$$

Отношение АМ к полной называют коэффициентом мощности (КМ):

$$\lambda = \frac{P}{S}.$$

Наряду с понятиями активной и полной мощности пользуются понятием реактивной мощности (РМ):

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k = \sum_{k=1}^{\infty} Q_k.$$

Рассмотренные параметры напряжений и токов принято называть интегральными характеристиками периодических сигналов.

Для оценки формы кривой сигнала обычно используют следующие коэффициенты:

– коэффициент искажения синусоидальности напряжения

$$k_c = \frac{U_{\Gamma}}{U_{СКЗ}},$$

где $U_{\Gamma} = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}$ – среднеквадратическое значение высших гармоник;

– коэффициенты k -той гармоники напряжения и тока

$$h_{uk} = \frac{U_{km}}{U_{1m}}; \quad h_{ik} = \frac{I_{km}}{I_{1m}},$$

где U_{km}, I_{km} – амплитудные значения k -тых гармонических составляющих напряжения и тока;

U_{1m}, I_{1m} – амплитудные значения первых гармоник напряжения и тока.

Качество средств и результатов определения интегральных характеристик периодических сигналов (ИХПС) принято характеризовать указанием их погрешностей.

В наиболее общем случае сигналы напряжения и тока в исследуемой цепи определяются следующими выражениями:

$$u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \psi_{uk});$$

$$i(t) = \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \psi_{ik}),$$

где ψ_{uk}, ψ_{ik} – начальные фазы гармоник напряжения и тока k -того порядка.

Расчетные СКЗ напряжения и тока имеют вид

$$U_{СКЗp} = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_{k=1}^{\infty} U_{km}^2 \sin^2(k\omega t + \psi_{uk}) \right] dt \right\}^{1/2};$$

$$I_{СКЗp} = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_{k=1}^{\infty} I_{km}^2 \sin^2(k\omega t + \psi_{ik}) \right] dt \right\}^{1/2}.$$

Если учитывать ортогональность тригонометрических функций, то

$$U_{СКЗp} = \frac{U_{1m}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2};$$

$$I_{СКЗp} = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2}.$$

Аналогично расчетные значения АМ, РМ и КМ составляют величины:

$$P_p = \frac{U_{1m} I_{1m}}{2} \left[\cos \varphi_1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} h_{ik} \cos(\psi_{uk} - \psi_{ik}) \right];$$

$$Q_p = \frac{U_{1m} I_{1m}}{2} \left[\sin \varphi_1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} h_{ik} \sin(\psi_{uk} - \psi_{ik}) \right];$$

$$\lambda_p = \frac{\cos \varphi_1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} h_{ik} \cos(\psi_{uk} - \psi_{ik})}{\left(1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2 \right)^{1/2} \left(1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2 \right)^{1/2}}.$$

Относительная погрешность определения СКЗ напряжения и тока

$$\delta_U = \frac{U_{СКЗ} - U_{СКЗp}}{U_{СКЗp}};$$

$$\delta_I = \frac{I_{СКЗ} - I_{СКЗp}}{I_{СКЗp}}.$$

Приведенные погрешности определения АМ, РМ и КМ:

$$\gamma_P = \frac{P - P_P}{S};$$

$$\gamma_Q = \frac{Q - Q_P}{S};$$

$$\gamma_\lambda = \frac{\lambda - \lambda_P}{\lambda_H},$$

где λ_H – номинальное значение коэффициента мощности, $\lambda_H = 1$.

Рассмотренные параметры напряжений и токов принято называть интегральными характеристиками периодических сигналов.

2.1.2. Методы построения аналоговых измерительных преобразователей интегральных характеристик периодических сигналов

Рассмотрим основные методы построения аналоговых измерительных преобразователей СКЗ сигналов.

Для того чтобы определить СКЗ напряжения и тока в соответствии с (2.1) и (2.2), требуется провести интегрирование квадрата исследуемого сигнала на интервале времени, соответствующем периоду. Обычно вместо интеграла определяют текущее среднее значение сигналов с помощью фильтра низких частот. Здесь предполагается, что фильтр достаточно хорошо подавляет все гармонические составляющие измеряемого сигнала, а среднее значение сигнала изменяется настолько медленно, что не вызывает динамической погрешности, связанной с инерционностью фильтра. В данном случае СКЗ напряжения

$$U = \sqrt{\overline{u^2(t)}},$$

где $\overline{u^2(t)} \approx \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u^2(t) dt$ – текущее среднее значение квадрата входного сигнала.

При измерении СКЗ сигнала используют преобразователи как с линейной, так и с квадратичной функцией преобразования, у которых выходной сигнала пропорционален квадрату СКЗ измеряемого сигнала.

Наибольшее распространение получили линейные преобразователи, у которых входной u_x и выходной Y сигналы связаны зависимостью

$$Y = c\sqrt{u_x^2}, \quad (2.4)$$

где c – некоторый коэффициент.

С точки зрения закона преобразования информации измерительный преобразователь СКЗ сигнала можно представить как вычислительное устройство, выходной сигнал которого связан с сигналом на его входе зависимостью (2.4). Для классификации измерительных преобразователей следует найти все возможные уравнения, относящиеся к классу функций действительного переменного. Как известно, функции действительного переменного можно условно разделить на элементарные и неэлементарные.

В классе неэлементарных функций решение (2.4) могут иметь уравнения вида

$$Y = F\left[\sum_{n=1}^{\infty} F_n(u_x)\right], \quad (2.5)$$

где F и F_n – некоторые непрерывные функции.

Естественно, что уравнение (2.5) тем точнее позволяет найти СКЗ сигнала u_x , чем большее число членов функционального ряда учитывается при вычислении Y .

Следует отметить, что всем преобразователям, алгоритм работы которых описывается уравнением (2.5), свойственна методическая погрешность, существенно возрастающая при уменьшении числа слагаемых. Поэтому способы измерения, основанные на решении уравнения (2.5), применяют редко.

Элементарные функции делятся на алгебраические и трансцендентные. Алгебраические функции, в свою очередь, делятся на иррациональные, целые рациональные и дробные рациональные. Трансцендентные функции делятся на показательно-логарифмические и прямые и обратные тригонометрические функции.

Рассмотрим уравнения в классе алгебраических функций, имеющих решение (2.4). Ограничимся степенью величин Y и u_x не выше

второй, так как вторая степень входной величины u_x во всех уравнениях обязательна (требуется усреднение квадрата u_x). Решение уравнений с более высокими степенями Y и u_x требует более сложных структурных схем с дополнительными блоками (и присущими им погрешностями). Путем тождественных преобразований уравнения (2.4) в классе алгебраических функций получим новые уравнения. Соответствующие им схемы будут тем проще, чем меньше математических операций требуется производить над величинами Y и u_x , так как для выполнения любой математической операции необходим дополнительный функциональный блок. Поэтому ограничимся рассмотрением уравнений, обе части которых содержат по одному члену. Например, в классе иррациональных функций можно получить уравнения:

$$Y / \sqrt{u_x^2} = c; \sqrt{u_x^2} / Y = 1/c; Y^2 / \sqrt{u_x^2} = c^2 \sqrt{u_x^2}; Y / \sqrt{u_x^2} = c^2 \sqrt{u_x^2} / Y.$$

Для реализации этих уравнений можно произвести ряд операций над величинами Y и $\sqrt{u_x^2}$, т.е. над СКЗ сигнала u_x , а для реализации решения уравнения (2.4) никаких операций над величинами Y и $\sqrt{u_x^2}$ производить не надо.

Учитывая отмеченные ограничения в классе алгебраических функций, кроме уравнения (2.4) получаем еще четыре уравнения:

$$Y^2 = c^2 \overline{u_x^2}; \tag{2.6}$$

$$Y = c^2 \overline{u_x^2} / Y; \tag{2.7}$$

$$\overline{u_x^2} / Y^2 = c^2; \tag{2.8}$$

$$Y^2 / \overline{u_x^2} = c^2. \tag{2.9}$$

Схемы, соответствующие уравнениям (2.4), (2.6) – (2.9), состоят из определенного сочетания блоков умножения, деления, извлечения квадратного корня и усреднения.

2.1.3. Использование интегральных множительных устройств для реализации основных арифметических операций

В настоящее время имеется широкая номенклатура отечественных и зарубежных множительных устройств в интегральном исполнении [3]. Рассмотрим возможности применения таких схем на примере микросхемы КР525ПС2. Функциональная схема данного множительного устройства представлена на рис. 2.1.

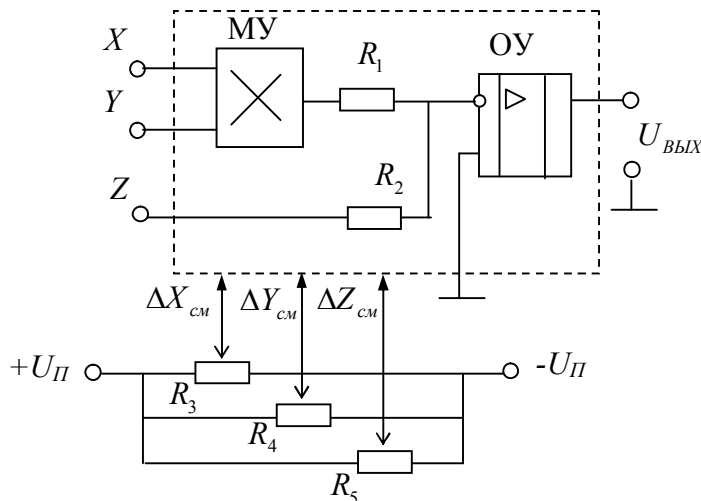


Рис. 2.1. Функциональная схема множительного устройства

Данное устройство содержит непосредственно множительное устройство МУ и операционный усилитель ОУ, имеет три входа X , Y , Z и один выход. Для устранения смещения нуля по входам X , Y , Z используются внешние переменные резисторы $R_3 \div R_5$. Данное устройство может реализовать четырехквadrантное множительное устройство, делительное устройство, квадратирующее и корнеизвлекающее устройства.

Рассмотрим схему четырехквadrантного множительного устройства и ее работу (рис. 2.2).

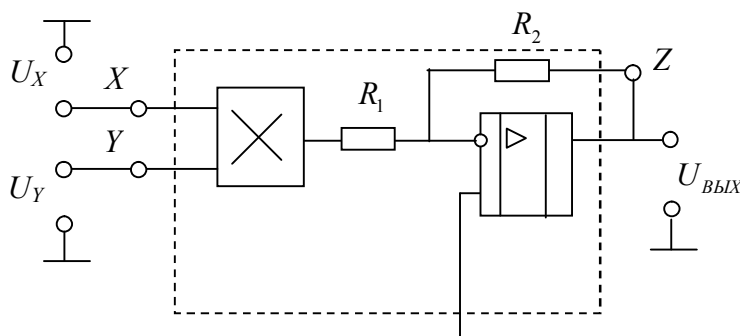


Рис. 2.2. Четырехквadrантное множительное устройство

Составим для данной схемы баланс токов

$$\frac{U_X U_Y K_{ум}}{R_1} = -\frac{U_{ВЫХ}}{R_2}.$$

Если $R_1 = R_2 = R$, то $U_{ВЫХ} = -U_X U_Y K_{ум}$, где $K_{ум}$ – коэффициент передачи МУ. Обычно $K_{ум} = 0,1 \frac{1}{B}$.

На рис. 2.3 приведена схема квадратирующего устройства.

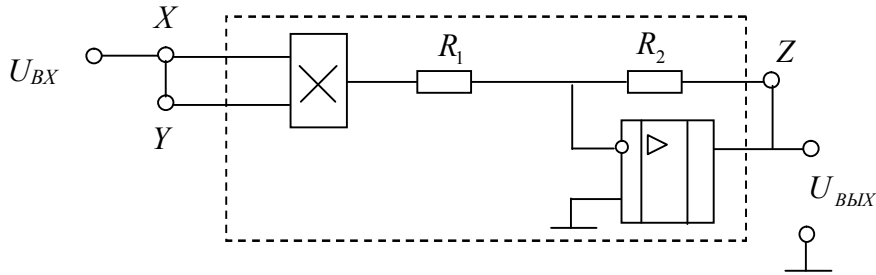


Рис. 2.3. Квадратирующее устройство

Составим баланс токов схемы:

$$\frac{U_{вх}^2 k_{ум}}{R_1} = -\frac{U_{вых}}{R_2}.$$

Напряжение на выходе схемы пропорционально квадрату входного сигнала и при $R_1 = R_2$ составляет величину

$$U_{ВЫХ} = -U_{ВХ}^2 K_Y.$$

На рис. 2.4 представлена схема делительного устройства.

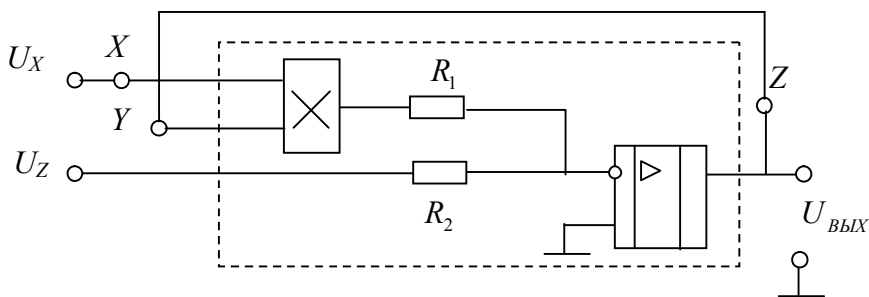


Рис. 2.4. Делительное устройство

Баланс токов схемы соответствует следующему выражению:

$$\frac{U_{вых} U_y k_{ум}}{R_1} = -\frac{U_z}{R_2}.$$

Напряжение на выходе схемы при $R_1 = R_2$ пропорционально отношению

$$U_{ВЫХ} = -\frac{U_Z}{U_X K_Y}.$$

На рис. 2.5 представлена схема корнеизвлекающего устройства.

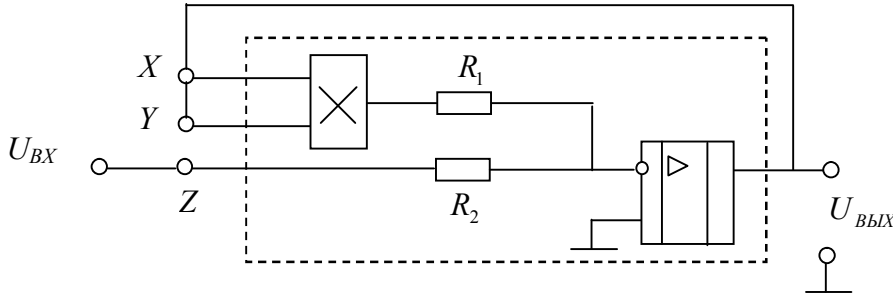


Рис. 2.5. Корнеизвлекающее устройство

Составим баланс токов схемы:

$$\frac{U_{\text{вых}}^2 k_{\text{ум}}}{R_1} = -\frac{U_Z}{R_2}.$$

Напряжение на выходе схемы при $R_1 = R_2$

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\sqrt{\frac{U_{\text{ВХ}}}{K_Y}}.$$

2.1.4. Использование логарифмирующих и антилогарифмирующих устройств для реализации основных арифметических операций

Для реализации целого ряда математических операций используются логарифмирующие и антилогарифмирующие преобразователи.

Рассмотрим следующую схему включения транзистора (рис. 2.6). Эквивалентная схема транзистора в таком включении имеет вид, представленный на рис. 2.7.

На эквивалентной схеме управляющий переход «база – эмиттер» моделируется диодом, который открыт прямым смещением. Управляющий переход «коллектор – база» обеднен носителями, и его можно моделировать генератором тока. Вольт-амперная характеристика

эмиттерного диода с большой степенью точности аппроксимируется экспонентой

$$I_{\text{Э}} = I_S \left[\exp\left(\frac{U_{\text{БЭ}}}{\varphi_T}\right) - 1 \right],$$

где $\varphi_T = \frac{kT}{q}$ – температурный потенциал;

k – постоянная Больцмана;

T – температура;

q – элементарный заряд;

$I_{\text{Э}}$ – ток эмиттера в рабочей точке;

$U_{\text{БЭ}}$ – управляющее переходом «эмиттер – база» напряжение;

I_S – диффузионный ток утечки перехода «эмиттер – база»;

I_B – базовый ток транзистора.

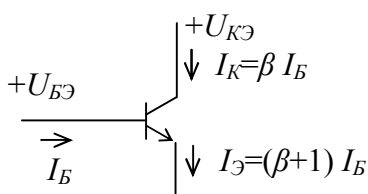


Рис. 2.6. Схем включения транзистора

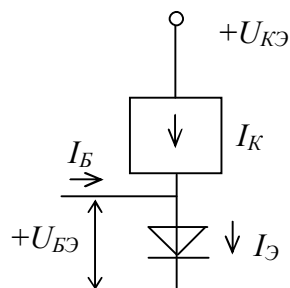


Рис. 2.7. Эквивалентная схема

Пренебрегая единицей, после логарифмирования обеих частей данного равенства и преобразований получим

$$U_{\text{БЭ}} = \varphi_T \ln\left(\frac{I_{\text{Э}}}{I_S}\right).$$

Рассмотрим схему (рис. 2.8).

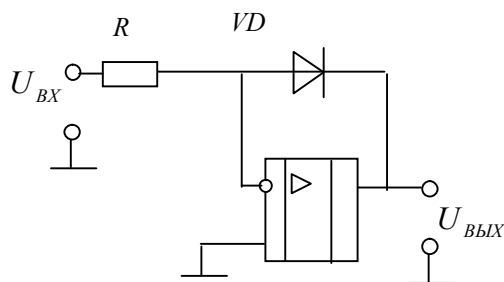


Рис. 2.8. Схема логарифматора

Напряжение на выходе схемы

$$U_{ВЫХ} = -U_D = -\varphi_T \ln\left(\frac{U_{ВХ}}{RI_S}\right) = -[\varphi_T \ln U_{ВХ} - \varphi_T \ln(RI_S)],$$

где U_D – напряжение на диоде VD .

Так как ток I_S на 3-4 порядка меньше тока через диод, приближенно получим

$$U_{ВЫХ} \approx -\varphi_T \ln U_{ВХ},$$

т.е. выходное напряжение схемы пропорционально натуральному логарифму входного сигнала. Таким образом, данная схема выполняет функцию логарифматора.

Рассмотрим следующую схему (рис. 2.9).

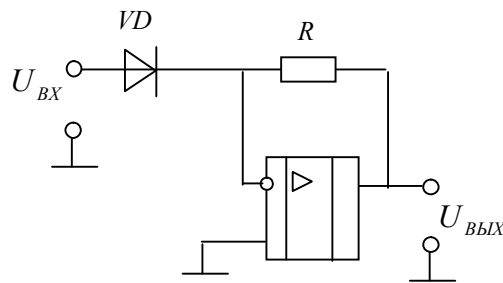


Рис. 2.9. Схема антилогарифматора

После преобразований получим

$$U_{ВЫХ} \approx -I_S R \exp\left(\frac{U_{ВХ}}{\varphi_T}\right).$$

Таким образом, данная схема выполняет функцию антилогарифматора.

С помощью логарифматоров и антилогарифматоров можно реализовать широкий класс функциональных преобразователей.

2.2. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Подготовительный этап. При его проведении уясняется поставленная задача: что дано и что требуется получить в результате исследования. Формулируется цель исследования. Проводится осмысление всех этапов достижения цели.

Описание исследуемой структурной схемы. На этом этапе необходимо описать назначение измерительного преобразователя, входные и выходные величины и диапазоны их изменения, определить назначение и описать работу функциональных блоков, входящих в структурную схему измерительного преобразователя.

Математическое описание объекта. На данном этапе определяются функции преобразования всех блоков структурной схемы измерительного преобразователя и выводится функция преобразования объекта в целом.

Например, для структурной схемы варианта № 1 сигналы на выходах блоков с учетом их функций преобразования будут иметь следующий вид:

– на выходе первого умножителя

$$U_{УМ1} = U_X^2 K_{УМ1};$$

– на выходе фильтра низких частот ФНЧ

$$U_{ФНЧ} = U_{УМ1} K_{ФНЧ} = \bar{U}_X^2 K_{УМ1} K_{ФНЧ};$$

– на выходе делителя

$$U_{ДЕЛ} = \frac{U_{ФНЧ} K_{ДЕЛ}}{U_{УМ2}} = \frac{\bar{U}_X^2 K_{УМ1} K_{ФНЧ} K_{ДЕЛ}}{U_{УМ2}};$$

– на выходе второго умножителя

$$U_{УМ2} = U_{ВЫХ}^2 K_{УМ2};$$

– на выходе измерительного преобразователя

$$U_{ВЫХ} = (U_0 - U_{ДЕЛ}) K_Y,$$

где $K_{УМ1}$, $K_{УМ2}$, $K_{ФНЧ}$, $K_{ДЕЛ}$, K_Y – коэффициенты преобразования (передачи) первого и второго умножителей, фильтра низких частот, делителя и выходного операционного усилителя соответственно; U_0 – опорное напряжение.

Так как $K_Y \gg 1$, можно записать, что $(U_0 - U_{ДЕЛ}) \rightarrow 0$, следовательно, $U_0 \approx U_{ДЕЛ}$.

$$\text{Отсюда } U_0 \approx \frac{\bar{U}_X^2 K_{УМ1} K_{ФНЧ} K_{ДЕЛ}}{K_{УМ2} U_{ВЫХ}^2}.$$

Решая данное выражение относительно $U_{ВЫХ}^2$, получим

$$U_{ВЫХ}^2 \approx \frac{\bar{U}_X^2 K_{УМ1} K_{ФНЧ} K_{ДЕЛ}}{K_{УМ2} U_0}.$$

Из предыдущего выражения следует

$$U_{ВЫХ} \approx \sqrt{\frac{\bar{U}_X^2 K_{УМ1} K_{ФНЧ} K_{ДЕЛ}}{K_{УМ2} U_0}}.$$

Расчет масштабных коэффициентов [4]. Коэффициенты определяются с целью получения требуемого в задании соотношения между входными и выходными величинами. Целесообразно производить расчет для минимальных и максимальных значений параметров.

Для варианта № 1 при $U_0 = 10\text{В}$ исходя из реальных характеристик интегральных множительных и делительных устройств (например, К525ПС2) выбираем $K_{УМ1} = K_{УМ2} = 0,1$; $K_{ДЕЛ} = 10$.

Для простоты расчета будем считать, что ФНЧ выполнен на основе повторителя и имеет коэффициент передачи $K_{ФНЧ} = 1$.

Кроме того, считаем, что для синусоидального сигнала

$$\bar{U}_{X \max} = \frac{U_{X \max}}{\sqrt{2}},$$

где $U_{X \max}$ – амплитудное значение входного сигнала.

В этом случае, подставляя соответствующие коэффициенты передачи, получим

$$U_{ВЫХ} \approx \frac{U_{X \max}}{\sqrt{2}}.$$

Например, для структурной схемы варианта № 26 сигналы на выходах блоков с учетом их функций преобразования будут иметь следующий вид:

– на выходе первого логарифмирующего устройства ЛОГ1

$$U_{ЛОГ1} \approx K_{ЛОГ1} \ln U_X;$$

– на выходе второго логарифмирующего устройства ЛОГ2

$$U_{ЛОГ2} \approx K_{ЛОГ2} \ln U_Y;$$

– на выходе сумматора СУМ

$$U_{СУМ} = K_{СУМ} (U_{ЛОГ1} + U_{ЛОГ2}) \approx K_{СУМ} (K_{ЛОГ1} \ln U_X + K_{ЛОГ2} \ln U_Y),$$

где $K_{ЛОГ1}$, $K_{ЛОГ2}$, $K_{СУМ}$ – коэффициенты преобразования (передачи) первого и второго логарифматоров и сумматора соответственно.

Если считать, что $K_{ЛОГ1} = K_{ЛОГ2} = K_{ЛОГ}$, то

$$U_{СУМ} = K_{СУМ} K_{ЛОГ} (\ln U_X + \ln U_Y) = K_1 \ln(U_X U_Y).$$

На выходе антилогарифмирующего устройства АНЛОГ

$$U_{ВЫХ} \approx K_{АНЛОГ} \exp[K_1 \ln(U_X U_Y)] = K_2 U_X U_Y,$$

где $K_{АНЛОГ}$ – коэффициент преобразования (передачи) антилогарифматора.

Таким образом, выходной сигнал измерительного преобразователя пропорционален произведению входных сигналов.

2.3. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Выбор элементной базы. На данном этапе осуществляется выбор основных элементов принципиальной схемы. Рекомендуется выбирать современные зарубежные элементы или их отечественные аналоги. Выбор основных элементов схемы (функциональные преобразователи, операционные усилители) необходимо обосновать исходя из выполняемых функций, места их включения и предъявляемых метрологических требований. Следует привести их основные технические параметры. Выбор типа пассивных элементов схемы также должен быть обоснован (например, прецизионных резисторов) в зависимости от схемы их включения.

Расчет основных элементов схемы – проводится исходя из схемы включения с учетом полученных ранее значений коэффициентов передачи. Номинальные значения пассивных элементов выбираются в соответствии с ГОСТ.

Изображение принципиальной схемы измерительного преобразователя – принципиальная схема оформляется в соответствии с ГОСТ.

Составление перечня элементов – оформление перечня элементов должно соответствовать ГОСТ.

2.4. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Исследование работы измерительного преобразователя производится путем моделирования в программной системе Multisim [5, 6].

Создание схемы измерительного преобразователя. Собрать необходимые компоненты на монтажном столе. Провести необходимые соединения в соответствии со схемой. Подключить ко входу схемы генератор и установить на монтажном столе осциллограф. Установить значения элементов в соответствии с произведенными расчетами.

Реализация схемы измерительного преобразователя по варианту № 1 представлена на рис. 2.10.

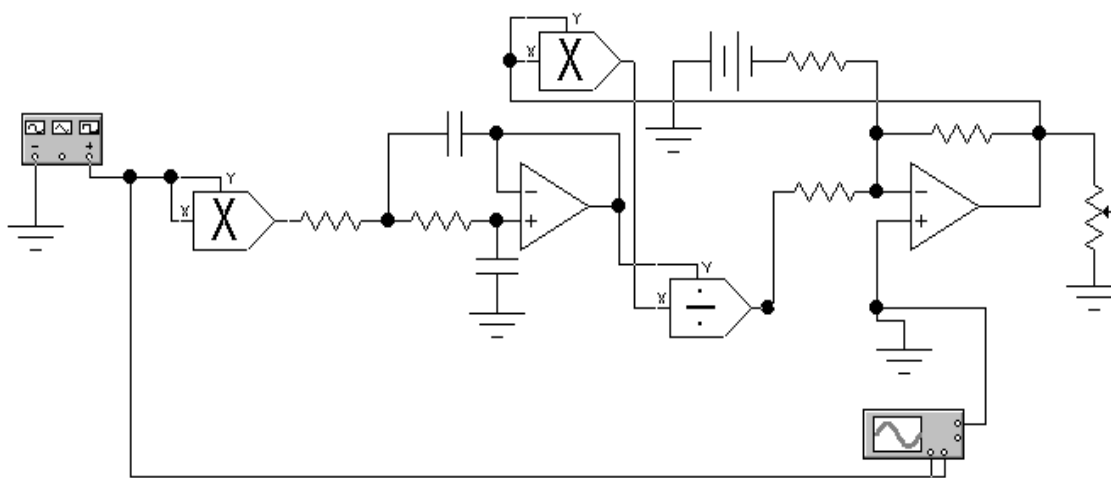


Рис. 2.10. Схема измерительного преобразователя

Исследование режимов работы схемы. Включить условное питание схемы и снять осциллограммы на выходах всех функциональных элементов схемы.

Осциллограммы сигналов на выходах основных функциональных блоков измерительного преобразователя по варианту № 1 представлены на рис. 2.11 – 2.15.

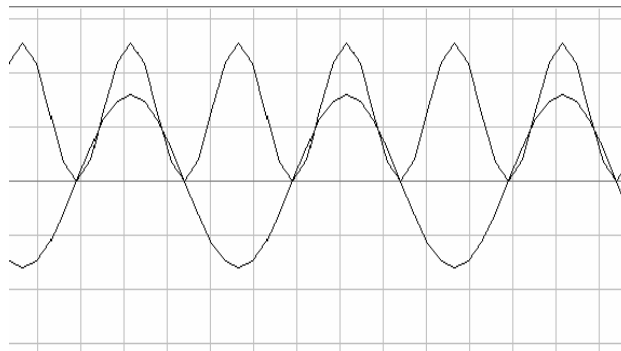


Рис. 2.11. Сигнал на выходе первого умножителя

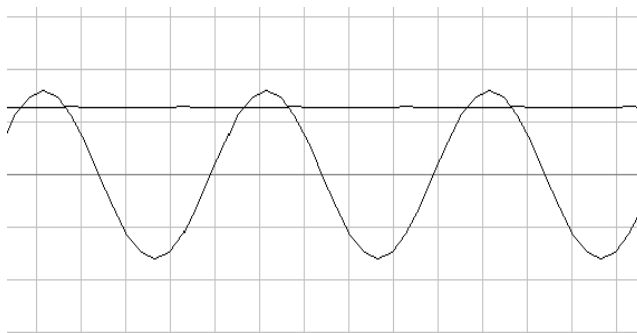


Рис. 2.12. Сигнал на выходе фильтра низких частот

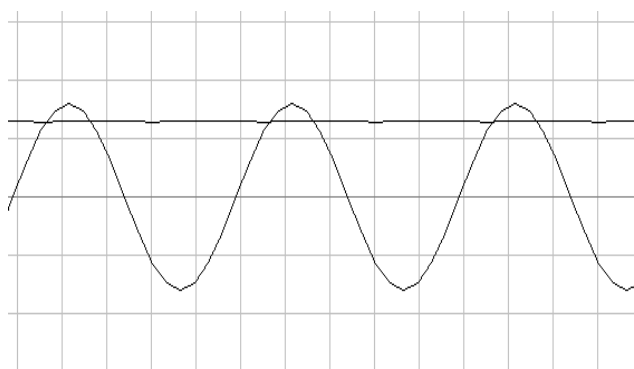


Рис. 2.13. Сигнал на выходе второго умножителя

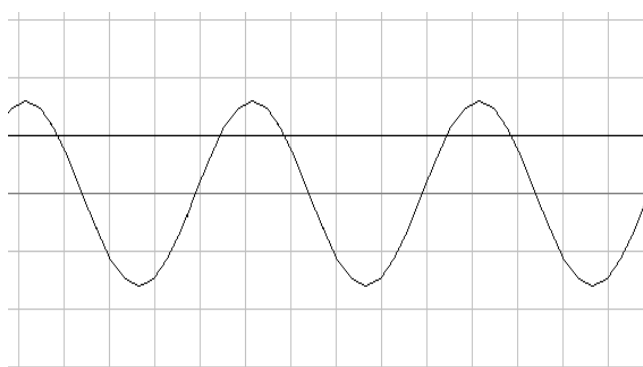


Рис. 2.14. Сигнал на выходе делителя

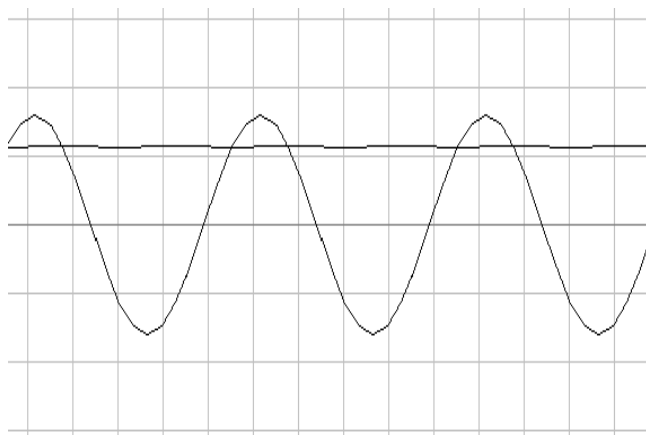


Рис. 2.15. Выходной сигнал измерительного преобразователя

Реализация схемы измерительного преобразователя по варианту № 26 представлена на рис. 2.16.

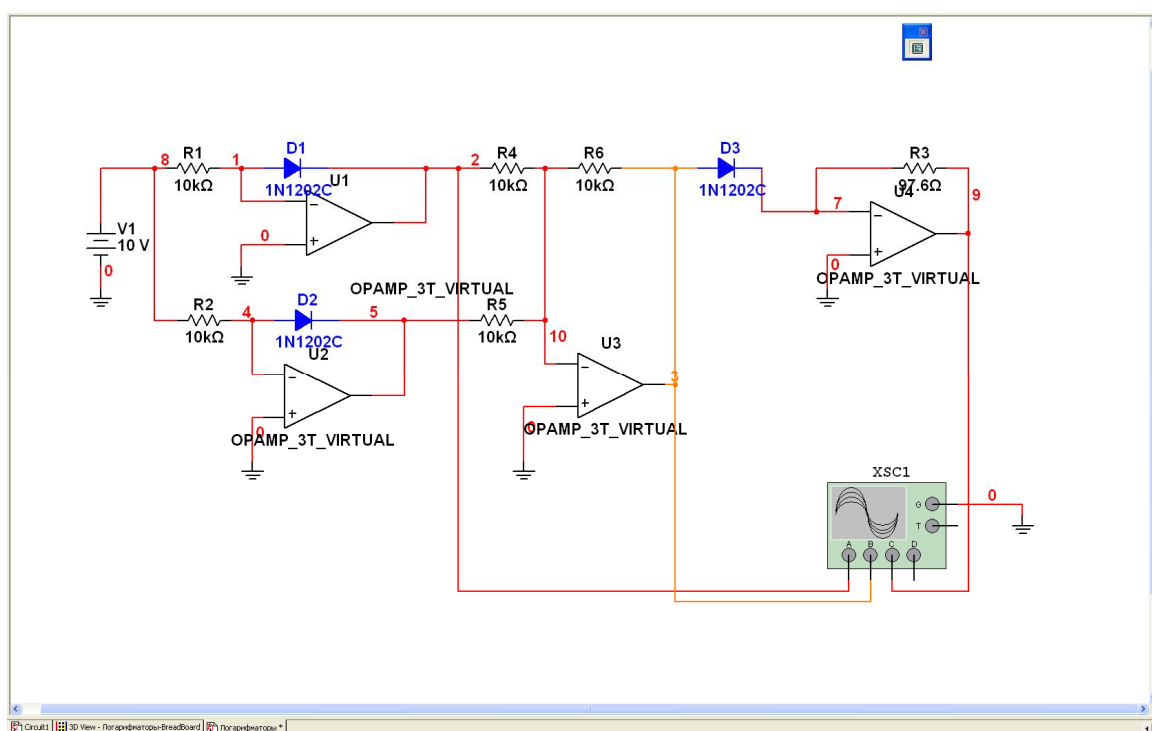


Рис. 2.16. Схема измерительного преобразователя

Осциллограммы сигналов на выходах основных функциональных блоков измерительного преобразователя по варианту № 26 представлены на рис. 2.17.

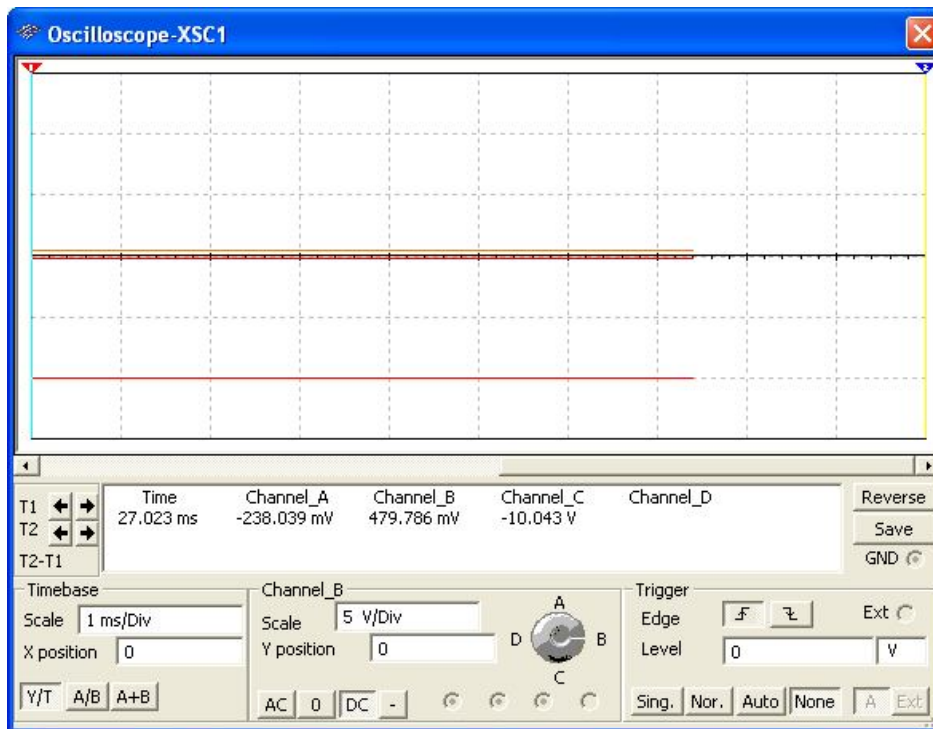


Рис. 2.17. Сигналы на выходах основных блоков измерительного преобразователя

2.5. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

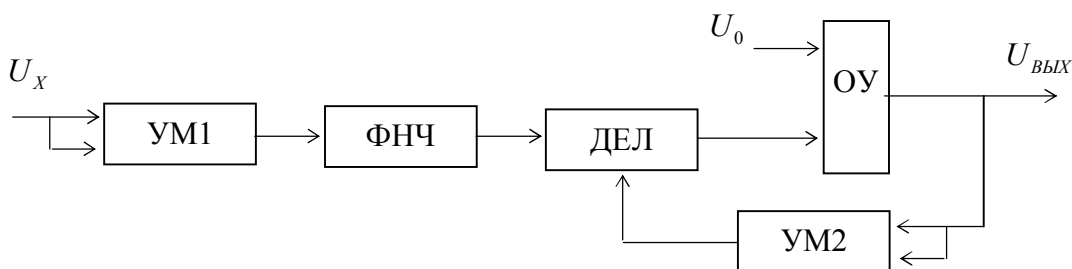
Подключить к выходу схемы мультиметр и снять значения сигнала на выходе измерительного преобразователя при изменении входного сигнала от минимального до максимального значений не менее чем в 10 точках.

Построить график зависимости выходного сигнала от входного и определить погрешности от нелинейности измерительного преобразователя.

3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант № 1

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



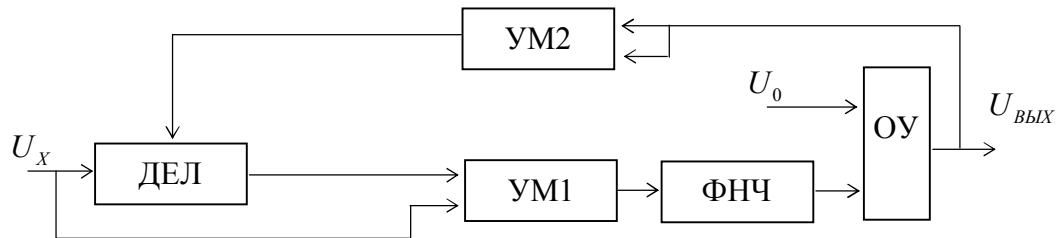
УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(1-9)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 1000;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 100 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 2

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



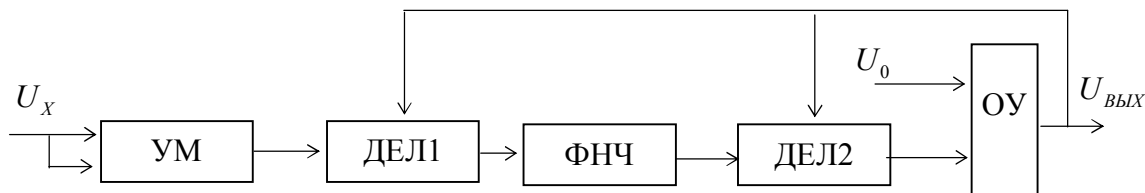
УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), мА – $(0,2-8)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 1000;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 100 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 3

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



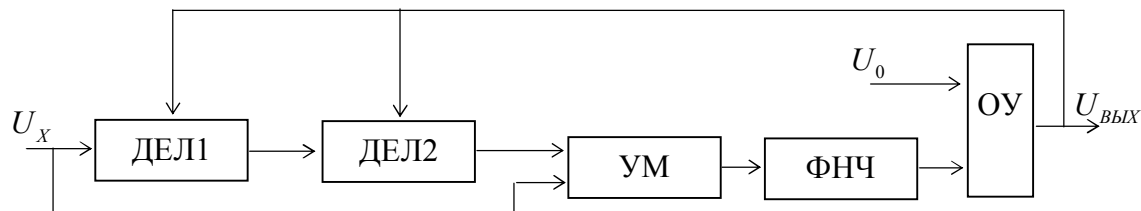
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), мА – $(1-8)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 6;
- частота среза ФНЧ, Гц – 40 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 3 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 4

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



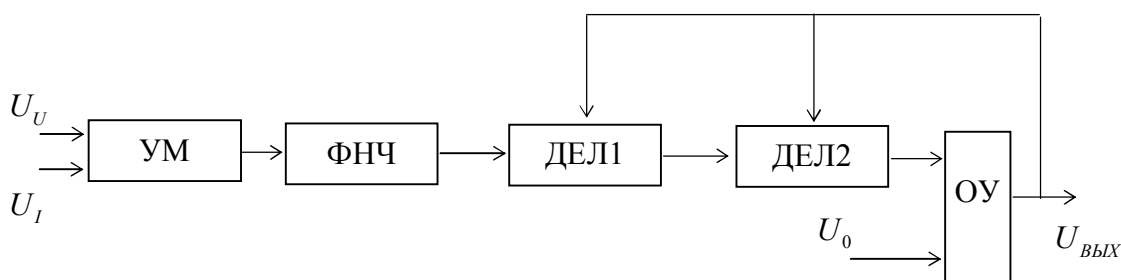
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот;
ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – (0,5-9);
- частота входного сигнала, Гц – 800;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 10;
- частота среза ФНЧ, Гц – 80 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 5$;
- коэффициент усиления ОУ $K_v \gg 1$.

Вариант № 5

Измерительный преобразователь активной мощности



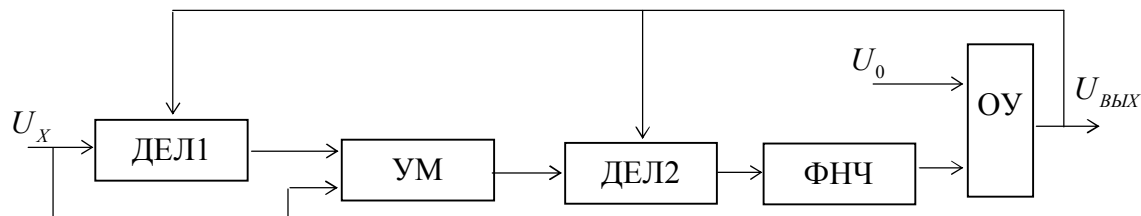
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель; U_U – входное напряжение, пропорциональное напряжению в измерительной цепи; U_I – входное напряжение, пропорциональное току в измерительной цепи.

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (0,2-7);
- частота входного сигнала, Гц – 400;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 40 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 6

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



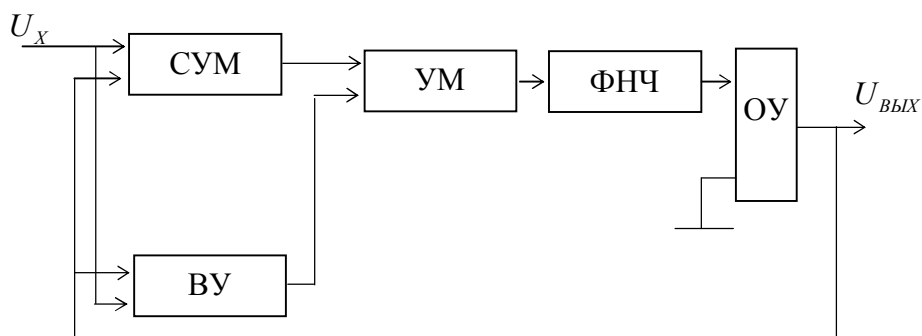
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот;
ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(0,5-6)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 600;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 9;
- частота среза ФНЧ, Гц – 90 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 7

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



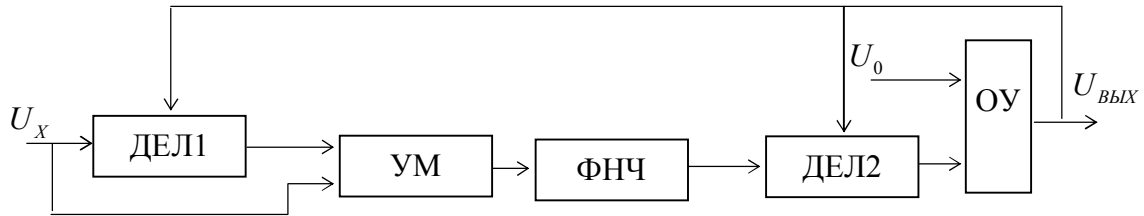
ДЕЛ – аналоговый делитель; УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ВУ – вычитающее устройство; СУМ – суммирующее устройство; ОУ – операционный усилитель.

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – (1-8);
- частота входного сигнала, Гц – 1500;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 7;
- частота среза ФНЧ, Гц – 100 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 3 дБ.
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 8

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



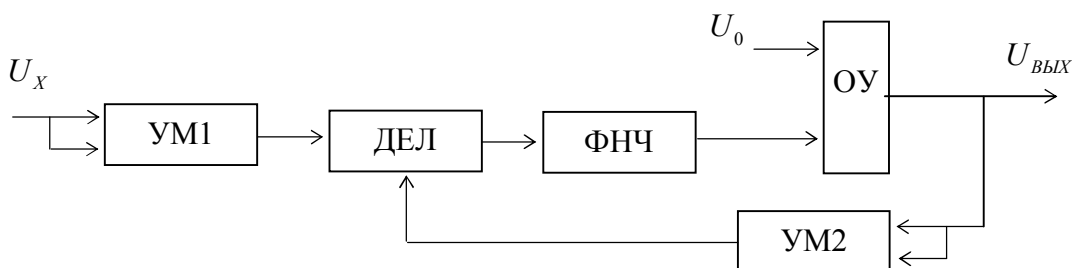
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот;
ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(1-7)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 900;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 9;
- частота среза ФНЧ, Гц – 90 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_v \gg 1$.

Вариант № 9

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



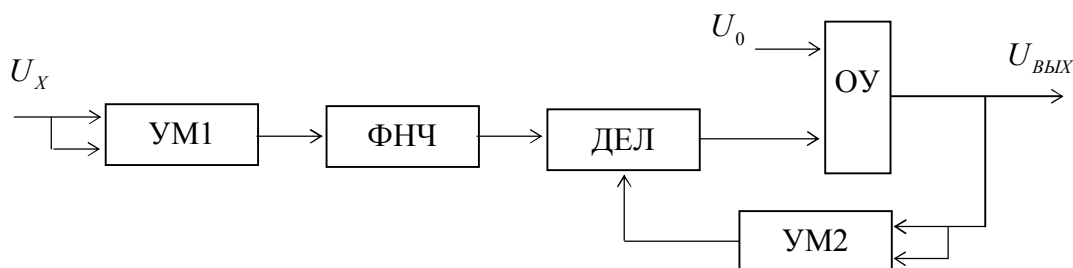
УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(0,1-7)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 1100;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 5;
- частота среза ФНЧ, Гц – 110 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 5$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 10

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

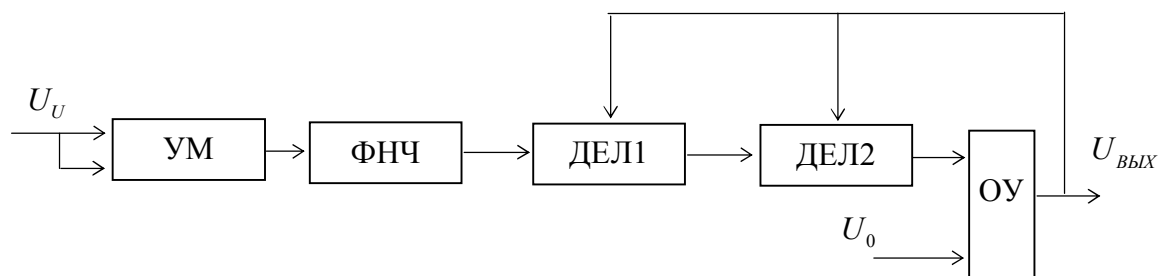
Технические характеристики:

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – (0,5-8);
- частота входного сигнала, Гц – 600;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 60 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 11

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



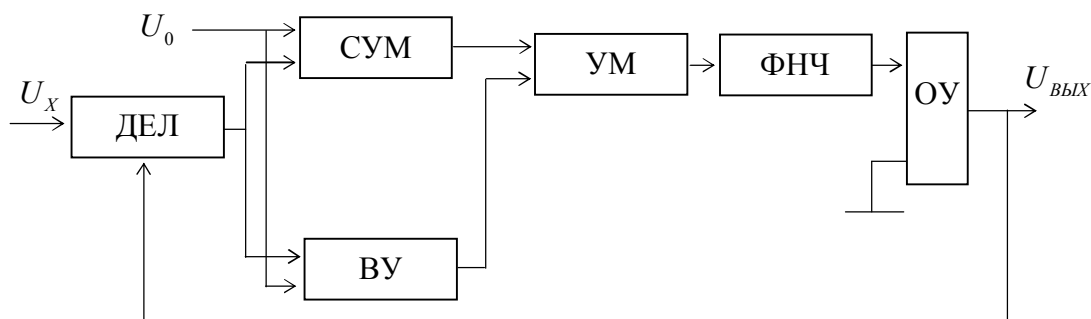
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (0,5-7);
- частота входного сигнала, Гц – 900;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 80 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 3 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_V \gg 1$.

Вариант № 12

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



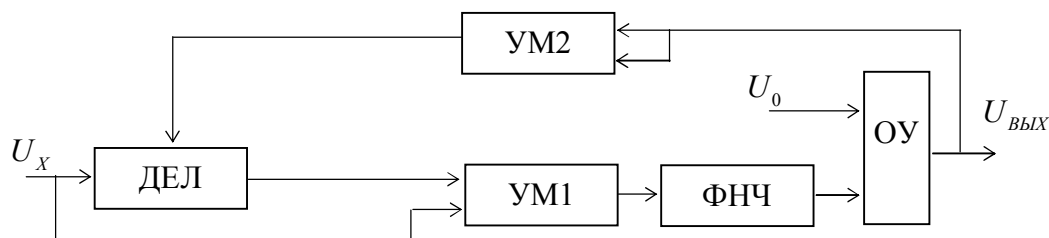
ДЕЛ – аналоговый делитель; УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ВУ – вычитающее устройство; СУМ – суммирующее устройство; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – (1-8);
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 6;
- частота среза ФНЧ, Гц – 50 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 3 дБ.
- опорное напряжение, В – $U_0 = 8$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 13

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



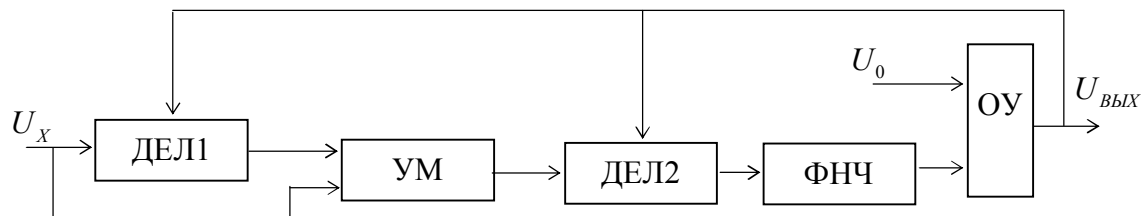
УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(0,02-4)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 600;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 5;
- частота среза ФНЧ, Гц – 60 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 5$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 14

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



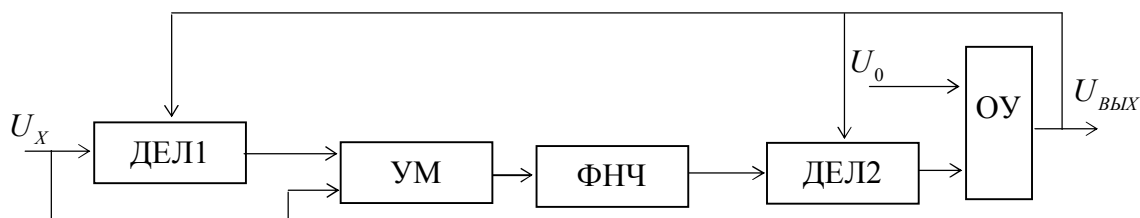
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот;
ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – (0,1-6);
- частота входного сигнала, Гц – 900;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 70 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 5$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 15

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



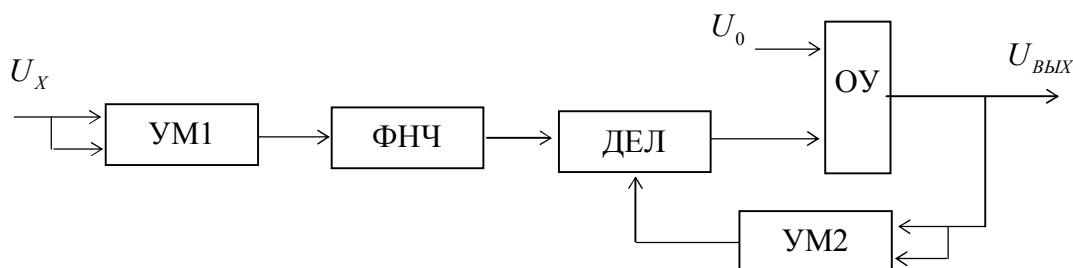
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот;
ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – (0,5-9);
- частота входного сигнала, Гц – 700;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 7;
- частота среза ФНЧ, Гц – 50 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_v \gg 1$.

Вариант № 16

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



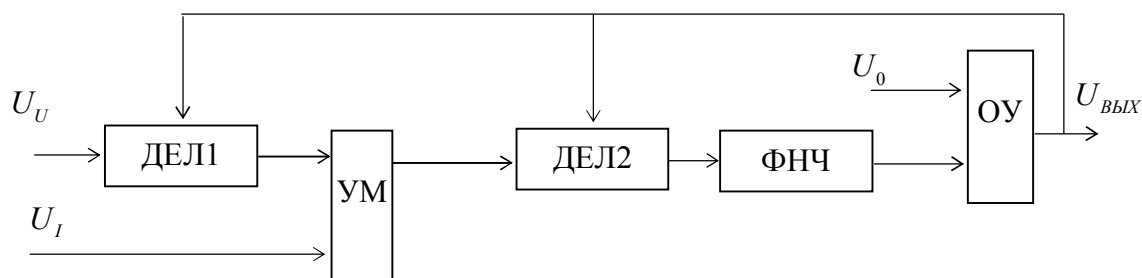
УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(0,1-7)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 1200;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – $7\sqrt{2}$;
- частота среза ФНЧ, Гц – 120 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 17

Измерительный преобразователь активной мощности



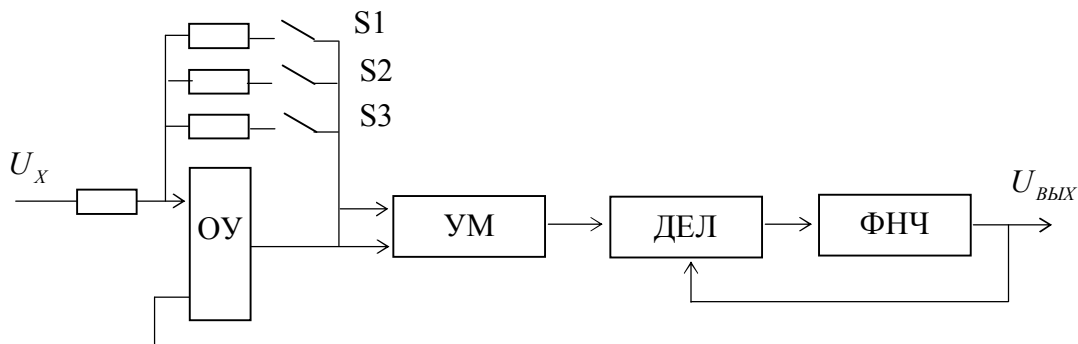
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель; U_U – входное напряжение, пропорциональное напряжению в измерительной цепи; U_I – входное напряжение, пропорциональное току в измерительной цепи

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), мА – (1-9);
- частота входного сигнала, Гц – 2000;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 9;
- частота среза ФНЧ, Гц – 200 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 18

Многопредельный измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



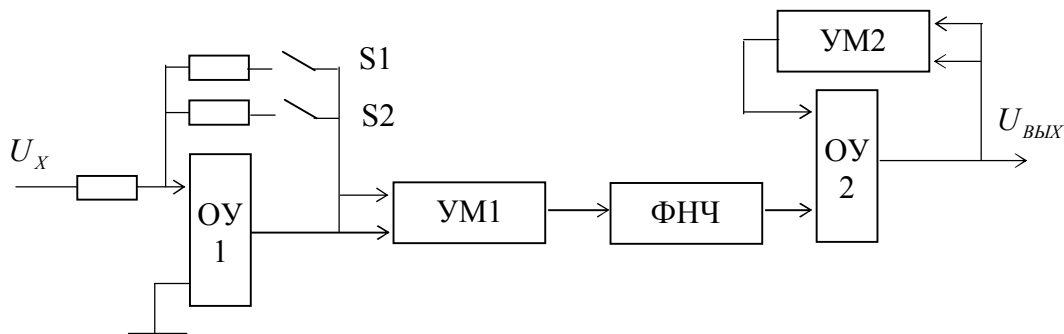
ДЕЛ – аналоговый делитель; УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ОУ – операционный усилитель S1, S2, S3 – аналоговые ключи

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение):
 - 1 поддиапазон 10 мВ;
 - 2 поддиапазон 100 мВ;
 - 3 поддиапазон 1 В;
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 10;
- частота среза ФНЧ, Гц – 50 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ.

Вариант № 19

Многопредельный измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



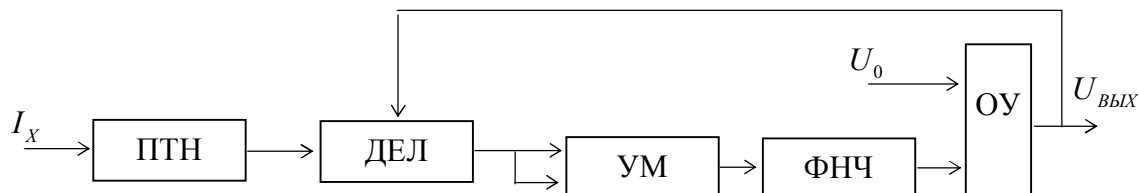
УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ОУ1, ОУ2 – операционные усилители S1, S2 – аналоговые ключи

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение):
- 1 поддиапазон 1 В;
- 2 поддиапазон 10 В;
- частота входного сигнала, Гц – 1500;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 10;
- частота среза ФНЧ, Гц – 150 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ.

Вариант № 20

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения тока



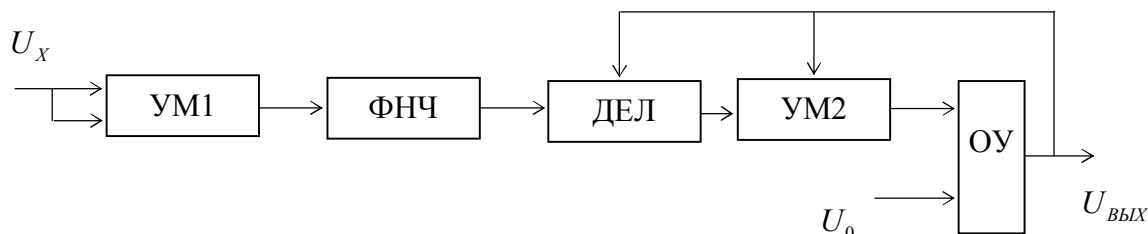
ПТН – преобразователь ток – напряжение; УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), мА – $(0,5-7)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 1100;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 110 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 5$;
- коэффициент усиления ОУ $K_U \gg 1$.

Вариант № 21

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



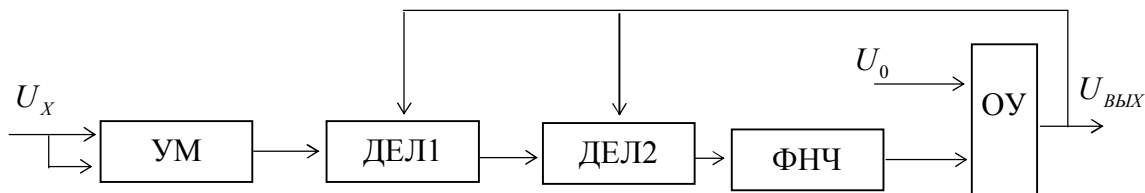
УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ – аналоговый делитель; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(2-7)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 300;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – $8\sqrt{2}$;
- частота среза ФНЧ, Гц – 40 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 22

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



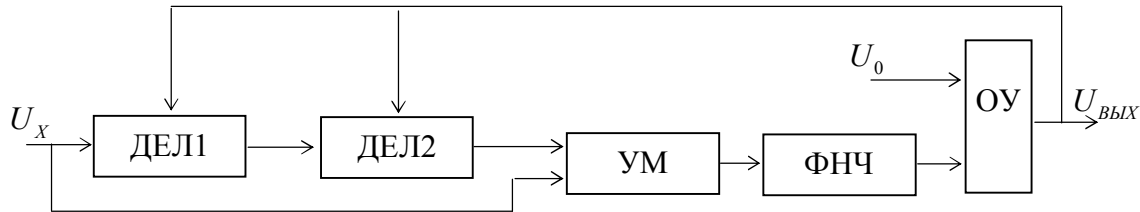
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), мА – $(0,3-8)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 1000;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 7;
- частота среза ФНЧ, Гц – 90 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 23

Измерительный преобразователь среднеквадратического значения напряжения



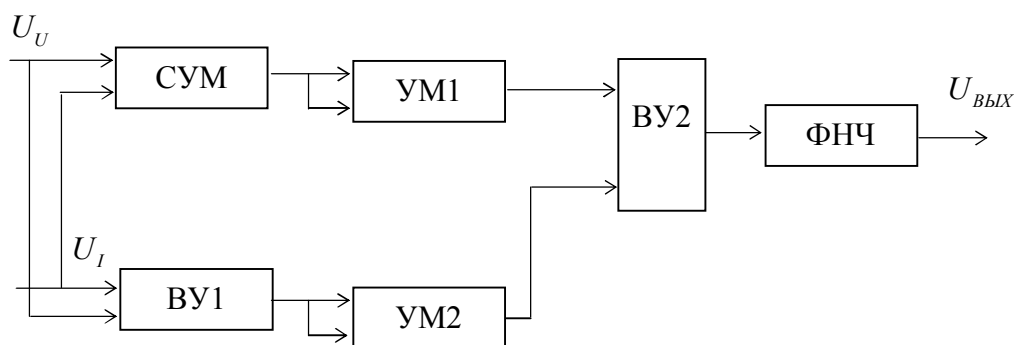
УМ – аналоговый умножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот;
ДЕЛ1, ДЕЛ2 – аналоговые делители; ОУ – операционный усилитель

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – $(0,1-7)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 400;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 6;
- частота среза ФНЧ, Гц – 40 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 1 дБ;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K_y \gg 1$.

Вариант № 24

Измерительный преобразователь активной мощности



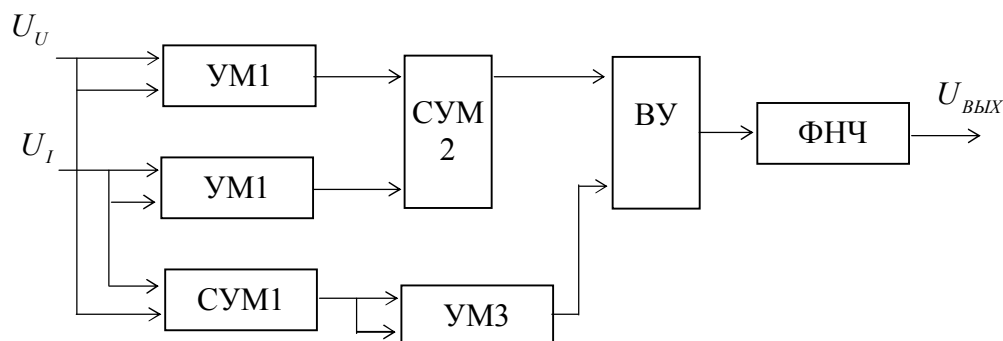
УМ1, УМ2, – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ВУ1, ВУ2 – вычитающие устройства; СУМ – суммирующее устройство; U_U – входное напряжение, пропорциональное напряжению в измерительной цепи; U_I – входное напряжение, пропорциональное току в измерительной цепи

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – $(0-8)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 200;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 20 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 2 дБ.

Вариант № 25

Измерительный преобразователь активной мощности



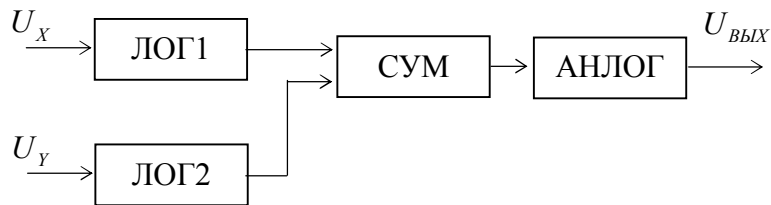
УМ1, УМ2, УМ3 – аналоговые умножители; ФНЧ – фильтр нижних частот; ВУ – вычитающее устройство; СУМ1, СУМ2 – суммирующие устройства; U_U – входное напряжение, пропорциональное напряжению в измерительной цепи; U_I – входное напряжение, пропорциональное току в измерительной цепи

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – $(0-8)\sqrt{2}$;
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное значение выходного сигнала (среднеквадратическое значение), В – 8;
- частота среза ФНЧ, Гц – 50 при коэффициенте передачи 1 и пульсации амплитудно-частотной характеристики 3 дБ.

Вариант №26

Множительный функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



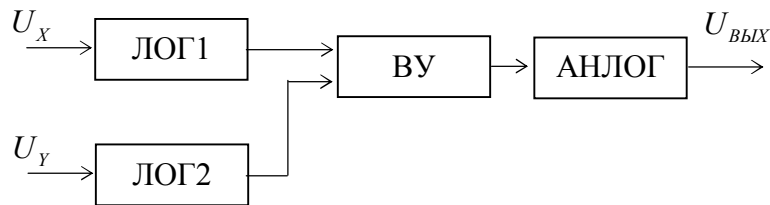
ЛОГ1, ЛОГ2 – аналоговый логарифматоры; СУМ – аналоговый сумматор; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (1-10);
- максимальное значение выходного сигнала при $U_X = U_Y = 10$, В – 10.

Вариант № 27

Делительный функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



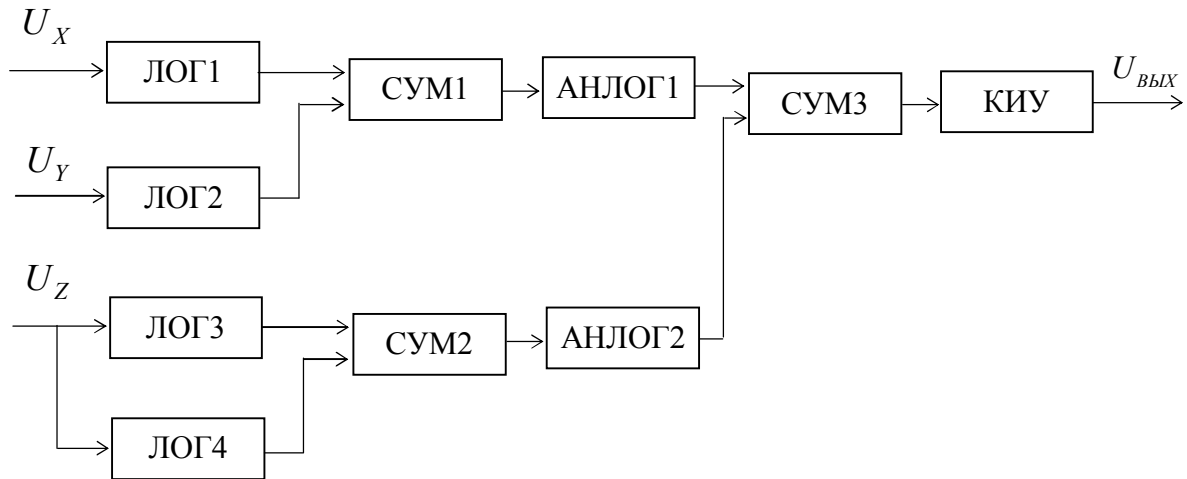
ЛОГ1, ЛОГ2 – аналоговый логарифматоры; ВУ – аналоговое вычитающее устройство; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов, В – (1-10);
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = 10\text{В}$ и $U_Y = 1\text{В}$), В – 10.

Вариант № 28

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2, ЛОГ3, ЛОГ4 – аналоговые логарифматоры; СУМ1, СУМ2, СУМ3 – аналоговые сумматоры; КИУ – аналоговое корнеизвлекающее устройство; АНЛОГ1, АНЛОГ2 – аналоговые антилогарифматоры

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

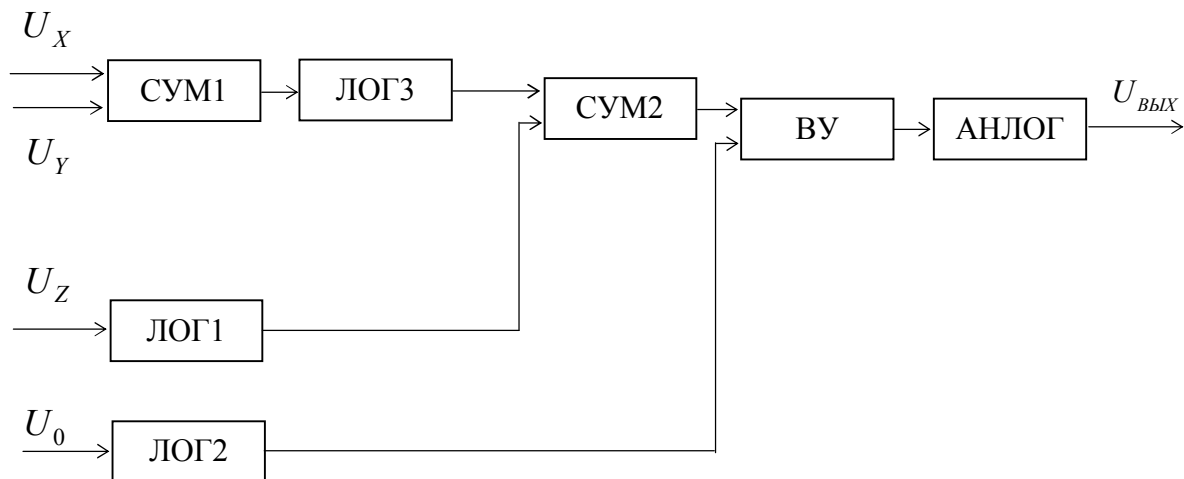
$$U_{ВЫХ} = \sqrt{U_X U_Y + U_Z^2}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов, В – (1-5);
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = U_Y = U_Z = 5\text{В}$), В – $5\sqrt{2}$.

Вариант № 29

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2, ЛОГ3 – аналоговые логарифматоры; ВУ – аналоговое вычитающее устройство; СУМ1, СУМ2 – аналоговые сумматоры; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

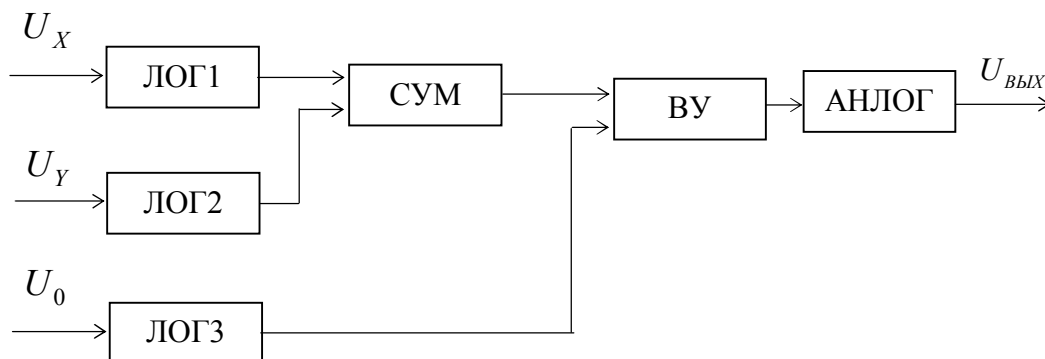
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{(U_X + U_Y)U_Z}{U_0}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов, В – (1-5);
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = U_Y = U_Z = 5\text{В}$), В – 5;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$.

Вариант № 30

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2, ЛОГ3 – аналоговые логарифматоры; СУМ – аналоговый сумматор; ВУ – аналоговое вычитающее устройство; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

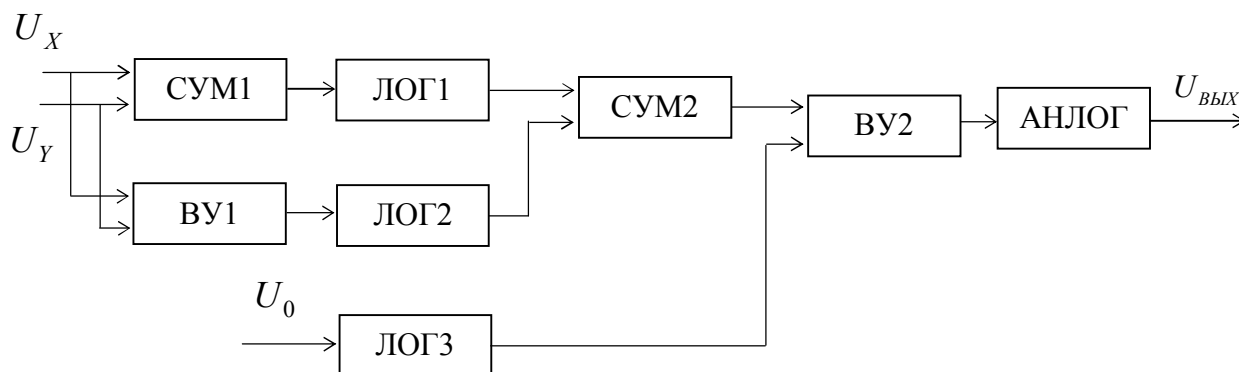
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_X U_Y}{U_0}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала (амплитудное значение), В – (1-10);
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = 10\text{В}$ и $U_Y = 1\text{В}$), В – 10;
- м опорное напряжение, В – $U_0 = 10$.

Вариант № 31

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2, ЛОГ3 – аналоговые логарифматоры; СУМ1, СУМ2 – аналоговые сумматоры; ВУ1, ВУ2 – аналоговые вычитающие устройства; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

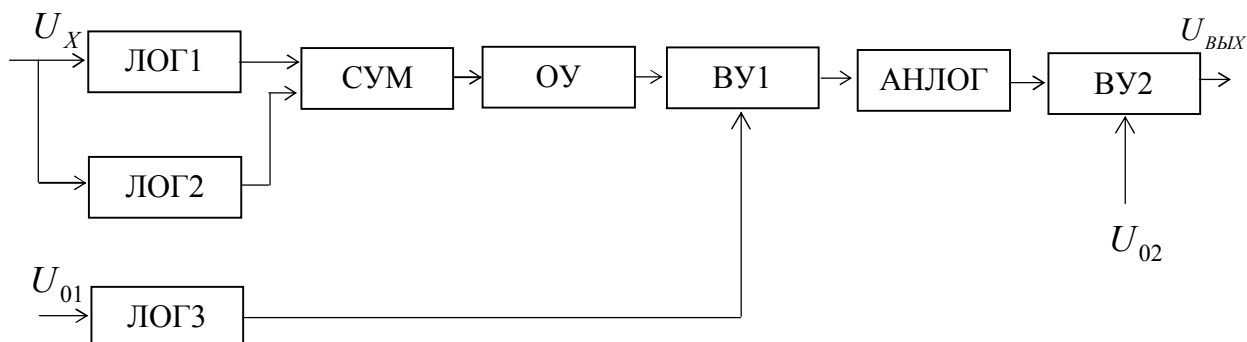
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{(U_X + U_Y)(U_X - U_Y)}{U_0}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала, В – (1-5);
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = 5\text{В}$ и $U_Y = 0\text{В}$), В – 5;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 1$.

Вариант № 32

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2, ЛОГ3 – аналоговые логарифматоры; СУМ – аналоговый сумматор; ВУ1, ВУ2 – аналоговые вычитающие устройства; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор; ОУ – операционный усилитель с коэффициентом передачи K

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

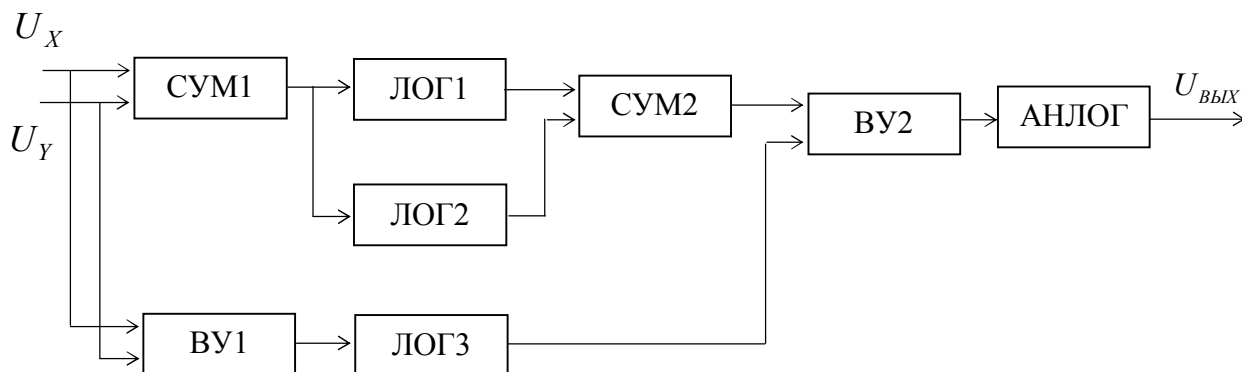
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{KU_X^2}{U_{01}} - U_{02}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входного сигнала, В – (1-5);
- максимальное значение выходного, В – 5;
- опорные напряжения, В – $U_{01} = U_{02} = 1$;
- коэффициент передачи ОУ, – 0,5;
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = 5$ В), В – 5.

Вариант № 33

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2, ЛОГ3 – аналоговые логарифматоры; СУМ1, СУМ2 – аналоговые сумматоры; ВУ1, ВУ2 – аналоговые вычитающие устройства; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

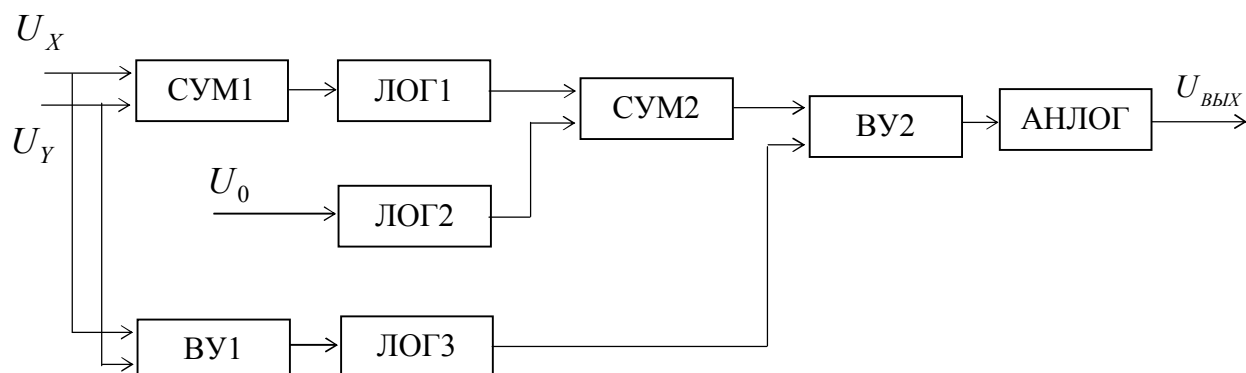
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{(U_X + U_Y)^2}{(U_X - U_Y)}$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов:
- $U_X = 5 - 9$, В;
- $U_Y = 1 - 4$, В;
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = 9$ В и $U_Y = 1$ В), В – 6,4.

Вариант № 34

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2, ЛОГ3 – аналоговые логарифматоры; СУМ1, СУМ2 – аналоговые сумматоры; ВУ1, ВУ2 – аналоговые вычитающие устройства; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

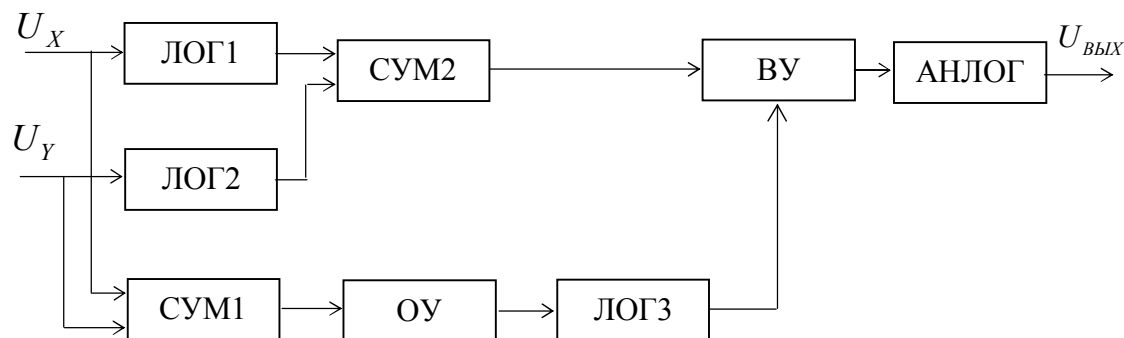
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{(U_X + U_Y)U_0}{(U_X - U_Y)}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов:
- $U_X = 5 - 9$, В;
- $U_Y = 1 - 4$, В;
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = 9$ В и $U_Y = 1$ В), В – 4;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 5$.

Вариант № 35

Функциональный преобразователь на основе логарифматоров и антилогарифматоров



ЛОГ1, ЛОГ2 – аналоговые логарифматоры; СУМ1, СУМ2 – аналоговые сумматоры; ВУ – аналоговые вычитающее устройство; АНЛОГ – аналоговый антилогарифматор; ОУ – операционный усилитель с коэффициентом передачи K

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

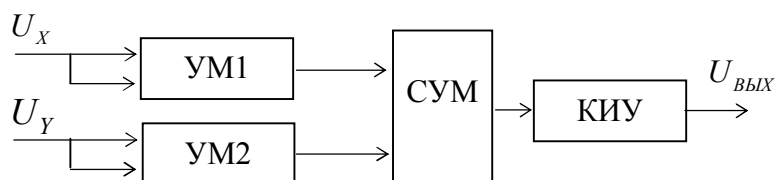
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_X U_Y}{K(U_X - U_Y)}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов:
- $U_X = 5 - 9$, В;
- $U_Y = 1 - 4$, В;
- максимальное значение выходного сигнала (при $U_X = 9$ В и $U_Y = 1$ В), В – 2,5;
- коэффициент передачи ОУ, – 2.

Вариант № 36

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; СУМ – аналоговый сумматор; КИУ – аналоговое корнеизвлекающее устройство

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

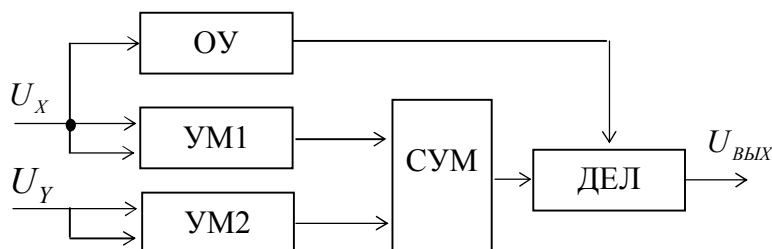
$$U_{ВЫХ} = \sqrt{U_X^2 + U_Y^2}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (1-5);
- частота входного сигнала, Гц – 1000;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = U_Y = 5$ и совпадении фазы сигналов), В – 8.

Вариант № 37

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; СУМ – аналоговый сумматор; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство; ОУ – операционный усилитель с коэффициентом передачи K

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

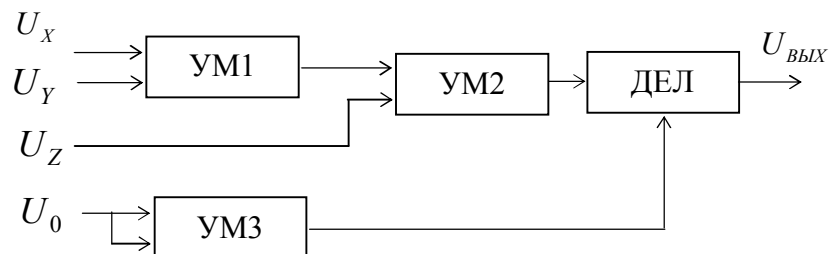
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_X^2 + U_Y^2}{KU_X}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (0-3);
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = U_Y = 3$ и совпадении фазы сигналов), В – 3;
- коэффициент усиления ОУ $K = 2$.

Вариант № 38

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2, УМ3 – аналоговые умножители; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

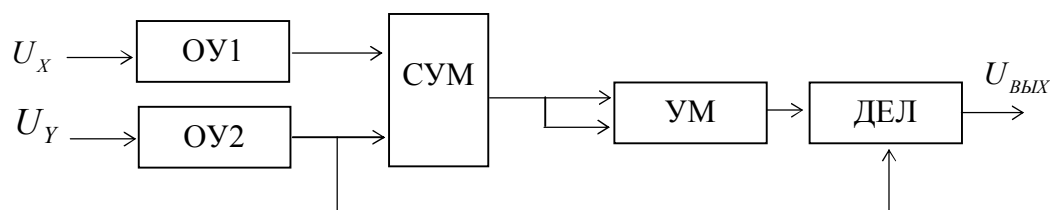
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_x U_y U_z}{U_0^2}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (0-4);
- частота входного сигнала, Гц – 1000;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_x = U_y = U_z = 4$ и совпадении фазы сигналов), В – 9;
- опорное постоянное напряжение, В $U_0 = 2$.

Вариант № 39

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ – аналоговый умножитель; СУМ – аналоговый сумматор; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство; ОУ1, ОУ2 – операционные усилители с коэффициентами передачи K_1 и K_2

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

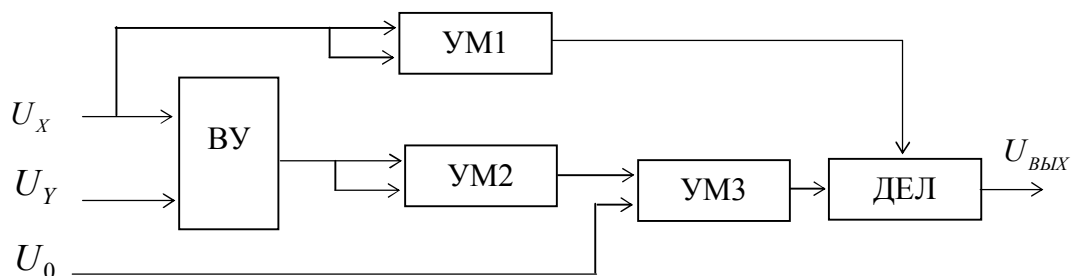
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{(K_1 U_X + K_2 U_Y)^2}{K_2 U_Y}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (0,1-1);
- частота входного сигнала, Гц – 2000;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = U_Y = 1$ В и совпадении фазы сигналов), В – 6;
- коэффициенты усиления ОУ1 и ОУ2 $K_1 = 2$ и $K_2 = 4$.

Вариант № 40

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2, УМ3 – аналоговые умножители; ВУ – аналоговое вычитающее устройство; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

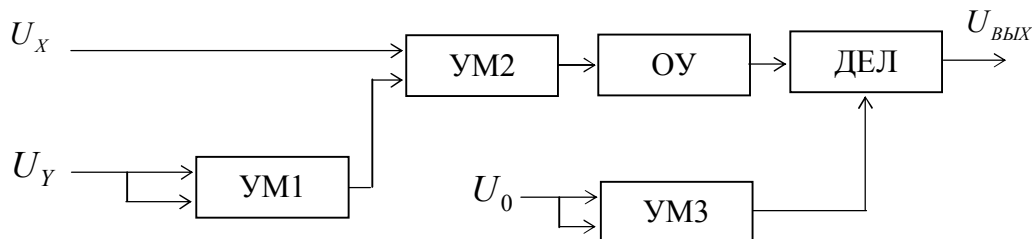
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_0(U_X - U_Y)^2}{U_X^2}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (1-5);
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = 5$ В; $U_Y = 1$ В и совпадении фазы сигналов), В – 3,2;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 5$.

Вариант № 41

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2, УМ3 – аналоговые умножители; СУМ – аналоговый сумматор; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство; ОУ – операционный усилитель с коэффициентом передачи K

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

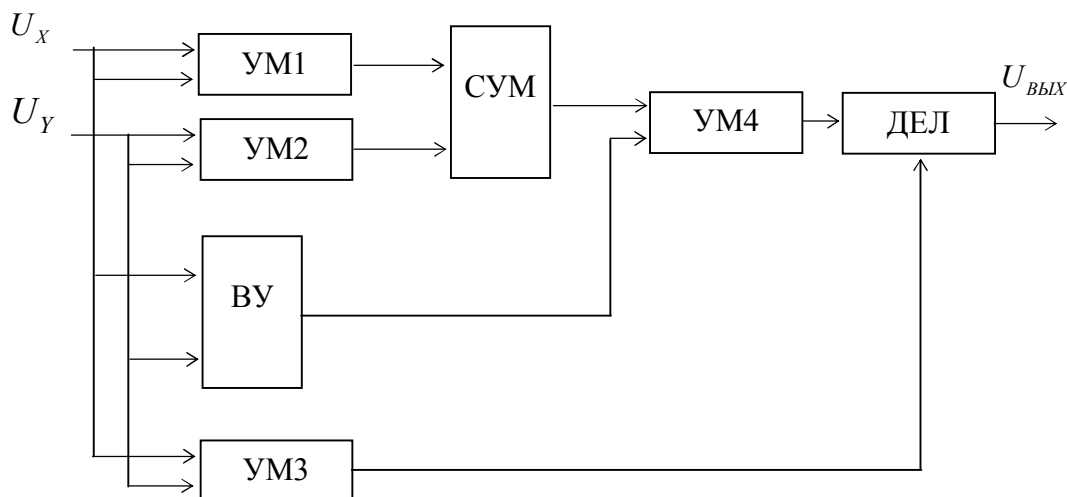
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{KU_X U_Y^2}{U_0^2}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение), В – (1-3);
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = 3$ В; $U_Y = 3$ В и совпадении фазы сигналов), В – 5,4;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 10$;
- коэффициент усиления ОУ $K = 2$.

Вариант № 42

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2, УМ3, УМ4 – аналоговые умножители; СУМ – аналоговый сумматор; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство; ВУ – аналоговое вычитающее устройство

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

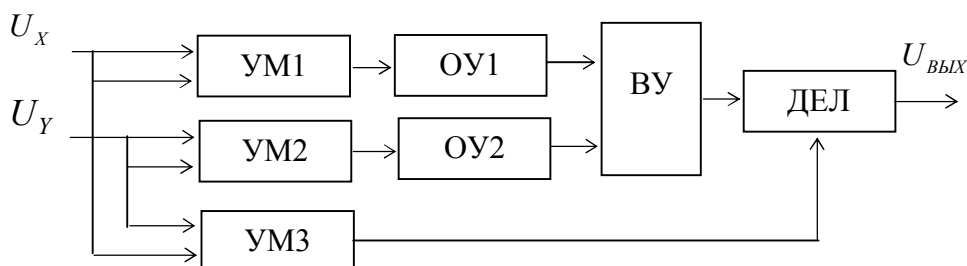
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{(U_X^2 + U_Y^2)(U_X - U_Y)}{U_X U_Y}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение):
- U_X , В – (1-4);
- U_Y , В – (1-2);
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = 4$ В; $U_Y = 2$ В и совпадении фазы сигналов), В – 5.

Вариант № 43

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2, УМ3 – аналоговые умножители; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство; ВУ – аналоговое вычитающее устройство; ОУ1, ОУ2 – операционные усилители с коэффициентами передачи K_1 и K_2

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

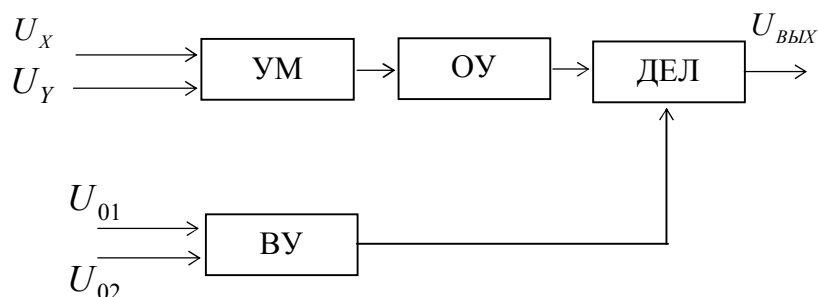
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{K_1 U_X^2 - K_2 U_Y^2}{U_X U_Y}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение):
- U_X , В – (1-5);
- U_Y , В – (1-5);
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- коэффициенты усиления ОУ1 и ОУ2, – $K_1 = 4$, $K_2 = 2$;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = 5\text{В}$; $U_Y = 5\text{В}$ и совпадении фазы сигналов), В – 2.

Вариант № 44

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ – аналоговый умножитель; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство; ВУ – аналоговое вычитающее устройство; ОУ – операционный усилитель с коэффициентом передачи K

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

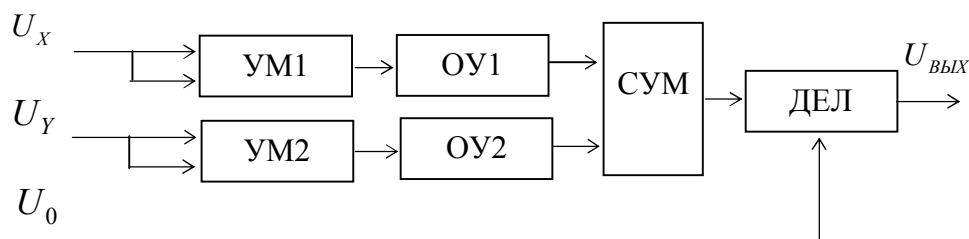
$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{KU_X U_Y}{U_{01} - U_{02}}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение):
- U_X , В – (0-5);
- U_Y , В – (0-5);
- частота входного сигнала, Гц – 1000;
- коэффициент усиления ОУ – $K = 2$;
- опорные напряжения, В – $U_{01} = 10$, $U_{02} = 5$;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при $U_X = 5$ В; $U_Y = 5$ В при $U_X = 5$ В; $U_Y = 5$ В и совпадении фазы сигналов), В – 10.

Вариант № 45

Функциональный преобразователь на основе интегральных множительных устройств



УМ1, УМ2 – аналоговые умножители; СУМ – аналоговый сумматор; ДЕЛ – аналоговое делительное устройство; ВУ – аналоговое вычитающее устройство; ОУ1, ОУ2 – операционные усилители с коэффициентами передачи K_1 и K_2

Разработать функциональный преобразователь, реализующий функцию

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{K_1 U_X^2 + K_2 U_Y^2}{U_0}.$$

Технические характеристики:

- диапазон изменения входных сигналов (амплитудное значение):
- U_X , В – (0-2); – U_Y , В – (0-2);
- частота входного сигнала, Гц – 500;
- коэффициенты усиления ОУ1 и ОУ2 - $K_1=2$, $K_2=3$;
- опорное напряжение, В – $U_0 = 2$;
- максимальное амплитудное значение выходного сигнала (при 2 В; $U_Y = 2$ В при $U_X = 5$ В; $U_Y = 5$ В и совпадении фазы сигналов), В – 5.

4. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

4.1. СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

После того как проделана экспериментальная часть исследования, сформулированы выводы и рекомендации, следует приступить к оформлению полученных результатов в виде пояснительной записки. Это основной документ, представляемый студентом руководителю по завершении курсового проекта.

Общий объем пояснительной записки не должен превышать 20-25 страниц печатного текста.

Последовательность разделов пояснительной записки: титульный лист, бланк задания, введение, разделы основной части проекта, заключение, список литературы, приложение, содержание.

Введение (одна-две страницы) включает постановку задачи исследования реального объекта и его назначение, анализ актуальности моделирования для решения поставленной задачи, цели исследования. Во введении обозначаются цели и задачи, поставленные при проведении исследования, но не затрагиваются факты и выводы, излагаемые в последующих разделах пояснительной записки.

Основная часть (до 20 страниц) состоит из разделов, в которых дается содержательное описание исследуемого объекта; рассматриваются структурная схема и режимы работы измерительного преобразователя; определяются функции преобразования всех блоков структурной схемы измерительного преобразователя и выводится функция преобразования объекта в целом; производится расчет масштабных коэффициентов; осуществляется выбор элементной базы и приводятся основные технические параметры элементов; проводится расчет основных элементов схемы; разрабатывается принципиальная схема измерительного преобразователя, составляется план проведения машинного эксперимента, приводятся результаты его осуществления; обосновываются выводы о характеристиках и предложения о возможных направлениях совершенствования исследуемого объекта.

Заключение (одна-две страницы) содержит суждение автора о результатах решения поставленной задачи, степени достижения им целей моделирования, достоинствах и недостатках проведенного исследования. В заключении также выдвигаются вопросы исследования, которые требуют разрешения. Этим обеспечивается преемственность научных исследований.

Список литературы содержит перечень источников, использованных при выполнении курсового проекта.

Приложение включает принципиальную схему измерительного преобразователя, перечень элементов принципиальной схемы, осциллограммы сигналов на выходах основных блоков преобразователя.

Содержание призвано раскрыть в краткой форме суть работы путем обозначения основных разделов, подразделов и других частей пояснительной записки. Содержание состоит из наименований всех разделов курсового проекта (с требуемой степенью детализации) с указанием страниц их расположения в записке.

Текст пояснительной записки следует делить на абзацы. Критерием такого деления является смысл написанного – каждый абзац включает в себя самостоятельную мысль, содержащуюся в одном или нескольких предложениях.

Необходимо избегать повторений, не допускать перехода к новому положению, пока предыдущее не получило полного законченного выражения. Следует избегать растянутых фраз с нагромождением придаточных предложений, вводных слов и фраз, писать по возможности краткими и ясными для понимания предложениями.

4.2. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ИЛЛЮСТРАТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Пояснительная записка к курсовому проекту пишется на одной стороне листа бумаги формата А4 (297x210 мм). Размеры полей: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху – 25 мм, снизу – 25 мм. Абзацный отступ – 1,27 мм. Текст должен быть подготовлен с помощью тексто-

вого редактора. В последнем случае выбирается шрифт Times New Roman 14 пт и устанавливается одинарный межстрочный интервал. Изложение текста ведется от первого лица множественного числа.

Пояснительная записка, все графические материалы оформляются в соответствии с ГОСТ [7-22].

В пояснительной записке необходимо выдержать единые обозначения и размерности для используемых параметров и переменных. Сокращения слов, терминов и обозначений допускаются только общепринятые, например АСУ, ЭВМ. При необходимости введения сокращений аббревиатура указывается в скобках после первого упоминания сокращаемого понятия. Это делается, если возникает потребность в употреблении аббревиатуры более трех раз.

Текст пояснительной записки делится на разделы. Каждый раздел начинается с новой страницы. Разделы и подразделы, имеющие порядковые номера, обозначаются арабскими цифрами с точкой, например 2 – второй раздел, 3.1 – первый подраздел третьего раздела, 2.1.2 – второй пункт первого подраздела второго раздела. Введение, заключение, содержание и список литературы не нумеруются.

Заголовки разделов пишут прописными буквами. При компьютерном наборе текста для заголовков разделов используется стиль «Заголовок 1». Заголовки подразделов пишут с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой прописной). При наборе текста с помощью текстового редактора используется стиль «Заголовок 2». Переносы слов в заголовках не допускаются. Точка в конце заголовка не ставится, подчеркивание не допускается.

Рисунки (схемы) располагают на отдельных листах или в тексте. Поясняющие надписи размещают под рисунком. Они начинаются со слова «Рисунок». Номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка в разделе, разделенных точкой, например «Рисунок 2.1 – Схема устройства» (первый рисунок второго раздела). Рисунки выполняют чернилами, тушью или с помощью графического редактора. Располагают рисунок после первой ссылки на него в тексте. При необходимости повторного обращения к рисунку, который расположен раньше по тексту, ссылка указывается так: «(см. рисунок 1.3)».

Таблицы служат для оформления цифрового материала, выполняются на отдельных листах или в тексте и приводятся после первого упоминания о них в тексте записки. Форма таблицы вычерчивается чернилами или тушью (в случае ручного исполнения). Каждая таблица должна иметь заголовок, начинающийся с прописной буквы. Заголовок не подчеркивается. Выше заголовка над правым углом пишется слово «Таблица» и указывается ее номер, состоящий из номера раздела и порядкового номера таблицы в нем, например «Таблица 1.3». На все таблицы должны быть ссылки в тексте, например «...в таблице 2.3». В повторных ссылках – «см. таблицу 2.3».

Формулы в записке (если их более одной) нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в нем, разделяемых точкой. Ставится с правой стороны листа на уровне нижней строки формулы в круглых скобках, например (2.4) – четвертая формула во втором разделе. Ссылки на формулу указывают номером формулы в круглых скобках, например «по соотношению (3.2)». Пояснения значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой, начиная его словом «где» без двоеточия после него в той же последовательности, в какой они даны в формуле, с новой строки. Уравнения и формулы выделяют из текста отдельными строками. Громоздких соотношений следует избегать, а при необходимости переноса продолжение формулы с новой строки возможно после знаков арифметических операций. При написании формулы и выборе справочных данных необходима ссылка на литературный источник, из которого они заимствованы. При компьютерном наборе формул должны соблюдаться следующие размеры: 14-7-9-20-14.

При ссылке в тексте записки на используемую литературу в квадратных скобках указывается порядковый номер в списке источников, например «[14]». В списке источники располагаются в порядке появления ссылок в тексте записки. Каждый источник описывается по форме: фамилия и инициалы автора, полное название книги или статьи, место издания, издательство, год издания, объем. Для журнальной статьи по-

мимо реквизитов автора и названия статьи указывается название журнала, год издания, номер журнала, номер страницы.

Приложения оформляют как продолжение пояснительной записки на последующих страницах, располагая их в порядке появления ссылок в тексте. Каждое приложение начинают с нового листа с указанием слова «Приложение» и порядкового номера, например «Приложение А». Ниже следует тематический заголовок приложения, оформляемый так же, как и заголовок таблицы. Рисунки, таблицы и формулы в пределах каждого приложения нумеруют буквами с добавлением перед номером алфавитного обозначения, например «Рисунок Б.2», «Таблица А.2» и т.п. При необходимости текст каждого приложения может быть разбит на подразделы и пункты, имеющие нумерованные заголовки. Перед их номерами также ставятся алфавитные обозначения, например «М.1». Ссылки на приложения в тексте пояснительной записки заключаются в круглые скобки, например (приложение Г).

В пояснительной записке все листы, в том числе титульный и приложения, нумеруются сквозной нумерацией арабскими цифрами. На титульном листе номер не ставят, на последующих он указывается в правом верхнем углу.

Законченная пояснительная записка подписывается студентом.

Иллюстративный материал выполняется на листах белой или миллиметровой бумаги. Каждый законченный графический фрагмент должен иметь заголовок.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Щепетов А.Г. Основы проектирования приборов и систем: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 368 с. (Сер. Бакалавриат).
2. Шишмарев В.Ю. Основы проектирования приборов и систем. – М.: Юрайт, 2011. – 343 с. (Сер. Бакалавр).
3. Мелентьев В.С. Основы проектирования приборов и систем: учеб.-метод. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2007. – 90 с.
4. Мелентьев В.С. Расчет, проектирование и анализ погрешностей масштабных преобразователей: учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 119 с.
5. Шестеркин А.Н. Система моделирования и исследования радиотехнических устройств Multisim 10. – М.: Издательский дом «ДМК пресс», 2012. – 360 с.
6. Загидуллин Р.Ш. Multisim, Labview, Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2009. – 368 с.

Дополнительная

- 7 ГОСТ 2.104-68. Основные надписи.
- 8 ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам.
- 9 ГОСТ 2.106-96. Текстовые документы.
- 10 ГОСТ 2.109-73. Основные требования к чертежам.
- 11 ГОСТ 2.301-68 – 2.318-81. Общие правила выполнения графических документов.
- 12 ГОСТ 2.201-80. Обозначения изделий и конструкторских документов.
- 13 ГОСТ 2.304-81. Шрифты чертежные.
- 14 ГОСТ 2.321-84. Обозначения буквенные.
- 15 ГОСТ 2.702-75. Правила выполнения электрических схем.

16 ГОСТ 2.709-89. Обозначения условные проводов и контактные соединения электрических элементов.

17 ГОСТ 2.710-81. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

18 ГОСТ 2.728-74. Резисторы, конденсаторы.

19 ГОСТ 2.730-73. Приборы полупроводниковые.

20 ГОСТ 2.759-82. Элементы аналоговой техники.

21 ГОСТ 7.1-76. Описание библиографии.

22 ГОСТ 2.316-68. Таблицы.

23 ГОСТ 2.721-74. Обозначения общего применения.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	5
1.1. Этапы выполнения курсового проекта.....	5
1.2. Защита курсового проекта.....	7
1.3. Критерии оценки курсового проекта.....	7
2. СОДЕРЖАНИЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	9
2.1. Теоретические основы построения измерительных преобразователей параметров периодических сигналов	9
2.1.1. Математические модели и параметры периодических сигналов	9
2.1.2. Методы построения аналоговых измерительных преобразователей интегральных характеристик периодических сигналов	13
2.1.3. Использование интегральных множительных устройств для реализации основных арифметических операций.....	16
2.1.4. Использование логарифмирующих и антилогарифмирующих устройств для реализации основных арифметических операций.....	18
2.2. Анализ режимов работы измерительного преобразователя	20
2.3. Разработка принципиальной схемы измерительного преобразователя.....	23
2.4. Моделирование работы измерительного преобразователя.....	24
2.5. Расчет погрешности измерительного преобразователя	27
3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ	28
4. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	73
4.1. Содержание пояснительной записки.....	73
4.2. Оформление пояснительной записки и иллюстративных материалов	74
ЛИТЕРАТУРА.....	78

Учебное издание

**Проектирование и расчет аналоговых
измерительных преобразователей**

МЕЛЕНТЬЕВ Владимир Сергеевич

ИВАНОВ Юрий Михайлович

СИНИЦЫН Антон Евгеньевич

Редактор *Е.С. Захарова*

Верстка *И.О. Миняева*

Выпускающий редактор *Ю.А. Петропольская*

Подп. в печать 29.08.13.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная

Усл. п. л. 4,76. Усл-изд. л. 4,73.

Тираж 50 экз. Рег. № 199/13

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100 г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус №8