

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ /
AUTOMATION AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70>

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ**

Научная статья

Гилемханов Т.Ф.¹, Гибадуллин Р.Ф.^{2,*}

² ORCID : 0000-0001-9359-911X;

^{1,2} Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань,
Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (landwatersun[at]mail.ru)

Аннотация

В данной работе представлена разработка автоматизированного стенда для измерения параметров источников электропитания. Актуальность исследования обусловлена широким применением источников электропитания во всех электронных устройствах и необходимостью создания экономически эффективных решений для их диагностики и тестирования. Предложенный стенд позволяет точно измерять такие параметры, как выходное напряжение и ток, коэффициент полезного действия, нестабильность напряжения и тока, коэффициенты пульсаций и сглаживания. В основе стенда лежит микропроцессорная система, интегрированная с персональным компьютером, которая обеспечивает автоматизацию процесса измерений и обработки данных. В работе проведен анализ существующих аналогов, выявлены их недостатки, и предложены пути оптимизации конструкции стенда. Основные рекомендации по развитию работы включают совершенствование архитектуры измерительной системы, улучшение интерфейсов взаимодействия с современными компьютерами, расширение функционала стенда и улучшение пользовательского интерфейса. Разработанный стенд обладает высокой точностью измерений, что делает его важным инструментом для диагностики и тестирования источников электропитания.

Ключевые слова: автоматизированный стенд, измерение параметров, источники электропитания, микропроцессорная система, диагностика, нестабильность напряжения, автоматизация измерений.

AUTOMATED TEST BENCH FOR MEASURING POWER SUPPLY PARAMETERS

Research article

Gilemkanov T.F.¹, Gibadullin R.F.^{2,*}

² ORCID : 0000-0001-9359-911X;

^{1,2} Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (landwatersun[at]mail.ru)

Abstract

This work presents the development of an automated bench for measuring the parameters of power supply sources. The relevance of the research is due to the wide application of power supply sources in all electronic devices and the necessity to create cost-effective solutions for their diagnostics and testing. The proposed test bench allows to accurately measure such parameters as output voltage and current, efficiency factor, voltage and current instability, ripple and smoothing coefficients. The bench is based on a microprocessor system integrated with a personal computer, which provides automation of the measurement process and data processing. The paper analyses the existing analogues, identifies their drawbacks, and suggests ways to optimize the bench design. The main recommendations for the development of the work include improving the architecture of the measurement system, improving the interfaces of interaction with modern computers, expanding the functionality of the bench and improving the user interface. The developed bench has high measurement accuracy, which makes it an important tool for diagnostics and testing of power supply sources.

Keywords: automated test bench, parameter measurement, power supply sources, microprocessor system, diagnostics, voltage instability, measurement automation.

Введение

Целью данной работы является разработка автоматизированного стенда для измерения ключевых характеристик источников электропитания, включающего диагностику и анализ их параметров и зависимостей. Основные задачи стенда включают измерение номинальных значений выходного напряжения и тока, построение нагрузочных характеристик, определение КПД (коэффициент полезного действия), а также расчет коэффициентов нестабильности по напряжению и току, коэффициента пульсаций и степени сглаживания пульсаций.

Актуальность данной работы обусловлена отсутствием аналогичных решений на рынке, способных проводить столь широкий спектр измерений с высоким уровнем точности и при этом остающихся экономически более выгодными по сравнению с существующими промышленными аналогами. Созданный стенд не только обеспечивает измерение параметров, которые ранее не учитывались в других системах, но и отличается меньшей стоимостью, что делает его доступным для широкого круга пользователей.

Для решения поставленной задачи была разработана микропроцессорная система, интегрированная с персональным компьютером. Измерительные каналы системы состоят из высокочувствительных датчиков тока,

фильтров высоких частот, блоков масштабирования и аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Обработка данных, вычисление необходимых параметров и их визуализация выполняются микропроцессорной системой, для которой было разработано специализированное программное обеспечение.

Основные параметры источников электропитания:

- номинальное выходное напряжение и ток;
- нагрузочные характеристики – зависимость выходного тока от изменения сопротивления нагрузки;
- коэффициент нестабильности по напряжению – это отношение относительного изменения выходного напряжения $\Delta U_H/U_H$ к вызвавшему его изменению входного напряжения $\Delta U_{\Pi}/U_{\Pi}$:

$$K_{HU} = \frac{\Delta U_H/U_H}{\Delta U_{\Pi}/U_{\Pi}} \quad (1)$$

- коэффициент нестабильности по току – это отношение относительного изменения напряжения на нагрузке $\Delta U_H/U_H$ к вызвавшему его относительному изменению тока нагрузки $\Delta I_H/I_H$:

$$K_{HI} = \frac{\Delta U_H/U_H}{\Delta I_H/I_H} \quad (2)$$

- коэффициент пульсаций – отношение амплитуды наиболее резко выраженной гармонической составляющей напряжения на выходе выпрямителя к среднему значению напряжения:

$$K_{\Pi} = \frac{U_{\sim}}{U_{cp}} \quad (3)$$

- коэффициент сглаживания пульсаций – это отношение амплитудного значения пульсаций входного напряжения $U_{\sim вх}/U_{вх}$, к амплитудному значению пульсаций выходного напряжения $U_{\sim вых}/U_{вых}$:

$$K_c = \frac{\Delta U_{\sim вх}/U_{вх}}{\Delta U_{\sim вых}/U_{вых}} \quad (4)$$

- коэффициент полезного действия – это отношение мощности, отдаваемой в нагрузку P_H , к мощности $P_{пот}$, потребляемой от первичного источника питания:

$$\eta = \frac{P_H}{P_{\Pi}} \quad (5)$$

Автоматизированный стенд для измерения параметров источников электропитания предназначен для точного контроля и анализа входных и выходных значений тока и напряжения. В основе работы стенда лежит микропроцессорная система, обеспечивающая расчёт и анализ этих параметров, а также выявление их корреляций. Данный стенд позволяет эффективно проводить регулярное техническое обслуживание и ремонт блоков питания, что значительно упрощает процессы диагностики и восстановления их функциональности.

Конструкция стенда объединяет программные и аппаратные компоненты, что позволяет осуществлять полный контроль над подключёнными устройствами в ходе испытаний. Использование виртуальных приборов позволяет автоматизировать процесс тестирования, освобождая оператора от необходимости вручную переключать каналы измерения (эту функцию выполняет блок коммутации), изменять параметры источника питания (в случае использования программируемого источника) или устанавливать значения генератора. Все действия, включая управление выходом ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь), запись результатов измерений в журнал испытаний, а также выбор настроек измерителя и времени измерений, выполняются автоматически в соответствии с условиями испытаний.

Измерение номинальных значений выходного напряжения и тока производится с использованием вольтметра и амперметра, соответственно. Для оценки нестабильности выходного напряжения применяется вольтметр, фиксирующий изменения при варьировании входного напряжения. Аналогично, измерение нестабильности выходного тока осуществляется с помощью амперметра при изменении сопротивления нагрузки. Такой подход обеспечивает высокую точность и надёжность измерений, что делает стенд незаменимым инструментом в работе с источниками электропитания.

Далее проведем обзор существующих стендов.

В работе [1] представлен стенд для исследования характеристик микросхемы вторичного источника питания с накачкой заряда.

Параметры обследования:

- нагрузочные и регулирующие характеристики;
- пульсации выходного напряжения;
- реакция микросхемы на ступенчатое отключение нагрузки;
- изучение алгоритма работы микросхемы накачки заряда.

На рисунке 1 показана структурная схема, представленного в [1], вместе с измерительным оборудованием. На стенде, помимо схемы накачки, можно регулировать и измерять входные и выходные параметры, включая индикацию присутствия и подключение к компьютеру. Система содержит несколько модулей в одном корпусе: модуль питания, модуль управления, модуль ввода, модуль подкачки заряда, модуль загрузки и модуль USB для связи с компьютером. Эта схема позволяет изучать разные типы микросхем, просто заменяя небольшую измерительную плату. Модуль управления построен на базе микроконтроллера PIC18F2550 [2], который управляет основными модулями системы и следит за их состоянием.

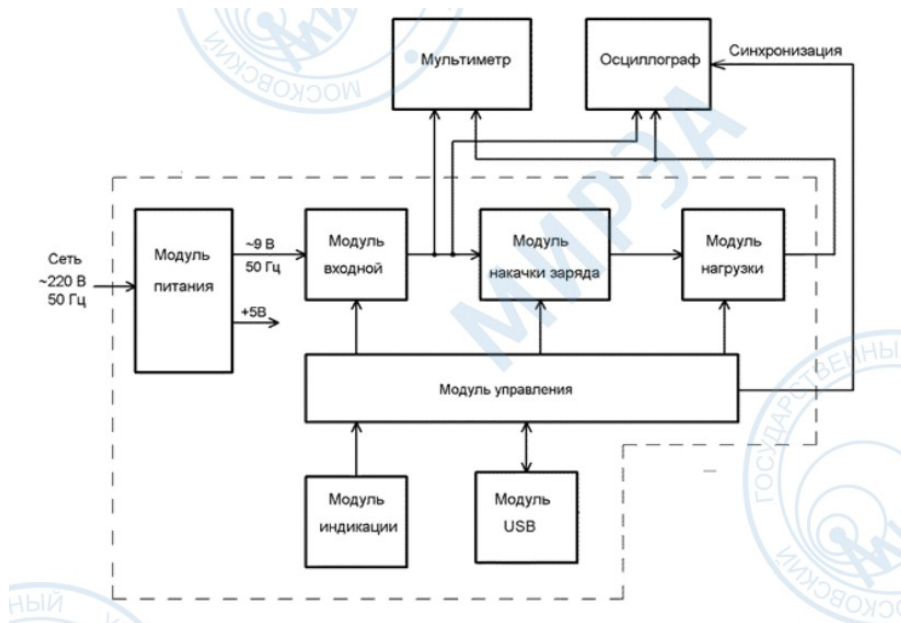


Рисунок 1 - Структурная схема экспериментального стенда
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.1>

В работе [3] показана система автоматического измерения параметров блоков питания. Этот стенд используется для тестирования практически любого модуля, в том числе AC/DC и DC/DC, без изменения самой программы. Эта система позволяет заменить ручное тестирование многоканальных источников питания автоматизированными измерениями. Разработанная система работает в двух режимах: автоматическом и ручном.

Набор тестов (проверок), которые может выполнять данная система:

- выходное напряжение;
- полная нестабильность;
- работа при низком напряжении;
- пусковая защита от перегрузки и короткого замыкания;
- время включения;
- контроль выходного напряжения.

В работе [4] представлен универсальный стенд для испытаний вторичных источников питания и преобразователей напряжения.

Автоматизированная система тестирования PV-инверторов предлагает:

- проверку выходных характеристик испытуемого технического средства (ИТС);
- проверку входных параметров ИТС;
- проверку временных и переходных параметров при срабатывании защиты.

В работе [5] представлена автоматизированная система диагностики импульсных источников питания. Система основана на компьютеризированной измерительной системе, которая обеспечивает измерения амплитуды, частоты и формы сигнала. При возникновении ошибки указывается причина и отклонение параметров сигнала от эталона.

Передняя панель программного обеспечения на экране ПК используется для ввода исходных данных, режимов работы и отображения результатов в табличном и графическом виде. На основе сигнала измерения, расчета параметров и формального анализа должен быть получен контрольный результат (исправен/неисправен). При возникновении ошибки указывается причина и отклонение параметров сигнала от эталона.

На рисунке 2 представлена блок-схема автоматизированной системы диагностики.

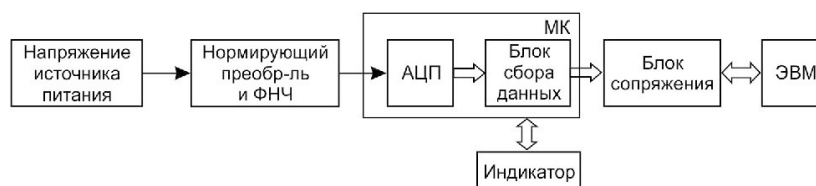


Рисунок 2 - Структурная схема автоматизированной системы диагностики
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.2>

Для разработки программного обеспечения диагностической системы была выбрана среда LabVIEW [6].

В работе [7] представлен автоматизированный испытательный комплекс для контроля параметров регуляторов напряжения и DC/DC-преобразователей.

Система автоматизации для одновременного управления набором параметров регулятора напряжения и DC/DC преобразователя при радиационном испытании построена на базе стандартного оборудования PXI компании National Instruments.

Данная работа предполагает создание автоматизированной системы одновременного контроля комплекса параметров СН и/или ПН при радиационных испытаниях на таких установках, как линейные ускорители электронов, изотопные источники и т.д.

Комплекс автоматизации имеет модульные устройства стандарта PXI (например, National Instruments). Программная часть создана в среде программирования NI LabVIEW 8.6 [6].

На рисунке 3 представлена структурная схема программно-аппаратного комплекса, используемого для тестирования микросхемы.

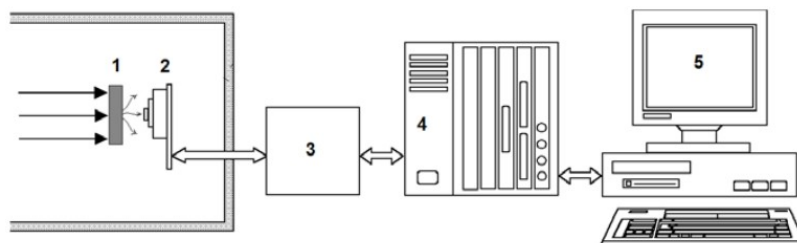


Рисунок 3 - Структурная схема аппаратно-программного комплекса для испытаний микросхем:

1 – источник воздействия; 2 – плата с испытываемыми образцами; 3 – блок управляемых нагрузок; 4 – измерительный блок; 5 – персональный компьютер

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.3>

Анализ литературных источников выявил, что автоматизированные стенды для измерения параметров источников электропитания делятся на промышленные и лабораторные. Промышленные стенды, несмотря на их высокую точность и функциональность, имеют существенный недостаток – высокую стоимость, что ограничивает их применение в ряде случаев.

Разработка автоматизированных стендов для измерения параметров источников электропитания является актуальной задачей, поскольку такие источники широко применяются во всех электронных устройствах, обеспечивая их стабильное функционирование. Для эффективного выполнения поставленных задач, автоматизированный стенд должен обеспечивать измерение входных и выходных токов и напряжений, а также автоматическое создание отчетов о проведенных измерениях и тестах. Это значительно упрощает процесс анализа и документирования, что особенно важно в условиях интенсивной эксплуатации оборудования.

Одним из ключевых этапов разработки автоматизированного стенда является выбор подходящей архитектуры измерительной системы, а также разработка соответствующих аппаратных и программных компонентов, которые гарантируют высокую точность и надежность измерений. Однако одной из существенных проблем, отмеченных в предыдущих исследованиях, является использование устаревшего COM-порта [8], что ограничивает возможность интеграции таких стендов с современными компьютерами и снижает их функциональность в условиях современных требований.

Разработка структурной и функциональной схем

На рисунке 4 представлена структурная схема стенда измерения параметров источников электропитания: ПИП – первичный источник питания, ИВЭП – источник вторичного электропитания, R1 – изменяемая нагрузка.

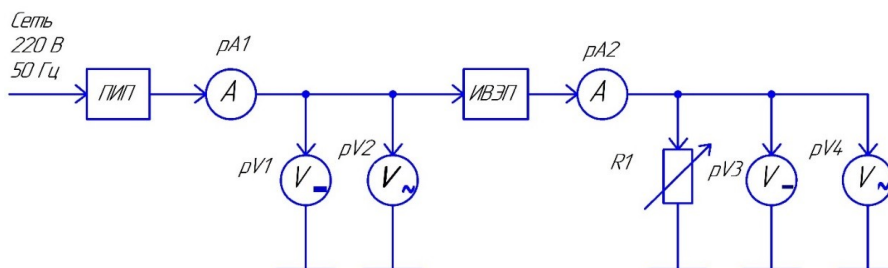


Рисунок 4 - Структурная схема стенда измерения параметров источников электропитания

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.4>

Метод измерения параметров заключается в следующем. Измерительные каналы построены на вольтметрах и амперметрах. Стенд содержит 6 измерительных каналов. ПИП преобразует переменное напряжение сети в постоянное напряжение для ИВЭП. Амперметр рА1 измеряет входной ток. Вольтметр рV1 измеряет постоянное напряжение на входе ИВЭП. Вольтметр рV2 измеряет переменную составляющую входного напряжения. При изменении сопротивления нагрузки R1 измеряются выходной ток с помощью рА2 и выходные постоянное напряжение вольтметром рV3 и переменная составляющая вольтметром рV4. На основании измеренных параметров вычисляются нужные параметры и зависимости. Недостатком данного стенда является то, что изменение сопротивления нагрузки, снятие показаний приборов, вычисление параметров и зависимостей осуществляется вручную. Преимуществом этой схемы является простота реализации.

На рисунке 5 показана функциональная схема автоматизированного стенда измерения параметров источников электропитания.

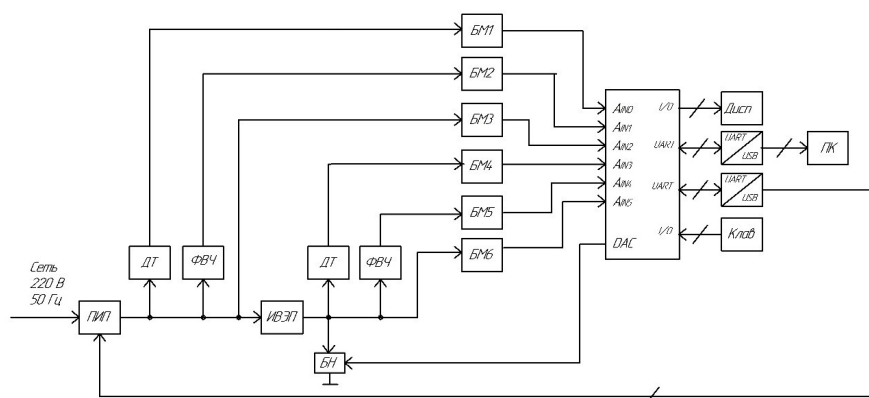


Рисунок 5 - Функциональная схема автоматизированного стенда измерения параметров источников электропитания:

ПИП – программируемый источник питания; МК – микроконтроллер; БМ – блок масштабирования; ПК – персональный компьютер; ФВЧ – фильтр высокой частоты; Клав – клавиатура; Дисп – дисплей

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.5>

В функциональной схеме на рисунке 5 в измерительные каналы добавлены БМ для того, чтобы входной сигнал для АЦП измерялся в полной шкале и ФВЧ для измерения переменной составляющей напряжения. БМ управляется аналоговым напряжением с помощью ЦАП. Для работы с интерфейсами USB в схему добавлены преобразователи интерфейса из UART в USB. ПИП формирует входное напряжение с пульсациями для ИВЭП. ПИП управляется с помощью МК интерфейсом USB. Передача данных с измерительных каналов передается в МК, в котором написано программное обеспечение для стенда. Обработка и вычисления осуществляется в МК. Заносятся исходные данные и выбираются параметров с помощью клавиатуры. Информация отображается на дисплее. Также в схеме предусмотрена связь с ПК через интерфейс USB [9].

Системные параметры были рассчитаны на основании функциональной схемы, которая приведена на рисунке 4. По заданию погрешность ϵ_0 измерительных каналов не должна превышать 0,5%.

Суммарная среднеквадратическая погрешность канала измерения постоянной составляющей напряжения состоит из блока масштабирования и АЦП, оценивается выражением: $\epsilon_{\Sigma} = \sqrt{\epsilon_{\text{БМ}}^2 + \epsilon_{\text{АЦП}}^2}$ при этом $\epsilon_{\Sigma} \leq \epsilon_0$.

Изначально примем погрешность БМ равную 0,2%.

Найдем погрешность АЦП:

$$\epsilon_{\text{АЦП}} = \sqrt{0,5^2 - 0,2^2} = 0,45\% \quad (6)$$

$$m \geq \text{int} \left[\log_2 \times \frac{1}{\epsilon_{\text{АЦП}}} \right] = \text{int} \left[\log_2 \times \frac{1}{0,0046} \right] \geq 7,76 \quad (7)$$

Разрядность АЦП составит m=8

Погрешность АЦП:

$$\epsilon_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2^m} = \frac{1}{2^8} = 0,0039 = 0,39\% \quad (8)$$

Суммарная среднеквадратическая погрешность канала измерения переменной составляющей напряжения состоит из ФВЧ, блока масштабирования и АЦП, оценивается выражением (где $\epsilon_{\Sigma} \leq \epsilon_0$):

$$\epsilon_{\Sigma} = \sqrt{\epsilon_{\text{ФВЧ}}^2 + \epsilon_{\text{БМ}}^2 + \epsilon_{\text{АЦП}}^2} \quad (9)$$

Изначально примем погрешность БМ равную 0,2%, а ФВЧ равную 0,1%.

Найдем погрешность АЦП:

$$\epsilon_{\text{АЦП}} \leq \sqrt{0,5^2 - 0,2^2 - 0,1^2} \leq 0,45\% \quad (10)$$

$$m \geq \text{int} \left[\log_2 \times \frac{1}{\varepsilon_{\text{АЦП}}} \right] = \text{int} \left[\log_2 \times \frac{1}{0,0045} \right] \geq 7,79 \quad (11)$$

Разрядность АЦП составит $m=8$.

Погрешность АЦП:

$$\varepsilon_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2^m} = \frac{1}{2^8} = 0,0039 = 0,39\% \quad (12)$$

Суммарная среднеквадратическая погрешность канала измерения тока состоит из датчика тока, блока масштабирования и АЦП, оценивается выражением (где $\varepsilon_{\Sigma} \leq \varepsilon_0$):

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_{\text{ДТ}}^2 + \varepsilon_{\text{БМ}}^2 + \varepsilon_{\text{АЦП}}^2} \quad (13)$$

Изначально примем погрешность БМ равную 0,2%, а ДТ равную 0,45%.

Найдем погрешность АЦП:

$$\varepsilon_{\text{АЦП}} \leq \sqrt{0,5^2 - 0,2^2 - 0,45^2} \leq 0,45\% \quad (14)$$

$$m \geq \text{int} \left[\log_2 \times \frac{1}{\varepsilon_{\text{АЦП}}} \right] = \text{int} \left[\log_2 \times \frac{1}{0,00087} \right] \geq 10,17 \quad (15)$$

Разрядность АЦП составит $m=12$.

Погрешность АЦП:

$$\varepsilon_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2^m} = \frac{1}{2^{12}} = 0,00024 = 0,024\% \quad (16)$$

Частота дискретизации АЦП всех каналов выбрана в 10 раз больше, чем частоты пятой гармоники сетевого напряжения.

$$f_{\text{АЦП}} = 10 * 50 * 5 = 2500 \text{ Гц} \quad (17)$$

Время преобразования АЦП:

$$t_{\text{АЦП}} = \frac{1}{f_{\text{АЦП}}} = \frac{1}{2500 \text{ Гц}} = 0,4 \text{ мс} \quad (18)$$

Моделирование измерительных каналов стенда

При проведении моделирования пользовались схемотехнической среды для моделирования и анализа схем аналоговой, цифровой и силовой электроники Multisim [10]. Данный программный пакет содержит в своем составе виртуальный блок АЦП и ЦАП. Оба компонента являются 8 разрядными.

Измерительный канал состоит из блока масштабирования (БМ), который реализован на двух операционных усилителях и 8-ми битном АЦП.

Измерительный канал измеряет входное и выходное напряжение стабилизатора. Входное напряжение стабилизатора равно 24 В с пульсациями ± 100 мВ частотой 100 Гц. Выходное напряжение стабилизатора равно 12 В с пульсациями ± 5 мВ частотой 100 Гц.

Частота дискретизации АЦП выбрана в 10 раз больше измеряемого сигнала, т.е. 1000 Гц.

Минимальное входное напряжение, разрешаемое АЦП:

$$U_{\text{min}} = \frac{U_{\text{оп}}}{2^m} = \frac{5}{256} = 20 \text{ мВ} \quad (19)$$

Схема измерительного канала измерения напряжения представлена на рисунке 6. Для моделирования напряжения с пульсациями от стабилизатора в программе использован функциональный генератор, включенный последовательно с батареей. Функциональный генератор генерирует синусоидальный сигнал, тем самым моделируя пульсацию. Батарея моделирует постоянную составляющую. Выход функционального генератора подключен к входу усилителя. Для измерения напряжения входы осциллографа подключены к выходу функционального генератора, другой канал осциллографа подключен к выходу ЦАП.

На рисунке 7 представлены осциллограммы сигналов: с выхода функционального генератора (красный) и с выхода ЦАП (зеленый). На этом рисунке видно, что из-за малого уровня переменной составляющей на фоне постоянной в первую очередь и недостаточной разрядности АЦП невозможно увидеть переменную составляющую сигнала, т.к. минимальное входное напряжение, разрешаемое АЦП равно 20 мВ.

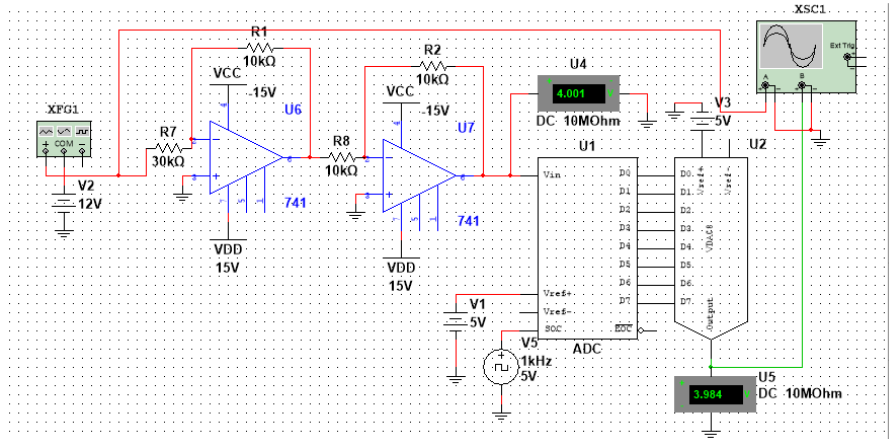


Рисунок 6 - Схема измерительного канала измерения напряжения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.6>

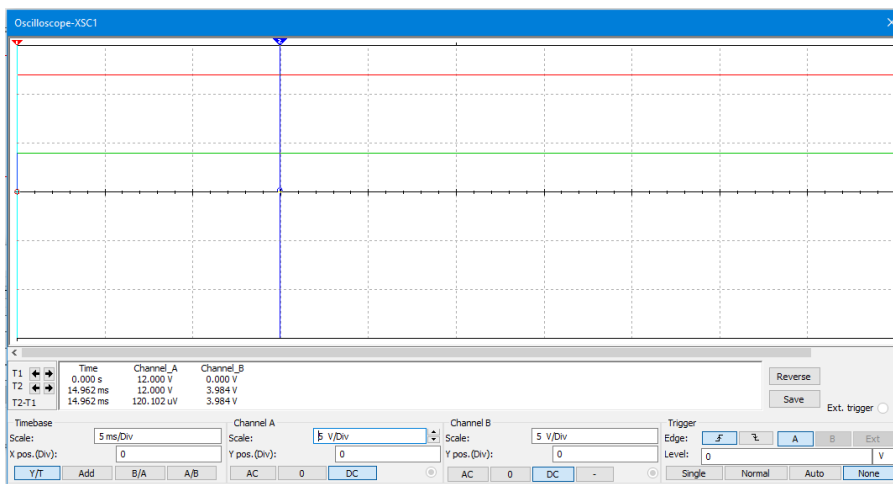


Рисунок 7 - Осциллограммы сигналов с выхода функционального генератора (красный) и с выхода ЦАП (зеленый) при амплитуде пульсации 5 мВ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.7>

На вход измерительного канала подается постоянное напряжение для определения погрешности БМ (рис. 8).

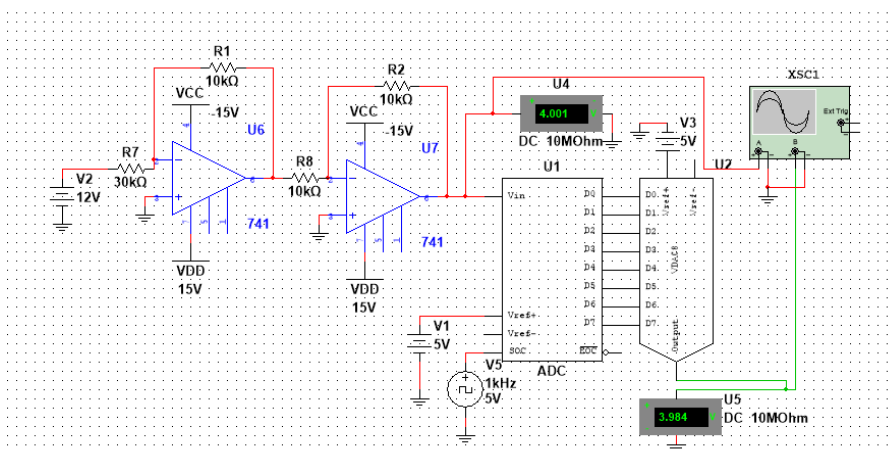


Рисунок 8 - Схема измерительного канала измерения напряжения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.8>

Оценим погрешность БМ:

С учетом коэффициента передачи:

$$U_{\text{ВХ}} = 12 * \frac{1}{3} = 4 \text{ В} \quad (20)$$

$$\Delta U_{\text{БМ}} = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВЫХ БМ}} = 4 - 4,001 = 0,001 \text{ В} \quad (21)$$

$$\delta_{\text{БМ}} = \frac{\Delta U_{\text{БМ}}}{U_{\text{ВЫХ БМ}}} * 100\% = \frac{0,001}{4,001} * 100\% = 0,025\% \quad (22)$$

Погрешность АЦП определяется только его разрядностью, т.к. АЦП при моделировании идеализированный [1].

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2^m} * 100\% = \frac{1}{2^8} * 100\% = 0,39\% \quad (23)$$

Погрешность измерительного канала:

$$\sqrt{\delta_{\text{БМ}}^2 + \delta_{\text{АЦП}}^2} = \sqrt{0,025^2 + 0,39^2} = 0,46\% \quad (24)$$

На рисунке 9 с увеличением амплитуды пульсации на выходе ЦАП видны пульсации, показаны зеленым цветом. Выходной сигнал с функционального генератора показан красным цветом.

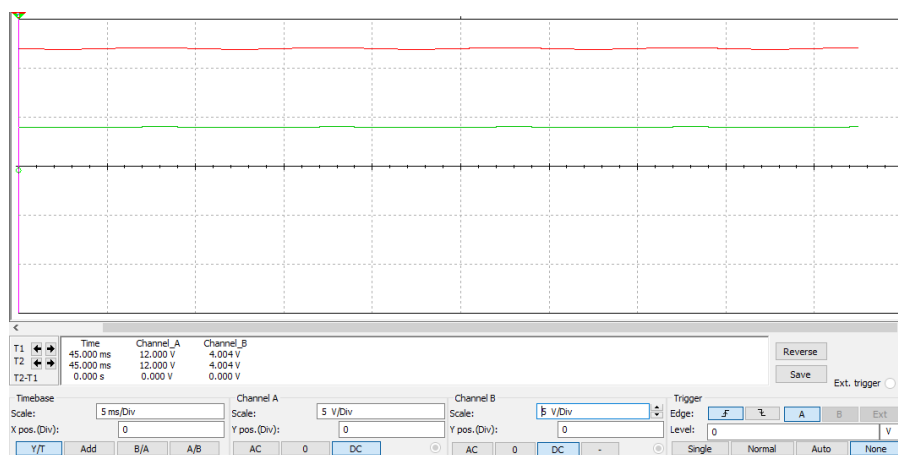


Рисунок 9 - Осциллограммы сигналов с выхода функционального генератора (красный) и с выхода ЦАП (зеленый) при увеличении амплитуды пульсации до 80 мВ
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.9>

На рисунке 10 показаны осциллограммы переменной составляющей сигналов с выхода функционального генератора (красный цвет), при закрытом входе осциллографа и с выхода ЦАП (зеленый цвет).

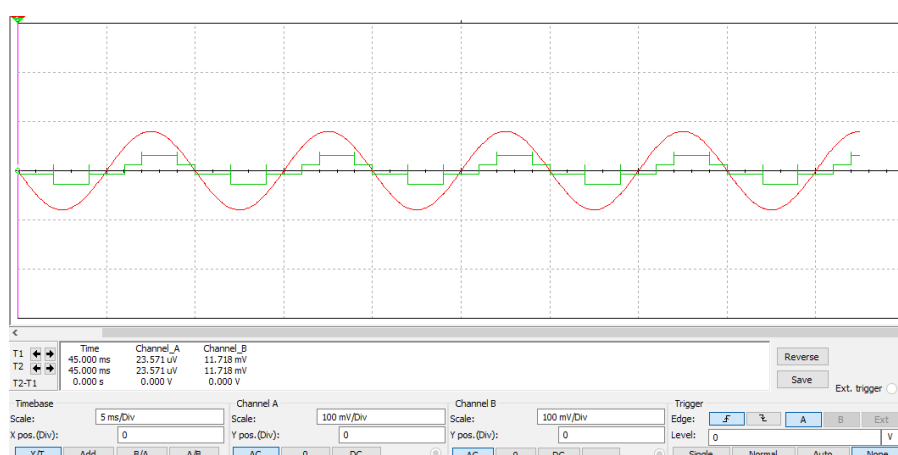


Рисунок 10 - Осциллограммы переменной составляющей сигналов с выхода функционального генератора (красный) и с выхода ЦАП (зеленый)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.10>

Здесь в полной мере проявляется недостаточность разрешающей способности АЦП: только 4 уровня квантования на максимальную амплитуду.

Измерительный канал состоит из блока масштабирования БМ, который реализован на операционном усилителе и 8-ми битном АЦП. Схема канала измерения переменной составляющей напряжения представлена на рисунке 11.

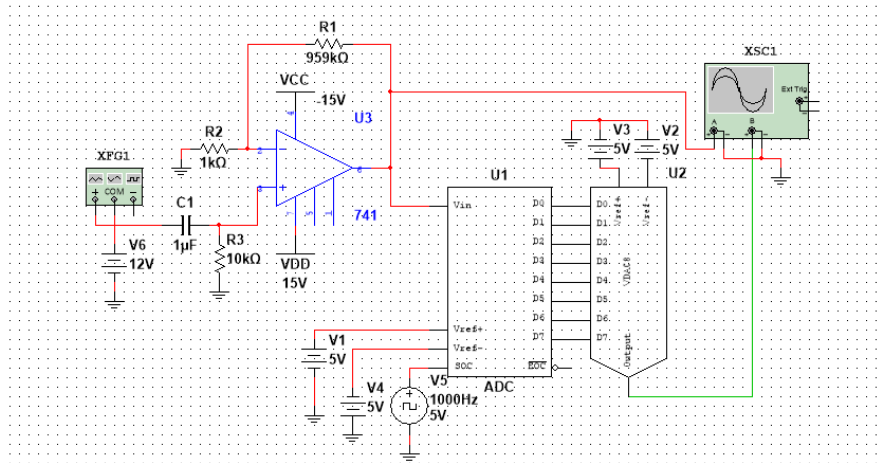


Рисунок 11 - Схема измерительного канала измерения переменной составляющей напряжения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.11>

Для измерения переменной составляющей сигнала амплитудой $\pm 5\text{мВ}$ переменная составляющая отделяется от постоянной с помощью разделительного конденсатора перед масштабирующем блоком, построенном на операционном усилителе. Для того чтобы не использовать АЦП с более высокой разрядностью, применен усилитель входного сигнала. Усилитель имеет коэффициент усиления равный 960. Опорные напряжения АЦП и ЦАП равны $\pm 5\text{В}$.

При моделировании схемы измерительного канала используются идеализированные элементы. Поэтому погрешность измерительного канала определяется только разрядностью 8-ми битного АЦП, которая равна:

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2^m} * 100\% = \frac{1}{2^8} * 100\% = 0,39\% \quad (25)$$

На рисунке 12 красным цветом показан сигнал функционального генератора, который состоит из постоянной и переменной составляющей. Зеленным цветом показан сигнал с выхода ЦАП. Сигнал с выхода ЦАП является переменной составляющей.

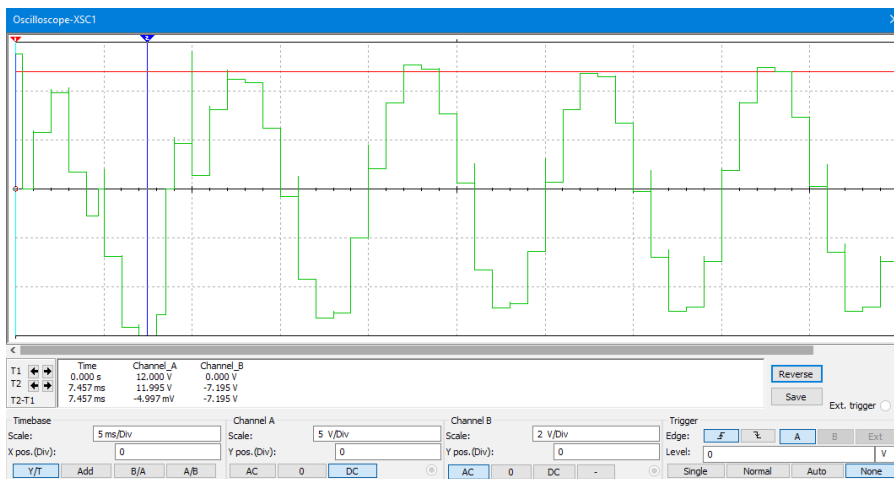


Рисунок 12 - Осциллограммы с выхода функционального генератора (красный цвет) и с выхода ЦАП (зеленый цвет)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.12>

На рисунке 13 красным цветом показан сигнал с выхода усилителя. Выходной сигнал с усилителя – это усиленная выделенная переменная составляющая. Зеленным цветом показан сигнал с выхода ЦАП.

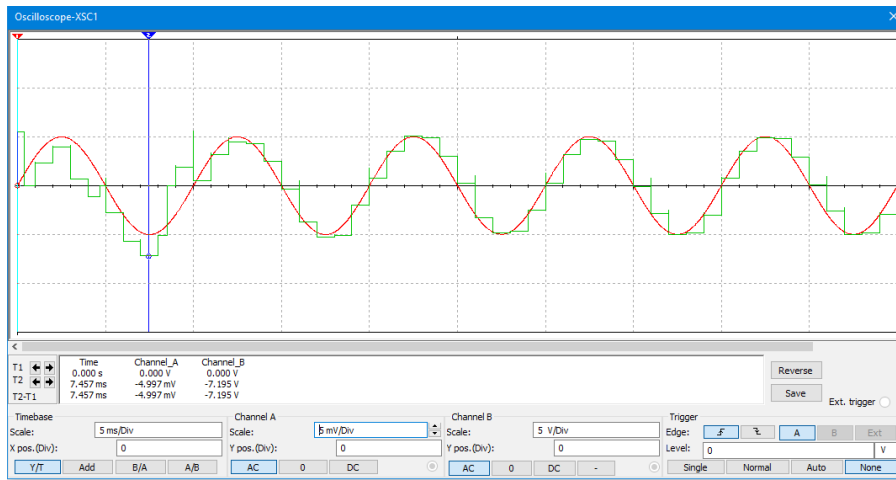


Рисунок 13 - Осциллограммы сигнала с выхода усилителя (красный цвет) и с выхода ЦАП (зеленый цвет)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.13>

Измерительный канал состоит из резистивного датчика тока, блока масштабирования БМ, который реализован на операционном усилителе и 8-ми битном АЦП. Схема канала измерения тока изображена на рисунок 13.

Преобразование тока в напряжение реализовано на резистивном датчике тока и дифференциальном усилителе, построенном на операционном усилителе.

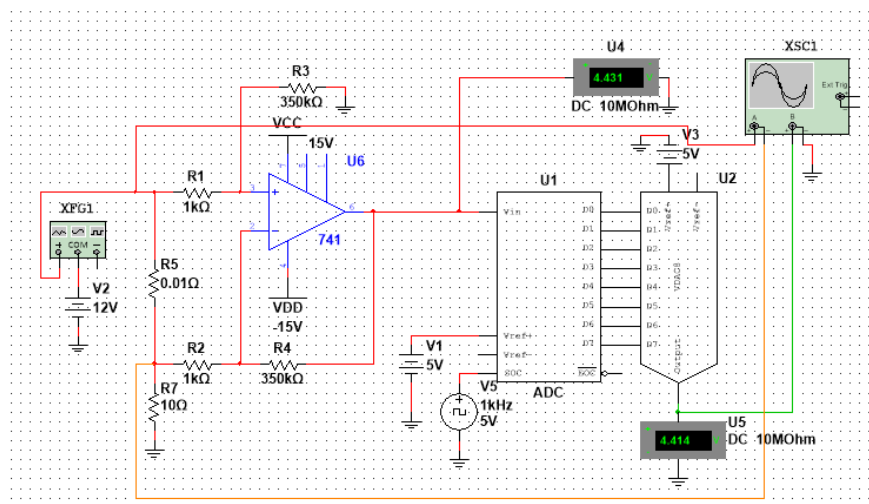


Рисунок 14 - Схема измерительного канала измерения тока
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.14>

Первый канал осциллографа измеряет падение напряжения на токосъемном резисторе, второй канал подключен к выходу ЦАП.

На рисунке 14 красным цветом показан сигнал с токосъемного резистора. Зеленым цветом показан сигнал с выхода ЦАП.

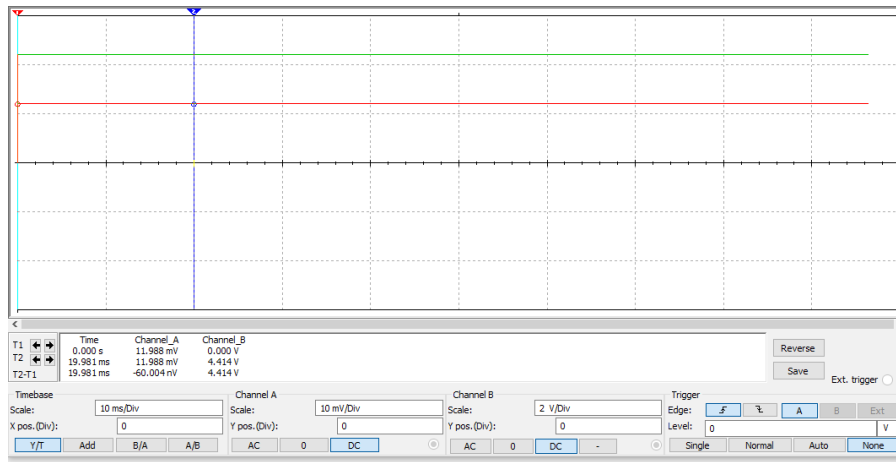


Рисунок 15 - Осциллограммы сигналов с токосъемного резистора (красный) и с выхода ЦАП (зеленый)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.15>

Оценим погрешность измерительного канала.

Погрешность, вносимая токосъемным резистором, может быть оценена следующим образом:

$$\delta_{TC} = \frac{R_{TC}}{R_H} * 100\% = \frac{0,01}{10} * 100\% = 0,1\% \quad (26)$$

Погрешность АЦП определяется только его разрядностью, т.к. АЦП при моделировании идеализированный, поэтому:

$$\delta_{АЦП} = \frac{1}{2^m} * 100\% = \frac{1}{2^8} * 100\% = 0,39\% \quad (27)$$

Тогда суммарная погрешность измерительного канала составит:

$$\sqrt{\delta_{TC}^2 + \delta_{АЦП}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,39^2} = 0,4\% \quad (28)$$

Разработка узлов принципиальной схемы системы

В нашем случае должно быть не менее 19 линий ввода-вывода. Это необходимо для включения всех периферийных устройств. Необходимо, чтобы микроконтроллер имел 6 каналов АЦП по 12 бит и один ЦАП. Для этих целей выбран микроконтроллер С8051F021. Для добавления интерфейса USB в различные приборы, построенные на базе микроконтроллеров и не имеющих интерфейса USB, а также для обновления уже существующих приборов, требующих перехода на современный интерфейс USB, выбран CP2102-GMR двунаправленные преобразователи интерфейсов UART <=> USB (мосты) [11]. В качестве индикатора взят алфавитно-цифровой ЖК-модуль РС-2402-А фирмы Powertip [12]. В качестве усилителя выбран прецизионный операционный усилитель MAX427 с малым напряжением смещения. Атенюатор построен на резисторах с допуском 0,1%. Датчик тока построен на токосъемном резисторе, который преобразует ток в напряжение. Выбран пассивный ФВЧ 1-го порядка, построенный на резисторе и конденсаторе.

По принципу работы это – источник тока, управляемый напряжением (ИТУН) (рис. 15).

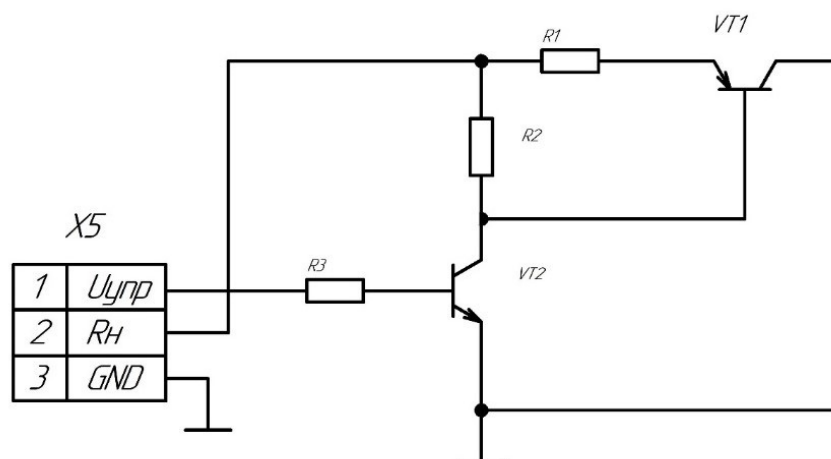


Рисунок 16 - Электрическая принципиальная схема блока нагрузок

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.16>

Заключение

В данной работе представлены результаты разработки автоматизированной системы измерения параметров источников электропитания. Произведен обзор аналогов. Сделан вывод обзора автоматизированных систем. Учтены их достоинства и недостатки. Построены структурная схемы стенда. На основании выбранной структурной схемы построена функциональная схема. Рассчитаны системные параметры функциональной схемы. Выявлена допустимая погрешность и разрядность АЦП. Выполнено моделирование измерительных каналов стенда измерения параметров источников электропитания и непрерывного компенсационного стабилизатора напряжения. На основании функциональной схемы построена принципиальная электрическая схема. Разработаны узлы принципиальной схемы. Максимальная результирующая погрешность измерительных каналов составила 0,4%. В качестве микропроцессорной системы выбран микроконтроллер C8051F021 с разрядностью АЦП равной 12.

Для дальнейшего развития работы по созданию автоматизированного стенда измерения параметров источников электропитания рекомендуется сосредоточиться на нескольких ключевых аспектах. Во-первых, необходимо совершенствовать архитектуру измерительной системы с целью повышения точности и надежности измерений. Это может быть достигнуто за счет использования более современных компонентных баз, таких как высокоточные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, а также оптимизации программного обеспечения для минимизации возможных погрешностей. Во-вторых, рекомендуется рассмотреть возможность расширения функционала стенда путем добавления новых модулей и возможностей, таких как диагностика дополнительных параметров источников питания или интеграция с системами автоматизированного тестирования. Это позволит сделать стенд более универсальным и востребованным в различных областях применения.

Также важным аспектом является улучшение пользовательского интерфейса [13] и системы отчетности. Введение более наглядного и интуитивно понятного интерфейса для оператора, а также автоматизация создания отчетов с возможностью их экспорта в различные форматы, значительно упростит процесс работы со стендом и увеличит его удобство для пользователей.

Наконец, для обеспечения конкурентоспособности и снижения затрат на производство стенда рекомендуется оптимизировать процесс разработки и производства аппаратных компонентов, а также рассмотреть возможность использования стандартных модульных решений, что позволит сократить время и расходы на разработку и производство стендов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Кремлева Э.Ш., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.17>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Kremleva E.S., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.70.17>

Список литературы / References

1. Битюков В.К. Стенд для исследования характеристик микросхем источников вторичного электропитания с накачкой заряда / В.К. Битюков, А.А. Иванов, А.В. Миронов [и др.] // Российский технологический журнал. — 2016. — Т. 4. — № 3 (12). — С. 37–52.
2. Иванченко Е.В. Применение микроконтроллера PIC18F2550 для экспериментального исследования датчиков движения / Е.В. Иванченко, В.Н. Будилов // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. — 2011. — № 1. — С. 201–207.
3. Канашов А. Автоматизация измерений параметров блоков питания / А. Канашов, И. Косырев // Силовая электроника. — 2017. — Т. 3. — № 66. — С. 66–67.
4. Шадейко А. Универсальные испытательные стенды для тестирования вторичных источников питания и преобразователей напряжения / А. Шадейко // Силовая электроника. — 2012. — Т. 2. — № 35. — С. 84–85.
5. Самцов А.С. Автоматизированная система диагностики импульсных источников питания / А.С. Самцов // Международная молодежная научная конференция «XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых)». — Казань: Фолиант, 2015. — Т. IV. — С. 757–759.
6. Асиев А.Т. Применение среды Labview для исследования переходных процессов в силовых кабелях с целью контроля состояния его изоляции / А.Т. Асиев, Т. Кабаев, З.А. Узагалиев [и др.] // Проблемы автоматики и управления. — 2021. — № 3 (42). — С. 111–120.
7. Белова М.П. Усовершенствованный автоматизированный исследовательский комплекс для контроля параметров стабилизаторов напряжения и DC/DC-конвертеров / М.П. Белова, А.Р. Шарипова, А.С. Колосова [и др.] // Компьютерные измерительные технологии. — Москва: ДМК пресс, 2015. — С. 91–94.
8. Маркарянц Л.М. Управление внешними нагрузками через COM-порт персонального компьютера / Л.М. Маркарянц, И.Е. Голубева, В.С. Сопранцов // Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК. — Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2012. — С. 97–100.
9. Китаев Ю.В. Лабораторная установка на основе виртуальных приборов и USB интерфейса / Ю.В. Китаев. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2012. — 75 с.

10. Колесникова Т. Инструменты анализа схем электрических принципиальных в программной среде NI Multisim 12.0 / Т. Колесникова // Компоненты и технологии. — 2015. — № 1 (162). — С. 113–120.
11. Расулева В.И. USB-UART загрузчик программного обеспечения микроконтроллеров STM32 / В.И. Расулева, С.В. Литвинов // Научно-технический вестник Поволжья. — 2023. — № 5. — С. 238–241.
12. Павленко А. TFT-дисплеи со встроенными интеллектуальными функциями от компании Powertip Technology / А. Павленко // Компоненты и технологии. — 2019. — № 8 (217). — С. 14–17.
13. Гибадуллин Р.Ф. Потокбезопасные вызовы элементов управления в обогащенных клиентских приложениях / Р.Ф. Гибадуллин // Программные системы и вычислительные методы. — 2022. — № 4. — С. 1–19. — DOI: 10.7256/2454-0714.2022.4.39029.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bitjukov V.K. Stend dlja issledovanija harakteristik mikroshem istochnikov vtorichnogo jelektropitanija s nakachkoj zarjada [Bench for research of characteristics of microcircuits of secondary power supply sources with charge pumping] / V.K. Bitjukov, A.A. Ivanov, A.V. Mironov [et al.] // Rossijskij tehnologicheskij zhurnal [Russian Technological Journal]. — 2016. — Vol. 4. — № 3 (12). — P. 37–52. [in Russian]
2. Ivanchenko E.V. Primenenie mikrokontrollera PIC18F2550 dlja jeksperimental'nogo issledovanija datchikov dvizhenija [Application of the PIC18F2550 microcontroller for experimental research of the motion sensors] / E.V. Ivanchenko, V.N. Budilov // Informacionnye tehnologii. Radiojelektronika. Telekommunikacii [Information technologies. Radioelectronics. Telecommunications]. — 2011. — № 1. — P. 201–207.
3. Kanashov A. Avtomatizacija izmerenij parametrov blokov pitaniya [Automation of measurements of power supply unit parameters] / A. Kanashov, I. Kosyrev // Silovaja jelektronika [Power Electronics]. — 2017. — Vol. 3. — № 66. — P. 66–67.
4. Shadejko A. Universal'nye ispytatel'nye stendy dlja testirovaniya vtorichnyh istochnikov pitaniya i preobrazovatelej naprjazhenija [Universal test benches for testing secondary power supplies and voltage converters] / A. Shadejko // Silovaja jelektronika [Power electronics]. — 2012. — Vol. 2. — № 35. — P. 84–85. [in Russian]
5. Samcov A.S. Avtomatizirovannaja sistema diagnostiki impul'snyh istochnikov pitaniya [Automated system of diagnostics of pulse power supplies] / A.S. Samcov // Mezhdunarodnaja molodezhnaja nauchnaja konferencija «XXII Tupolevskie chtenija (shkola molodyh uchenyh)» [International Youth Scientific Conference "XXII Tupolev Readings (School of Young Scientists)"]. — Kazan: Foliant, 2015. — Vol. IV. — P. 757–759.
6. Asiev A.T. Primenenie sredy Labview dlja issledovaniya perehodnyh processov v silovyh kabeljah s cel'ju kontrolja sostojanija ego izoljacii [Application of Labview environment for the study of transients in power cables to monitor the state of its insulation] / A.T. Asiev, T. Kabaev, Z.A. Uzagaliev [et al.] // Problemy avtomatiki i upravlenija [Problems of automation and control]. — 2021. — № 3 (42). — P. 111–120. [in Russian]
7. Belova M.P. Uovershenstvovannyj avtomatizirovannyj issledovatel'skij kompleks dlja kontrolja parametrov stabilizatorov naprjazhenija i DC/DC-konverterov [Advanced automated research complex for control of parameters of voltage stabilizers and DC/DC converters] / M.P. Belova, A.R. Sharipova, A.S. Kolosova [et al.] // Komp'juternye izmeritel'nye tehnologii [Computer measurement technologies]. — Moscow: DMK press, 2015. — P. 91–94. [in Russian]
8. Markarjanc L.M. Upravlenie vneshnimi nagruzkami cherez COM-port personal'nogo komp'jutera [Control of external loads through the COM-port of a personal computer] / L.M. Markarjanc, I.E. Golubeva, V.S. Sopracov // Problemy jenergoobespechenija, informatizacii i avtomatizacii, bezopasnosti i prirodopl'zovanija v APK [Problems of energy supply, informatization and automation, safety and environmental management in the agro-industrial complex]. — Bryansk: Bryansk State Agricultural Academy Publishing House, 2012. — P. 97–100. [in Russian]
9. Kitaev Ju.V. Laboratornaja ustanovka na osnove virtual'nyh priborov i USB interfejsa [Laboratory setup based on virtual instruments and USB interface] / Ju.V. Kitaev. — Sankt-Peterburg : ITMO University, 2012. — 75 p. [in Russian]
10. Kolesnikova T. Instrumenty analiza shem jelektricheskikh principial'nyh v programmnoj srede NI Multisim 12.0 [Tools for analysing electrical schematic diagrams in the NI Multisim 12.0 software environment] / T. Kolesnikova // Komponenty i tehnologii [Components and Technologies]. — 2015. — № 1 (162). — P. 113–120. [in Russian]
11. Rasuleva V.I. USB-UART zagruzchik programmnogo obespechenija mikrokontrollerov STM32 [USB-UART software loader for STM32 microcontrollers] / V.I. Rasuleva, S.V. Litvinov // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. — 2023. — № 5. — P. 238–241. [in Russian]
12. Pavlenko A. TFT-displei so vstroennymi intellektual'nymi funkcijami ot kompanii Powertip Technology [TFT-displays with built-in intellectual functions from Powertip Technology] / A. Pavlenko // Komponenty i tehnologii [Components and Technologies]. — 2019. — № 8 (217). — P. 14–17. [in Russian]
13. Gibadullin R.F. Potokobezopasnye vyzovy jelementov upravlenija v obogashhennyh klientских prilozhenijah [Thread-safe calls of control elements in enriched client applications] / R.F. Gibadullin // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody [Software Systems and Computational Methods]. — 2022. — № 4. — P. 1–19. — DOI: 10.7256/2454-0714.2022.4.39029. [in Russian]