

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.3–1/–8

Измерительный усилитель-преобразователь для проведения лабораторных работ

И.Д. Ершова

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

В статье описана разработка бюджетного цифрового усилителя-преобразователя для лабораторных работ в образовательных учреждениях, предназначенного для измерения параметров сигналов переменного тока (амплитудного, среднего выпрямленного и RMS-значений) в диапазоне 0,1–10 кГц. Устройство построено на простой компонентной базе без микроконтроллеров, включает блоки защиты от перенапряжений, усилитель с регулируемым коэффициентом, прецизионный выпрямитель и детекторы. Разработана структурная и принципиальная схемы, блок питания на ± 12 В. Симуляция подтвердила точность измерений с погрешностью не более 2 %. Проект повышает качество подготовки специалистов в электротехнике.

Ключевые слова: измерительный усилитель преобразователь, детекторы, выпрямитель, электронный компонент

Для цитирования. Ершова И.Д. Измерительный усилитель-преобразователь для проведения лабораторных работ. *Молодой исследователь Дона*. 2026;11(1):50–55.

A Measuring Amplifier-Converter for Laboratory Studies

Irina D. Ershova

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article describes the development of a low-cost digital amplifier-converter for conducting laboratory studies in the educational institutions. It is designated to measure AC signal parameters (amplitude, average rectified forward current, and RMS values) in the range of 0.1–10 kHz. The device is built on a simple component base without microcontrollers and includes the overvoltage protection units, an amplifier with an adjustable gain, a precision rectifier, and detectors. A structure and principle schematic diagrams, and a ± 12 V power supply unit have been developed. Measurement accuracy with a margin of error of no more than 2% has been verified during simulation. The project contributes to the enhancement of the quality of training of specialists in the field of electrical engineering.

Key words: measuring amplifier-converter, detectors, rectifier, electronic component

For Citation. Ershova ID. A Measuring Amplifier-Converter for Laboratory Studies. *Young Researcher of Don*. 2026;11(1):50–55.

Введение. При проведении лабораторных или исследовательских работ часто требуется измерение токов несинусоидальной формы [1]. Для решения этой задачи подходят усилители-преобразователи. Эти устройства объединяют две ключевые функции: усиление слабых аналоговых сигналов и их преобразование в цифровую форму, удобную для дальнейшей обработки, хранения или передачи. Такие элементы играют важную роль в создании высокоточных измерительных систем. В связи с этим необходимо организовывать лабораторные занятия на подобном оборудовании. Однако в настоящее время учебные заведения сталкиваются с проблемой, а именно с отсутствием подходящих стендов. Существующие решения, такие как цифровые осциллографы (способные измерять сигналы различной формы), стоят очень дорого. Другие приборы (рис. 1) калибруются только по постоянному току, хотя в ходе работ могут понадобиться измерения переменного, и основаны на узком физическом принципе, что в итоге сковывает исследования.

На основании всего изложенного цель настоящей работы — разработать устройство для учебных заведений, которое будет:

- бюджетным;
- созданным на доступной и простой компонентной базе;
- оснащенным блоками защиты;
- соответствующим далее указанному ТЗ.

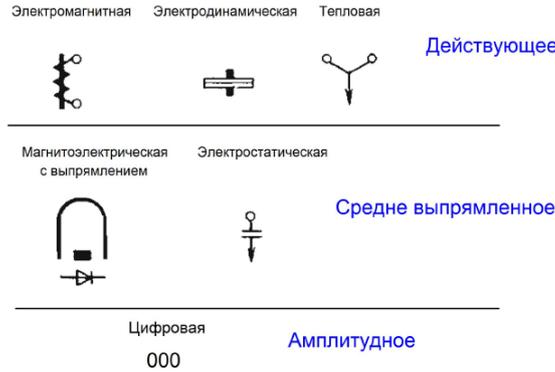


Рис. 1. Приборы для измерения и физические принципы, на которых они основаны

Основная часть. Для успешного проектирования и последующей эксплуатации устройства требуется сформировать ТЗ. Поскольку прибор предназначен для измерения и анализа параметров переменного сигнала в диапазоне от 0,1 до 10 кГц, устройство должно обеспечивать высокоточное определение следующих характеристик входного сигнала:

- амплитудное значение (пиковое) — значение, в котором график синусоиды достигает максимумов (рис. 2) [2];

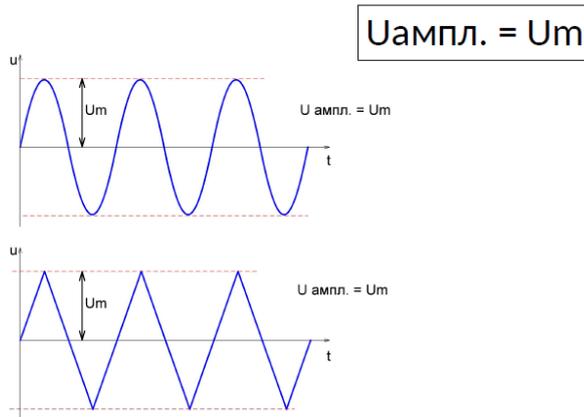


Рис. 2. Амплитудное значение

- среднее выпрямленное значение — это 0,707 от амплитудного значения (рис. 3) [2];

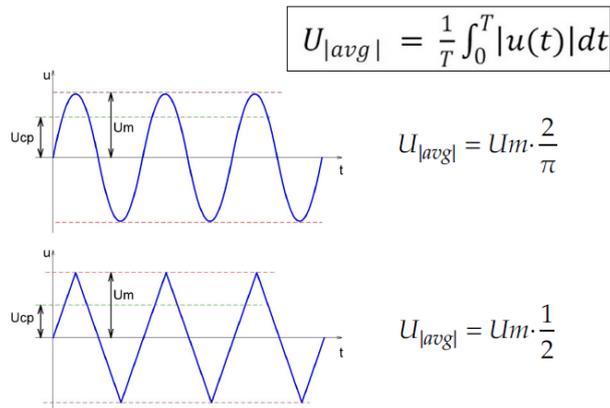


Рис. 3. Среднее выпрямленное значение

– действующее значение (RMS) — определяет эквивалентную мощность, которую переменный ток выделяет в резистивной нагрузке так же, как и постоянный (рис. 4) [3].

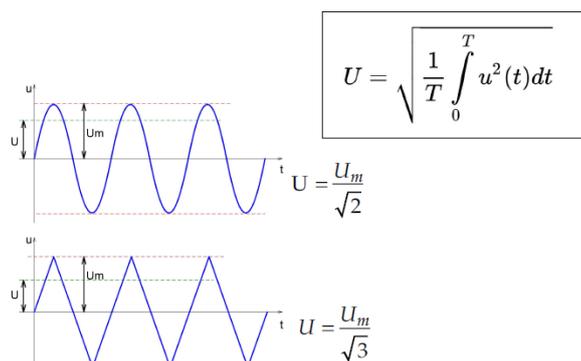


Рис. 4. Действующее значение

Обработка сигнала выполняется полностью в аналоговой форме без привлечения микроконтроллеров, что гарантирует повышенную точность и минимальную задержку во время измерений.

Поскольку данное устройство разработано для лабораторных экспериментов, в его состав входят следующие ключевые функциональные модули:

- блок защиты на входе от превышения напряжения и перегрузок;
- усилитель сигнала с настраиваемым коэффициентом;
- прецизионный выпрямитель (на основе операционных усилителей или специализированных интегральных схем);
- амплитудный детектор с функцией фиксации пикового уровня;
- фильтр для расчёта среднего значения;
- детектор среднеквадратического значения (с применением микросхемы AD637 или её эквивалента).

Электрические характеристики:

- диапазон входного напряжения: от ± 1 В до ± 10 В;
- частотный диапазон: от 0,1 кГц до 10 кГц;
- погрешность измерения RMS: не более ± 2 %;
- питание: двухполярное, ± 12 В или ± 15 В;
- максимальное входное напряжение: 10 В;
- потребляемый ток: не более 30 мА.

Структурная схема устройства, представленная на рис. 5, охватывает:

- блок защиты — предохраняющий установку от нештатных режимов;
- усилитель — повышающий амплитуду входного сигнала;
- прецизионный выпрямитель — цепь, преобразующая сигнал после этапа усиления;
- детектор среднеквадратического значения — модуль, оценивающий эквивалентную мощность переменного сигнала, то есть напряжение, которое обеспечило бы аналогичное тепловое воздействие, подобно исходному колебательному току;
- детектор среднего значения — рассчитывающий арифметическое среднее выпрямленного сигнала за заданный временной интервал;
- амплитудный детектор — определяющий максимальную величину амплитуды на входе.



Рис. 5. Структурная схема цифрового усилителя преобразователя

Схема, предназначенная для усиления входного переменного сигнала и получения его амплитудного, среднего и среднеквадратического значений, представлена на рис. 2. Устройство построено на базе специализированных микросхем и включает систему коммутации, фильтрации и обработки сигналов. Оно состоит из следующих функциональных узлов:

1. Входной каскад и защита;
2. Усилитель и частотная фильтрация;
3. Детектор среднего значения;
4. Детектор среднеквадратического значения (RMS);
5. Блок сброса и включения питания;
6. Коммутация режимов измерения.

Схема питания измерительного устройства, обеспечивающая стабилизированные напряжения +12 В и -12 В, представлена на рис. 3. Она состоит из следующих функциональных узлов:

1. Сетевой вход и фильтрация;
2. Понижающий трансформатор и выпрямление;
3. Индикация работы;
4. Стабилизация выходного напряжения.

Описание работы прибора приведено на рис. 6. На вход устройства подается амплитудное напряжение ($U_{\max} = 10$ В), которое сравнивается с опорным напряжением на стабилитронах (DA 2.1 и DA 2.2); эти элементы запитываются отдельно от источника питания $U = \pm 11$ В.

При поступлении сигнала U в пределах $[-11; +11$ В] компараторы остаются выключенными, защита не активируется, и сигнал направляется на масштабирующий усилитель (DA 1.1), а затем на специализированные микросхемы для регистрации показаний. Считывание осуществляется путем перевода переключателя в одно из трех положений: «Ампл.», «Сред.» или «RMS». Для оценки амплитудного или среднеквадратического значения активируется ветвь с элементами DA3, C5, R13 и R15, а также переключатель в соответствующих положениях «Ампл.» или «Сред.»:

– при измерении амплитудного значения переключатель устанавливается в положение «Ампл.», и сигнал проходит через DA3, C5, R13, затем на масштабирующий усилитель (DA 1.3) и далее на вольтметр постоянного тока для регистрации показаний;

– при оценке среднеквадратического значения переключатель переводится в положение «Сред.», что приводит к замыканию ключа (K2.1); в этом случае задействуется RLC-цепь, которая постепенно заряжается и разряжается, позволяя определить среднее значение.

Для измерения среднеквадратического показателя прибор переводится в положение «RMS», и ток с масштабирующего усилителя (DA 1.3) поступает на вход микросхемы (преобразователь среднеквадратического значения [4]) (DA4), а затем на тестер (вольтметр). Если на вход подается напряжение U , превышающее ± 11 В, активируется соответствующий компаратор (DA 2.1 или DA 2.2), замыкая выход на землю через реле (K1.1), и зажигается светодиод. В конструкции применены масштабирующие усилители: первый — для снижения уровня напряжения, соответствующего питанию микросхем от $U = \pm 12$ В, а второй — для восстановления исходного уровня сигнала на входе (до 12 В).

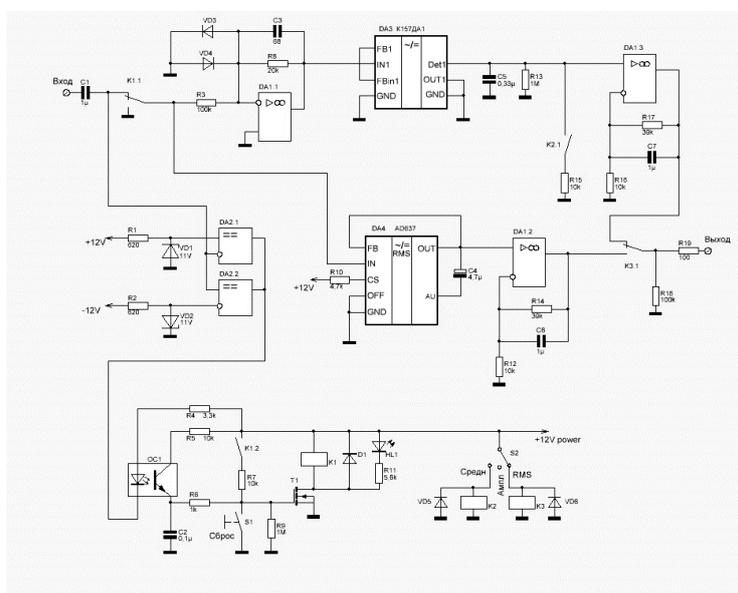


Рис. 6. Схема усилителя преобразователя

Описание работы блока питания прибора (рис. 7). На входе стоит понижающий трансформатор с плавким предохранителем (F1). Три стабилитрона в схеме предназначены для поддержания напряжения: +12В предназначено для питания измерительной схемы, ±12В — для питания блока защиты.

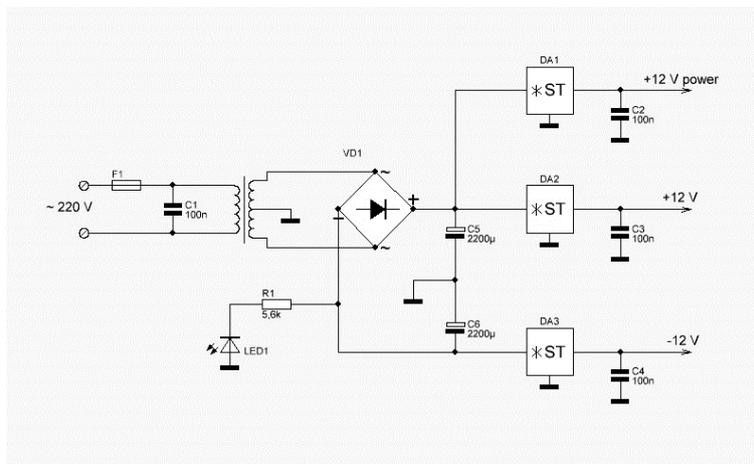


Рис. 7. Схема блока питания

Примерная визуализация устройства представлена на рис. 8. Вход соединяется с ранее описанным блоком питания. В зависимости от требований при выполнении работы выбирается одно из трех положений, и полученные данные отображаются на экране вольтметра постоянного напряжения.

В качестве индикатора вольтметр отобран для точной индикации измеряемых величин.

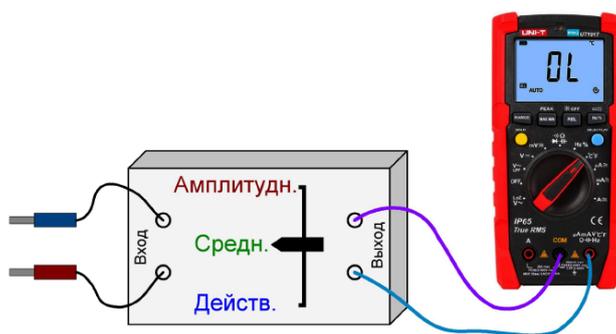


Рис. 8. Визуализация решения

После разработки и моделирования схемы, на симуляторе был проведен эксперимент (рис. 9), а именно сравнение разработанного устройства с существующими решениями. Эксперимент показал высокую точность, и, как следствие, эффективность разработки.

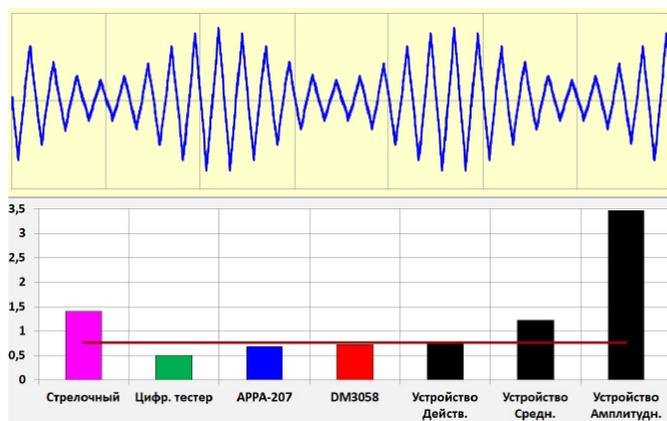


Рис. 9. Экспериментальное подтверждение эффективности прибора

Заключение. Разработанная лабораторная установка предназначена для выполнения студентами ряда экспериментальных работ. Ее внедрение окажет положительное влияние на высшее учебное заведение, поскольку позволит готовить более квалифицированных специалистов, тем самым усиливая конкурентные преимущества вуза — как при привлечении абитуриентов, так и при взаимодействии с предприятиями-работодателями.

В работе решены и описаны следующие задачи:

- разработана структурная схема установки;
- подобраны электронные компоненты установки;
- разработана электрическая принципиальная схема установки;
- проведена симуляция работы устройства, что подтвердило его эффективность.

Список литературы

1. *Лабораторная работа №8. Исследование линейных цепей несинусоидального периодического тока, содержащих катушку индуктивности.* URL: <https://studfile.net/preview/8842917/> (дата обращения: 13.09.2025).
2. *Амплитудное, среднее выпрямленное, действующее и пилообразное значение напряжения.* URL: <https://electricalblog.tech/electrotehnika-electronika/sinusoida-i-drugie-formy-signala.php> (дата обращения: 13.09.2025).
3. *Действующее значение тока и напряжения.* URL: <https://radioskot.ru/publ/teoria/dejstvuyushhee-znachenie-toka-i-napryazheniya> (дата обращения: 13.09.2025).
4. *AD637AQ.* URL: <https://www.gnscomponent.com/ic/ad637aq-cdip14-rms-to-dc-converter.html> (дата обращения: 13.09.2025).

Об авторе:

Ирина Денисовна Ершова, студент кафедры «Электротехника и электроника» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), irina.d.ershova@gmail.com

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Irina D. Ershova, Student of the Department of Electrical Engineering and Electronics, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), irina.d.ershova@gmail.com

Conflict of Interest Statement: the author declares no conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.