

БЕЛОВ С.П.



РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧНЫХ ТЕСТЕРОВ ЖГУТОВ

**НА ОСНОВЕ
ТРАНЗИСТОРОВ И УМЕНЬШЕННОГО
КОЛИЧЕСТВА АНАЛИЗАТОРОВ СИГНАЛОВ**

2019 г.

С.П. Белов

**Разработка экономичных тестеров жгутов
на основе транзисторов и уменьшенного количества
анализаторов сигналов**

Монография

Научно-инновационный центр
Красноярск, 2019

УДК 621.398 + 681.2

ББК 32.852

Б43

Белов, С.П.

Б43 Разработка экономичных тестеров жгутов на основе транзисторов и уменьшенного количества анализаторов сигналов: монография [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2019. – 136 с. – Режим доступа: <http://nkras.ru/arhiv/2019/belov.pdf> – Систем. требования: IBM PC; Internet Explorer и др.; Acrobat Reader 3.0 или старше.

ISBN 978-5-6042232-3-9

DOI: 10.12731/978-5-6042232-3-9

Анализ приборов тестирования жгутов показал минимальную стоимость 5000 руб за 1 проверяемый контакт. При условии, что такие приборы обладают избыточным функционалом, - было решено разработать 2 прибора (автоматизированный и автоматический) - с базовыми способами проверки жгутов (разрыв, замыкание, высокое сопротивление).

Итогами разработки стали:

- снижение стоимости до 21.5-116 руб/контакт;
- доступность сборки, настройки и обслуживания приборов сотрудником с минимальными знаниями в области электроники и программирования.

Научной новизной монографии являются:

- создание и реализация концепции, позволяющей проверять несколько проводников жгута одним каналом анализатора сигналов;
- использование транзисторов вместо реле в приборах тестирования жгутов.

Монография разработана для широкого круга читателей.

УДК 621.398 + 681.2

ББК 32.852

ISBN 978-5-6042232-3-9

© Белов С.П., 2019

СОДЕРЖАНИЕ (со ссылочной навигацией)

<u>Введение</u>	6
Раздел 1. <u>Системный анализ в сфере тестирования жгутов: аббревиатуры, направления тестирования, существующее оборудование и алгоритмы его работы</u>	8
1.1. <u>Словарь терминов в сфере жгутов и их тестирования</u>	8
1.2. <u>Существующие свойства тестируемого жгута и его компонентов</u>	9
1.3. <u>Существующие приборы автоматического тестирования жгутов</u>	12
1.4. <u>Маркетинговые и прочие уловки для покупателя прибора тестирования жгутов</u>	16
1.5. <u>Юридические документы и положения, определяющие прибор тестирования жгутов как технически исправное устройство</u>	18
1.6. <u>Заключения по разделу 1</u>	19
Раздел 2. <u>Теоретическая часть. Определение концепций разрабатываемого прибора тестирования жгутов. Анализ элементной базы, разработка схем и написание ПО</u>	21
2.1. <u>Определение концепций разрабатываемого прибора тестирования жгутов</u>	22
2.2. <u>Определение и уточнение ТТХ разрабатываемого прибора</u>	23
2.2.1. <u>Автоматический или автоматизированный</u>	23
2.2.2. <u>Измерительная установка или измерительная система</u>	23
2.2.3. <u>С использованием переходников или их отсутствием</u>	24
2.3. <u>Анализ и выбор основных электронных компонентов по критериям многофункциональности, доступности, простоты использования, дешевизны</u>	25
2.4. <u>Разработка принципиальной схемы прибора УТЖ-1024-Ч-02</u>	27
2.5. <u>Автоматизация прибора с помощью новой концепции использования каналов цифрового анализатора сигналов</u>	29
2.5.1. <u>Общие положения</u>	30
2.5.2. <u>Интерпретация результатов оценки качества проводников жгута</u>	36
2.6. <u>Добавление в прибор тестирования жгутов испытания изоляции на пробой</u>	38
2.7. <u>Использование транзисторов для коммутации силовых цепей вместо традиционно используемых реле</u>	39
2.8. <u>Попытка реанимации УТЖ-1024-Ч-01 через решение проблемы неработоспособного функционала</u>	41
2.9. <u>Разработка принципиальной схемы прибора УТЖ-1024-А-01</u>	44
2.9.1. <u>Разработка источника постоянного напряжения 311В/0.1А для реализации</u>	

пробойной установки (вход блока №4)	46
2.9.2. Особенности использования концепции уменьшения количества цифровых анализаторов сигналов с проводников при реализации теста на пробой	47
2.9.3. Особенности написания ПО и настройки плат аналогового ввода, исходя из флуктуаций ТТХ электронных компонентов в реальном мире	48
2.10. Заключения по разделу 2	49
Раздел 3. Практическая реализация теоретических исследований. Сборка по схемам, оценка реальных данных, окончательная доработка и выводы	51
3.1. Сборка прибора УТЖ-96-Ч-02 по принципиальной схеме УТЖ-1024-Ч-02 (рисунок 2.4.1)	51
3.2. Описание алгоритмов работы ПО "Уникализатор сопротивлений v.1.0" как оценка корректности его работы	62
3.2.1. Общее описание ПО, моделирование и оценка первых результатов	62
3.2.2. Математическая модель, описывающая расчеты необходимых величин	66
3.2.3. Описание алгоритмов работы ПО	68
3.2.4. Тестирование новой версии ПО (математической модели и алгоритмов) на соответствие реальному миру	70
3.2.4.1. Моделирование	70
3.2.4.2. Макетирование	74
3.2.5. Заключение. Итоги перепрограммирования	76
3.3. Недоверие программам по виртуальному моделированию схем	77
3.4. Тестирование самодельных разветвлений на пробой	79
3.5. Тестирование транзисторов на номинал сопротивления в закрытом состоянии ...81	
3.6. Тестирование высоковольтного источника питания 311В/0.1А (подраздел 2.9.1, рисунок 2.9.1)	83
3.7. Сборка прибора УТЖ-1024-А-01 по принципиальной схеме рисунка 2.9	85
3.7.1. Повышение точности потенциометров без изменения их модели	85
3.7.2. Использование делителя напряжения для каналов плат аналогового ввода без пайки платы аналогового ввода	86
3.7.3. Коммутация платы аналогового ввода с генератором и разветвителями сигналов, с кодированием информации	86
3.7.4. Оценка итогового функционала и недостатков прибора УТЖ-1024-А-01 ...90	
3.7.5. Перспективы развития ПО для работы с информацией о состоянии проводников жгута и самого прибора	91
3.8. Применение нестандартных решений в контексте монтажных работ, изменения	

<u>функций прибора и его стоимости</u>	94
3.9. <u>Реализация теста на пробой для обоих типов устройств</u>	94
3.10. <u>Заключения по разделу 3. Заключения по исследовательской работе</u>	96
<u>Список использованных источников</u>	97
<u>Приложения</u>	104
Приложение А. <u>Обоснование цен таблицы 1.3.1 перепиской с поставщиками тестеров жгутов. Получение информации об используемых коммутирующих контакты реле</u>	104
Приложение Б. <u>Список компонентов для практической сборки итоговых версий приборов тестирования жгутов</u>	106
Приложение В. <u>Данные тестирования ПО «Уникализатор сопротивлений v.1.2 FINAL», в дополнение к таблице 3.2.4</u>	119
Приложение Г. <u>Внешний вид модулей печатных плат тестера жгутов УТЖ-1024-Ч-03 и краткие инструкции к ним (по принципиальной схеме рисунка 3.1.2)</u>	121
Приложение Д. <u>Результаты измерений для УТЖ-1024-А-01, при использовании сразу 8 проводников в одном канале платы аналогового ввода</u>	126

ВВЕДЕНИЕ.

Ничто не толкает человека на исследования сильнее, чем нужда. В 2016 году на одном из производственных предприятий появилась проблема: сотрудники устали тестировать жгуты от аппаратуры вручную. Жгуты, по старинке, проверялись мультиметрами и мегаомметрами.

Анализ рынка существующих приборов автоматической проверки жгутов показал неблагоприятную обстановку: минимальная цена на прибор начиналась от миллиона рублей всего за 200 контактов (на примере SYNOR 5000H). С учетом того, что прибор не содержал полностью все существующие режимы проверки жгутов, цена за этот прибор предварительно посчиталась завышенной.

Завышение цены подтвердилось успешными попытками создать собственные приборы, обеспечивающие базовые методы проверки жгутов: ~22000/105500 рублей за 1024 проводника без/с использованием ПК. И это - отпор существующему рынку с его ценообразованием и существующим технологиям: когда выделение на дорогостоящий прибор 11 миллионов рублей является не окончательными затратами (обслуживание, поверка, дополнительная оснастка и т.д.).

Одна из целей данной работы: создание возможностей для самостоятельной сборки приборов тестирования жгутов и понимания механизмов их работы - одним человеком, имеющим лишь начальные знания в области электроники или программирования.

Для раскрытия проблем и их решений, изложенных в работе, проведен детальный анализ в области тестирования жгутов:

- определен словарь терминов для поиска информации и облегчения понимания данной работы;
- проведен анализ существующих режимов тестирования жгутов для четкой классификации существующего и разрабатываемого оборудования;
- отражены юридические и маркетинговые проблемы в сфере приборов тестирования жгутов.

Для создания новых приборов тестирования жгутов на бумаге и в реальности был проведен дополнительный анализ:

- определены базовые и дополнительные свойства неисправных жгутов;
- изучен и оценен рынок радиоэлектронных компонентов для обеспечения правильного элементного состава разрабатываемого оборудования;
- приборы создавались «с нуля», произведено упрощение этапов сборки с целью ее выполнения неспециалистом.

На практике было собрано 2 прибора тестирования жгутов (практическая значимость данной работы), каждый из которых имеет отличительные особенности и подходит для

реализации конкретных задач:

- без использования ЭВМ, с использованием человеческого фактора как необходимой меры. Автоматизированный, проверка на обрыв, замыкание; высокое сопротивление – только нихромовый материал проводника. Свойства: дешевизна, компактность, современная элементная база. Отличительная особенность: возврат к человеческому фактору, но резкое удешевление прибора, - как достижение одной из целей данной работы;

- с использованием ЭВМ для анализа информации с проводников, в виде плат аналогового ввода, микроконтроллеров и прочих. Автоматический, проверка на обрыв, замыкание, высокое сопротивление (остается возможность доработки для реализации теста на пробой). Свойства: дешевизна, компактность, современная элементная база, реализация на транзисторах, можно отечественных (а не импортных реле, как у продаваемых моделей), высокая скорость проверки. Отличительная особенность: сокращение количества плат приема информации как самого дорогого элемента прибора (научная новизна данной работы).

В итоге исследование затрагивает технические, организационные, экономические и юридические аспекты в сфере процесса тестирования жгутов и оборудования для их тестирования.

Исследования данной работы могут быть расширены, что дополнит приборы новыми возможностями.

Первые читатели данной работы выявили момент тяжелого восприятия первого раздела, обзорного. Некоторые вещи кажутся очевидными, но раздел оставлен без изменений: цель работы - раскрыть проблемы и пути их решений не только для профессионалов.

Также отмечается много числовых выражений, что может несколько резать глаз - но давать больше возможностей анализа и сравнений.

1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В СФЕРЕ ТЕСТИРОВАНИЯ ЖГУТОВ: АББРЕВИАТУРЫ, НАПРАВЛЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ, СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ И АЛГОРИТМЫ ЕГО РАБОТЫ.

Первый раздел представляет собой теоретические исследования в рамках уже существующих терминов, методов, концепций, оборудования в сфере тестирования жгутов.

В подразделе 1.1 представлены аббревиатуры, на которых базируются исследования данной работы.

В подразделе 1.2 рассмотрены описания существующих на текущий момент методов тестирования жгутов - как средство классификации оборудования тестирования жгутов.

В подразделе 1.3 изучены существующие на текущий момент приборы автоматической проверки жгутов - как средство выявления общих закономерностей и недостатков данного оборудования.

В подразделе 1.4 показаны маркетинговые уловки для покупателя такого оборудования.

В подразделе 1.5 приведены юридические документы и положения, определяющие прибор тестирования жгутов как технически исправное устройство, а также проблемы их получения. Частично отражена бюрократическая составляющая, тормозящая развитие оборудования в РФ, в т.ч. в сфере тестирования жгутов.

1.1. Словарь терминов в сфере жгутов и их тестирования.

Для обеспечения легкости чтения данного научного труда и повторения основных отраслевых терминов предлагается словарь на основе государственных отраслевых стандартов.

Жгут - «конструкция, состоящая из двух и более изолированных проводов, скрепленных в пучок связыванием (ниткой, лентой) или каким-либо другим способом, и предназначенная для электрической связи между элементами аппарата, прибора или устройства» [1]. Кабель - конструкция, состоящая из одного и более изолированных проводов.

Ствол жгута - «участок жгута, в котором, как правило, сосредоточено наибольшее количество проводов» [1].

Провод - «гибкий цилиндрический проводник с изолирующим покрытием или без него, длина которого больше размеров его поперечного сечения» [2].

Контакт - «ряд проводящих элементов для установления непрерывности электрической цепи, когда они соприкасаются между собой и, в результате их относительного движения во время оперирования, размыкают или замыкают электрическую цепь или, в случае наличия некоторых шарнирных или скользящих элементов, сохраняют непрерывность цепи» [2].

Кабель - «совокупность одного или более проводников и (или) оптических волокон с защитным покрытием и, возможно, с наполнением, изоляционным и защитным материалом»

[2]. Совокупность «контакт-провод-контакт» является проводником, и рассматривается в данной работе именно в таком контексте.

Изоляционный материал - «материал, используемый для предотвращения электрической проводимости между проводящими элементами» [2]. В данной работе рассматривается как сплошная изоляция - «изоляция в виде сплошного слоя диэлектрика» [3].

Соединитель (далее - «разъем») - «устройство, обеспечивающее соединение и отсоединение с соответствующим сопряженным элементом» [2]. Сопряженный элемент фигурирует в работе как «ответная часть»; разъем, присущий данному жгуту, - собственная часть.

Сопrotивление изоляции - «сопротивление при определенных условиях между двумя проводящими элементами, разделенными посредством изоляционных материалов» [2]. Стандартный номинал - 0.5МОм для вторичных цепей при питании от отдельного источника или через разделительный трансформатор, рассчитанных на рабочее напряжение 60В и ниже [4]. Выше 60В - 1МОм.

Пробой - «явление образования в диэлектрике проводящего канала под действием электрического поля» [5]. В работе рассматривается тепловой пробой изоляции, при котором происходит физическое разрушение изоляции проводника протекающим током (под воздействием высокого напряжения). Такой пробой по ошибке называют электрическим, но разрушение проводится именно теплом, а не ударной ионизацией или магнитным полем.

Электрическое сопротивление постоянному току - «скалярная величина, равная отношению постоянного электрического напряжения между выводами пассивного двухполюсника к постоянному электрическому току в нем» [6]. Иными словами, сопротивление проводника - негативная способность препятствовать протекающему току цепи, с последствиями в виде собственного нагрева и изменения параметров цепи.

Цифровой анализатор сигналов – устройство приема аналоговых/цифровых сигналов с целью передачи показаний в ЭВМ. Платы ввода-вывода, аналогового ввода, микропроцессоры и другие.

1.2. Существующие свойства тестируемого жгута и его компонентов.

Был проведен анализ двух организаций с численностью сотрудников более 1000 человек и имеющих отношение к гособоронзаказу. Он показал полное отсутствие каких-либо автоматических приборов проверки жгутов. Этот случай - не единственный: проблема отсутствия установок электрического контроля жгутов на оборонно-промышленных предприятиях была описана еще в 2012 году [7].

На предприятии для проверки жгутов вручную используют высокоточные мультиметры и мегаометры АРРА. Они обеспечивают проверку жгута на обрыв проводника, замыкание

проводников и сопротивление изоляции провода. Чтобы понять, необходимо и достаточно ли данных проверок, нужно вывести определения существующих свойств проводников, проводов, жгута - и разделить их на базовые и дополнительные, исходя из определений.

Таблица 1.2.1. Свойства неисправных проводников, проводов и самого жгута.

Название	Определение	Причина	Следствие для сигнала	Статус
Разрыв (отсоединение)	Физическое отсоединение проводника	Плохая пайка, повреждение проводника или контакта разъема	Не проходит	Базовый
Замыкание (соединение)	Физическое соприкосновение проводников	Плохая пайка, повреждение изоляции провода или контакта разъема	Разветвляется	Базовый
Сопротивление (высокое)	Соединение проводника высокоомным соединителем	Медь плохого качества, с примесями, малое сечение проводника	Искажение расчетного номинала тока через проводник	Базовый / второстепенный
Сопротивление изоляции (низкое)	Способность изоляции препятствовать токам утечки между проводниками разных проводов	Повреждение изоляции, неправильный выбор ее типа, дефектные материалы	Разветвляется	Второстепенный
Прочность изоляции (низкая)	Способность изоляции препятствовать токам утечки между проводниками разных проводов - при воздействии высокого	Повреждение изоляции, неправильный выбор ее типа	Разветвляется	Второстепенный

	напряжения 100В и более			
Экранирование проводника (низкое)	Способность изоляции сопротивляться внешним электромагнитным воздействиям	Повреждение экранирующего слоя	Искажается	Второстепенный
Емкость проводника (высокая)	Способность проводника иметь собственный потенциал	Высокая длина проводника или его скручивание	Искажается	Второстепенный
Электронные компоненты в проводнике (некорректная работа)	Наличие в проводнике электронных компонентов для выполнения специфических задач	Некорректное функционирование	Искажается	Второстепенный

Базовый статус свойства означает, что данное свойство присуще жгуту любой конфигурации и способно привести к нарушению функционирования электрической цепи - без каких-либо внешних факторов эксплуатации.

Второстепенный статус - свойство приводит к неправильной работе цепи только под воздействием внешних факторов или жгута с нестандартной конфигурацией. Прочность изоляции не проверяется на кабелях с рабочим напряжением <100В, согласно 6M0.485.704ТУ [8]. Экранирование является опциональным для жгутов с работой в агрессивной внешней среде. Высокая емкость проводника возникает, в основном, при скручивании проводов в витки (что является нарушением эксплуатации, согласно ПУЭ п.2.3.15) или при большой длине провода. Выводы основаны на формулах электрической емкости простых систем [9]: линейная зависимость от длины и радиуса витка. Электронные компоненты входят, в основном, в жгуты самоконтроля для имитации работы с изделиями (сопротивление - как нагрузка, переключатели - как размыкатели и т.д.) - то есть, имеют специфическое назначение.

Из таблицы видно, что ручное тестирование стандартными измерительными приборами охватывает только базовые свойства жгута.

Ввиду того, что сечение тонкого соединителя проводника может быть любым, а номинал тока проводника зависит напрямую от толщины соединителя, свойство "высокое сопротивление" стоит считать базовым и при проверке малыми токами.

1.3. Существующие приборы автоматического тестирования жгутов.

Анализируя результаты посещения выставок [10, 11, 12], печатные материалы этих выставок и прочие открытые источники информации, удалось выделить негативные составляющие:

- невозможно купить прибор автоматического тестирования жгутов менее чем за 1 миллион рублей (при этой цене прибор обслуживает ~200 контактов - 5000руб/контакт). Цена может доходить и до 11 миллионов рублей. Потребители не согласны с таким ценообразованием: об этом свидетельствует статистика продаж автоматических приборов (невысоки) [13]: АСК МКИ – несколько штук в год, ТЕСТ-9110-VXI – 32шт/год;

- цена прибора не является итоговой: дополнительно покупается оснастка, услуги настройки и гарантийного/постгарантийного обслуживания - прямая зависимость от продавца;

- габариты приборов оцениваются как большие: рабочее место в несколько столов (ТЕСТ-9110), серверная стойка/шкаф (серия SYNOR). Существуют мобильные варианты, однако не поддерживают количество проводников более 2000 [14, 15, 16] и так же имеют высокую цену;

- не все приборы универсальны. Например, ТЕСТ-9110-VXI-07 - только для двигателя РД-191 в составе РН «Ангара»;

- не все приборы имеют сертификацию ГосРеестра средств измерений [17];

- не все приборы анализируют все базовые свойства жгута (игнорирование высокого сопротивления проводника).

Таблица 1.3.1. Существующие в продаже в настоящее время приборы проверки жгутов (часть цен обоснована перепиской с производителями в Приложении А). Указаны цены начала 2017г.

Название	Страна, пр-во	Возможности обнаружения / измерения*	Макс. кол-во конт.	Цена, руб	Нужны переходники (доп. рост цены и трудоемкости)	Примечания / ограничения
Horizon 1500P-HV	Канада, Cable Test Systems Inc.	1-5	1024	>1млн	Да	Межповерочный интервал 1 год

WK 140	Германия, WeeTech	1-3	128	4200€ (со скидкой и без оснастки)	Да	
WK 260 PC	Германия, WeeTech	1-4	1024	6300€ (со скидкой и без оснастки)	Да	Максимум 1024 контакта в базовом варианте, расширяется до 20000
STC-1000	Россия, Совтест	1, 2, 5	252- 14364	0.8-2.8млн	Да	
ТЕСТ-9110- VXI-07	Россия, ИнформТест	1-4	600	1-2млн	Нет	Только для двигателя РД- 191 в составе РН «Ангара»
ТЕСТ-9110	Россия, ИнформТест	1-4, 5	100- 120000	1-10млн	Да	Универсальное рабочее место, высоковольтный тест
SYNOR 5000H	Франция, Sefelec	1-6, 8	2048	1-10млн	Да	Требуется наличие отдельного шкафа
W434R	Германия, WeeTech	4, 5	6656	-	Да	Автоматическое обнаружение подключенного адаптера. В РФ лишен части функционала
SYNOR 5000D	Франция, Sefelec	1-6, 8	100000	2-10млн	Да	Требуется наличие отдельного шкафа
SYNOR 4200	Франция, Sefelec	1-6, 8	100000	1-10млн	Да	

SYNOR 5000P	Франция, Sefelec	1-6, 8	384	-	Да	
SYNOR 5000R	Франция, Sefelec	1-6, 8	2048	-	Да	
МТК КС (бывш. МК- Test)	Россия, ОКБ «Аэрокосмиче- ские системы»	1-5, 7	>2000	-	Да	
W454	Германия, WeeTech	4, 5	6656	-	Да	Автоматическое обнаружение подключенного адаптера. В РФ лишен части функционала
Лиана-Р100Е	Россия, НПО «Радан»	-	-	5.4млн**	-	Нет открытой информации
АСК-МКИ	Россия, Ижевский мотозавод «Аксион- Холдинг»	1-5	18000	4.1- 11.8млн	-	Цена с тендеров***

*1 – обрыв проводника, 2 – замыкание проводников, 3 – высокое сопротивление проводника, 4 – сопротивление изоляции, 5 – прочность изоляции, 6 – экранирование, 7 – емкость проводника, 8 – проверка электронных компонентов в составе проводника;

**запрос цен №759754;

***тендеры: №31300342901 от 03.06.2013, №31502455846 от 11.06.2015, № 31502455846 от 2015 г., №25257254 от 26.05.16.



Рисунок 1.3.1. Габариты универсального рабочего места ТЕСТ-9110, цель которого - именно высоковольтное тестирование жгутов [18].



Рисунок 1.3.2. Наиболее компактный из приборов тестирования жгутов по критерию объем/контакт WK 260 PC (1024 контакта). ШГВ 275x205x195, но без оснастки; цена 6300€ но со скидкой и в конфигурации 192 контакта; вес 4.9кг, но без учета оснастки [19].

Доказана необходимость создания прибора меньших габаритов и стоимости с возможностью тестирования базовых свойств жгутов: нахождение обрыва, замыкания и высокого сопротивления. Попытаться обеспечить легкость сборки или ремонта, крайне низкую

стоимость; а также возможный отказ от переходников жгутов, т.к. их цена может быть слишком высока [20].

1.4. Маркетинговые и прочие уловки для покупателя прибора тестирования жгутов.

Согласно Федеральному закону №102-ФЗ (статья 2, п.8) [21], прибор автоматического тестирования жгутов является средством измерения (СИ) как способного измерять свойства проводника, изоляции и прочих - посредством количественного и качественного анализа определенных величин.

По техническому назначению является автоматизированной измерительной установкой (без наличия ЭВМ - с участием человека) или автоматической измерительной системой (при наличии ЭВМ - без участия человека), согласно РМГ 29-99.ГСИ разделу 6 [22]. Более статусные термины "измерительно-вычислительный комплекс" или "комплекс", используемые частью производителей/продавцов [23, 24], являются маркетинговым трюком (законным, т.к. РМГ - рекомендации). В новой версии РМГ 29-2013.ГСИ разделе 6 термин "комплекс" полностью исключен [25].

Прибор автоматического тестирования жгутов не является средством измерения, предназначенным для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. В связи с этим, согласно №102-ФЗ (статья 16, п.8.2), освобожден от федерального метрологического надзора. При этом, согласно №102-ФЗ (статья 18, пп.1-2), может добровольно калиброваться, а калибрующее юридическое лицо - пройти аккредитацию в области обеспечения единства измерений. Случаи принуждения к периодической услуге поверки/калибровки прибора в постпродажное время лицами, использующими свой статус аккредитации, являются незаконными в случае, если прибор по виду деятельности не относится к перечисленным в Постановлении Правительства №250 от 20.04.2010 [26].

Имеются частные случаи нестыковок информации в рамках одного прибора. Например, по ТЕСТ-9100-VXI замечен следующий нюанс с импортозамещением (здесь же - и о самом импортозамещении):

- даже в 2015 году определения импортозамещения различны и четко не определены [27, 28]. А в одной из научных статей [29] - еще 3 определения. Ни один из приказов Минпромторга (отраслевые планы по импортозамещению) за 2015 год не содержит официального определения импортозамещения. Прослеживается размытое определение вида "замещение импорта товарами, произведенными отечественными производителями". То есть, сначала имеет место фактического импорта определенного товара, а потом его прекращения в связи с покупкой отечественного;

- Информтест рапортует об успешном выполнении политики импортозамещения в 2016 году

[30]. Однако статья противоречит даже расплывчатой трактовке термина импортозамещения: не указано, какие именно импортные аналоги были заменены - может, покупатели купили приборы впервые;

- в 2017 году Информтест публикует ту же информацию о приборе [23], что зафиксирована в публикации 2006 года [31]: использование именно импортных реле (двух фирм: Meder - Германия, Koto - Япония/США). Какие же конкретно компоненты внутри прибора являются импортными и были заменены на отечественные за эти 10 лет - неизвестно, и производителем такая информация не предоставляется;

- наклеивание шильдиков на импортные товары, произведенные за границей, или крупноузловая сборка (против которых выступает Информтех [32]) концептуально не отличаются от использования в своей продукции импортных комплектующих под корпусом "сделано в России" (тот самый завуалированный импорт). А реле в приборе равно количеству контактов, которое он обслуживает, - наибольший по количеству единиц компонент;

- самостоятельно попытался сделать настоящее импортозамещение для своего разработанного прибора путем замены абсолютно всех его комплектующих на отечественные - как и стоило бы понимать термин "импортозамещение"; а не нынешние его определения, позволяющие манипуляции с переклеиванием шильдиков и прочее. В итоге вышел четко отрицательный аналитический результат: количество микросхем увеличилось в 4 раза, цена возросла в 6 раз, потенциальные габариты увеличились в 4 раза, потенциальные ТТХ ухудшились (хоть и незначительно);

- окончательный вердикт: импортозамещение стоит рассматривать не как эффективную меру противодействия импорту, а как скрытый импорт - и маркетинговый ход производителя, исходя из политической обстановки в стране (зависимость от импортных комплектующих сохраняется).

В статье "реальное импортозамещение в действии" Информтеста [30] указывается высоковольтный коммутатор ВВК5. При этом его ТТХ недоступны в открытом доступе, кроме информации "высоковольтный релейный коммутатор на 200 каналов 1050VDC/750VAC" [33]. Сам коммутатор при этом продается только Информтестом (собственная разработка, импортная переработка или переклеенный шильдик), что диктует четкую зависимость от продавца в случае выхода из строя или необходимости доработки.

Также, если один коммутатор обрабатывает всего 200 каналов, для прибора ТЕСТ-9110-VXI-1000 потребуется 5 таких устройств или совокупность двух коммутаторов ВВК5 и модулей-измерителей ИС-4 (на примере ТЕСТ-9110-VXI-07) [34]. Становится примерно понятной высокая цена таких приборов, т.к. общее количество дорогостоящих модулей в штуках велико. Но пока неясно, оправдана ли цена на эти отдельные модули.

Почему был затронут именно Информтест: изобилие выпущенных им статей для возможности анализа, агрессивность некоторых заметна рядовому читателю. И конкурентам (см. Приложение А).

1.5. Юридические документы и положения, определяющие прибор тестирования жгутов как технически исправное устройство.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (РосСтандарт, бывший «ГосРеестр») предоставляет добровольную услугу регистрации средства измерений (метрологический сертификат, свидетельство об утверждении типа средств измерений) через официальную организацию "Научно-Исследовательский Институт Метрологической Службы" (ВНИИМС) [35]. Срок действия свидетельства при серийном производстве 5 лет, для единичного средства измерения – бессрочно. Стоимость варьируется в диапазоне 7000-10000 рублей. Проверить регистрацию средства измерения можно так же в «ВНИИМС» с получением ответного регистрационного письма. Но проблема заключена не в цене, а в количестве оформляемых документов.

Необходимые документы для получения метрологического сертификата [35]:

- заявка на утверждение типа СИ, пример формы - в МИ 3290-2010;
- подлинник программы испытаний в целях утверждения типа, требования указаны в приложении 1 к Приказу Минпромторга №1081 и в МИ 3290-2010;
- подлинник акта испытаний в целях утверждения типа с приложениями: проект описания типа (приложение 1 Приказа №1081), протоколы испытаний (приложение 3 Приказа №1081), утвержденная методика поверки (протоколы испытаний – по ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025, методика поверки – по РМГ 51-2002);
- комплект эксплуатационных документов: руководство по эксплуатации, паспорт, формуляр, копия технических условий, при наличии (для отечественных СИ серийного производства). Для импортируемых СИ эксплуатационные документы предоставляются на русском языке;
- копия заявки на проведение испытаний в целях утверждения типа (при необходимости доверенность изготовителя СИ);
- проспекты, фотографии общего вида СИ.

Продление полученного сертификата требует пакет документов не меньший по объему. Краткий список:

- заявка держателя сертификата с приложением подлинника имеющегося сертификата (с приложением описания типа средства измерений). Заявка подается с подлинником сертификата с описанием типа старого образца и с проектом описания типа по форме Приказа №1081;

- заключение обязательной метрологической экспертизы конструкторской и (или) технологической документации на средство измерений, подтверждающее отсутствие изменений, влияющих на метрологические характеристики средства измерений. Заключение оформляется юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями, аккредитованными на проведение обязательной метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации;

- сведения, подтверждающие отсутствие нарушений, выявленных органами федерального государственного метрологического надзора: копия акта проверки изготовителя органом Госнаadzора (если такая проводилась), письмо предприятия-изготовителя, что проверки не проводились;

- сведения об отсутствии обращений потребителей с претензиями к качеству данного типа средства измерений за предыдущие 5 лет: копия акта проверки изготовителя органом Госнаadzора (если такая проводилась), письмо предприятия-изготовителя, что проверки не проводились;

- свидетельство оформляется Росстандартом на основании принятого им решения без проведения испытаний в целях утверждения типа стандартного образца или типа средства измерений.

Стоит отметить, что сторонние сайты, предоставляющие услугу получения метрологического сертификата, указывают другие списки необходимых документов; а также указывают неверные сроки его действия [36, 37]. Не стоит обращаться к посредникам в этом вопросе.

Поверка средства измерения - совокупность операций, выполняемых с целью подтверждения соответствия средств измерений установленным метрологическим требованиям [38]. Как было описано в предыдущем подразделе, может быть добровольной и принудительной (в установленные сроки и только организациями с аттестатом аккредитации в области обеспечения единства измерений). Разделяется также на первичную и вторичные (периодические), очередную и внеочередную. Результат поверки – получение сертификата на ограниченный срок. Стоимость - 17375 рублей [39].

1.6. Заключение по разделу 1.

Системный анализ приборов тестирования жгутов и рынка их сбыта дал следующие результаты:

- существующие приборы имеют высокую конечную стоимость, большие габариты, удельную стоимость ≥ 5000 руб/контакт жгута;

- регистрация прибора в ГосРеестре не является простой процедурой, при этом никак не

влияет на качество прибора. Сертификат является лишь подтверждением сторонней организацией характеристик производителя;

- существуют маркетинговые уловки при продаже данных приборов, а также принудительная поверка;

- предполагаемый лидер по весу - ТЕСТ-9110-VXI-36: масса только базового блока достигает 55кг [40].

Доказана необходимость разработки собственного прибора наименьших стоимости и размеров, а также имеющего отличительные особенности в виде простоты сборки, обслуживания и ремонта.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕПЦИЙ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРИБОРА ТЕСТИРОВАНИЯ ЖГУТОВ. АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ, РАЗРАБОТКА СХЕМ И НАПИСАНИЕ ПО.

Во втором разделе рассматриваются существующие в настоящий момент электронные компоненты с целью понимания текущих возможностей разработки и создания концепции для нее. На их основе составляются принципиальные схемы разрабатываемых приборов тестирования жгутов. Учитываются, в том числе, дороговизна и доступность электронных компонентов. И электронные компоненты, и концепции разработки, и принципиальные схемы зависимы и влияют друг на друга - и в этом разделе они разделены лишь абстрактно.

В подразделе 2.1 составляются основные концепции и критерии для сборки новых приборов тестирования жгутов.

В подразделе 2.2 проводятся уточнения по основным ТТХ прибора.

В подразделе 2.3 представлен анализ и подбор основных электронных компонентов по критериям многофункциональности, доступности, простоты использования, дешевизны - как основных критериев долговечности прибора и эффективности его самостоятельного ремонта в случае выхода из строя.

В подразделе 2.4 составлена принципиальная схема первого, самого простого, прибора тестирования жгутов под условным обозначением «УТЖ-1024-Ч-02»: устройство тестирования жгутов, 1024 контакта, с человеческим фактором, версия 02. Количество контактов неограниченно, схема представлена как пример практической реализации – может быть достигнуто и число в миллиард контактов. Охвачены основные свойства проводников жгута: обрыв, замыкание, частично - высокое сопротивление.

В подразделе 2.5 решается проблема цифровых анализаторов сигналов: трата одного контакта анализатора на один проводник жгута. Разработка новой концепции подразумевает использование на один контакт анализатора до 24 проводников жгута.

В подразделе 2.6, на основе результатов подраздела 2.5, предлагается теоретическая реализация теста на пробой изоляции.

В подразделе 2.7 предлагается использование в приборе тестирования жгутов не реле, как обустроено во всех существующих приборах, а транзисторы. Проводится практическое тестирование транзисторов как описание факта успешного разъединения цепи при их закрытии (высокое сопротивление коллектор-эмиттер в закрытом состоянии).

В подразделе 2.8 описывается попытка исправления недостатков УТЖ-1024-Ч-01, из-за которых его реализация была невозможной. Данная версия привлекает добавлением проверки свойства «высокое сопротивление», но с расширенной его трактовкой: не только

некачественный материал проводника, но и плохую пайку; а также не до конца разорванный проводник (1-2 волоска). Однако попытка не удалась из-за возникновения все новых источников отвода тепла от волосков.

В подразделе 2.9 представлена принципиальная схема прибора УТЖ-1024-А-01, включающего ТТХ «автоматический», использующего транзисторы и концепцию использования множества проводников на 1 канал цифрового анализатора сигналов.

2.1. Определение концепций разрабатываемого прибора тестирования жгутов.

С учетом указанных выше данных и документов, характеристики любого прибора тестирования жгутов как средства измерений следующие:

- по техническому назначению: измерительная установка или измерительная система;
- по степени автоматизации: автоматизированный/автоматический;
- по стандартизации средств измерений: стандартизированный/не стандартизированный;
- по положению в поверочной схеме: рабочие средства измерения с возможностью трансформации в эталон (при присоединении элементов самоконтроля: жгутов и/или ПО);
- по значимости измеряемой физической величины: основное средство измерений;
- по измерительным физико-химическим параметрам: физические разнообразные;
- имеет обязательную или добровольную поверку.

В предыдущем разделе были выделены основные недостатки существующих приборов тестирования жгутов: цена, габариты, зависимость от поставщика, необходимость поверок (в т.ч. принудительных). В случае регистрации поставщиком прибора в ГосРеестре - ее завышенная стоимость включена в цену прибора, что покупателю невыгодно.

Сформулируем общую концепцию разрабатываемого прибора, чтобы расширить ее в будущем частными составляющими:

- габариты меньше рабочего места (стол или несколько) или стойки/шкафа;
- стоимость ниже 120рублей/контакт (пятидесятикратное уменьшение текущей минимальной стоимости);
- сохранение базовых возможностей тестирования проводников: обрыв, замыкание, высокое сопротивление;
- возможность самостоятельного ремонта и сборки прибора сотрудником низкой квалификации или непрофессионалом в сфере электроники - без анализа сборочной схемы;
- обеспечение высокого уровня логичности показаний прибора для уменьшения влияния человеческого фактора на результаты;
- при соблюдении всех пунктов выше - минимально возможная цена;

- доступность элементной базы как обеспечение простоты ремонта.

Характеристики прибора как средства измерений:

- по стандартизации средств измерений: не стандартизированный для избавления от бюрократии;
- по положению в поверочной схеме: рабочие средства измерения с возможностью трансформации в эталон (при присоединении элементов самоконтроля: жгутов и/или ПО);
- по значимости измеряемой физической величины: основное средство измерений;
- по измерительным физико-химическим параметрам: физические разнообразные;
- может иметь добровольную самостоятельную поверку.

2.2. Определение и уточнение ТТХ разрабатываемого прибора.

2.2.1. Автоматический или автоматизированный.

В процессе анализа принципиальных схем и иной информации по приборам тестирования жгутов выяснился общий принцип их работы: один проводник – один канал анализатора сигнала этого проводника.

Рассматривая возможность сборки прибора ≥ 1000 контактов, столкнулся с проблемой конечной дороговизны такого прибора. На примере плат аналогового ввода, способных измерять аналоговый сигнал с проводника с высокой точностью: максимальное количество контактов достигает 32 – значит, для 1000 контактов их потребуется более 30 – что нерентабельно при начальной стоимости 32-канальной АЦП ~20000 рублей.

Такая же ситуация обстоит и с микроконтроллерами, и с платами ввода-вывода: при розничном приобретении цена прибора выходит за рамки планируемых ста тысяч рублей. Поэтому по степени автоматизации данный прибор будет автоматизированным: без использования цифровых технологий и ЭВМ. Данный шаг – шаг назад: к использованию человеческого фактора, когда человек на основе полученных данных решает, исправный жгут или нет. Есть инновация с моей стороны в решении данного вопроса – но это тема не данного подраздела.

С другой стороны, при удачной практической реализации уменьшения количества анализаторов сигналов с проводников, автоматический прибор имеет шансы на успешную реализацию.

2.2.2. Измерительная установка или измерительная система.

В соответствии с неиспользованием ЭВМ, прибор по техническому назначению будет являться измерительной установкой (первый прибор) до разработки принципиально новых концепций взаимодействия с цифровыми анализаторами сигналов (второй прибор,

измерительная система).

2.2.3. С использованием переходников или с их отсутствием.

Данный вопрос, несмотря на свою простоту, приводит к дилемме, ориентируясь по необходимым свойствам данного выбора.

Преимущества отсутствия переходников:

- минимум паечных и разъемных соединений приводит к уменьшению сопротивления общей цепи. Действительно, если рассматривать выходной и входной разъем плат прибора: *«выходная плата прибора (пайка) - ответная часть жгута (пайка) - собственная часть жгута (контакт) - ответная часть жгута (контакт) - ответная часть жгута (пайка) - входная плата прибора (пайка)»*. В случае с переходниками количество соединений составляет не 6, а 12: *«выходная плата прибора (пайка) - ответная часть прибора (пайка) - собственная часть переходника (контакт) - собственная часть переходника (пайка) - собственная часть переходника (пайка) - собственная часть переходника (контакт) - собственная часть жгута (контакт) - собственная часть переходника (контакт) - собственная часть переходника (пайка) - собственная часть переходника (пайка) - ответная часть прибора (контакт) - ответная часть прибора (пайка) - входная плата прибора (пайка)»*;

- отсутствие разъемных соединений приводит к неиспользованию дорогостоящих разъемов с ограниченным количеством гарантированных циклов сочленения-расчленения. Проблема использования разъемов более подробно расписана в подразделе 2.3. Здесь же стоит сказать о найденном максимальном количестве гарантированных циклов сочленения-расчленения: 1000. То есть, в случае использования переходников и частого их сочленения-расчленения выходные и входные разъемы на панели прибора быстро придут в негодность, как и собственные разъемы переходников;

- отсутствие разъемов приводит к отсутствию проблемы выпаивания многоконтактных разъемов из платы прибора в случае их износа. Выпаивание возможно с помощью технического фена и оловоотсоса;

- с учетом того, что в настоящее время становится крайне сложным найти дешевые многоконтактные разъемы на плату, отказ от их использования положительно и ощутимо сказывается на конечной цене прибора.

Преимущества переходников:

- сокращение занимаемого пространства ответными разъемами жгутов;

- в случае замыкания проводников в одном из разъемов ремонт быстр, т.к. неисправный разъем идентифицируется однозначно. В случае подобной поломки без использования переходников идентифицировать неисправный разъем на панели прибора становится

трудновыполнимым (замыкание сказывается на аналогичных проводниках всех разъемов панели прибора);

- возможна быстрая модернизация переходников без необходимости вскрытия прибора.

Недостатки переходников:

- в случае выхода из строя разъемов на панели прибора весь прибор приходит в негодность.

Если же без переходников удастся найти неисправный разъем - его можно быстро отпаять без диагностики - и все оставшиеся разъемы будут работать.

Аккумулируя вышесказанное: отказ от переходников является более разумным решением; особенно, если удастся разработать способ идентификации сломанного разъема во множестве параллельно спаянных разъемов.

Далее идет разработка прибора по данной общей концепции с наименьшей стоимостью и трудовыми вложениями. Информация по переходникам носит информативный характер, если собирающий прибор решится их использовать. Разработанная схема, с учетом добавляющихся частных составляющих новых концепций, будет дорабатываться и представлять уже новые версии прибора. Таким образом, у потребителя есть выбор принципиальной схемы, исходя из собственных потребностей. Например, первая версия прибора подойдет для проверки таких жгутов, для которых не требуется проверка на сопротивление изоляции или пробой.

2.3. Анализ и выбор основных электронных компонентов по критериям многофункциональности, доступности, простоты использования, дешевизны.

На текущий момент в РФ возможно приобретение электронных компонентов в нескольких магазинах, представляющих большой их ассортимент. Самый большой из них – «Чип и Дип». Проблема данного магазина в крайне высокой дороговизне продаваемых компонентов, поэтому покупка в нем нерентабельна. Однако данный магазин имеет удобный фильтр компонентов по их ТТХ, а также дешевые резисторы.

Из иностранных торговых площадок для приобретения электронных компонентов более подходит AliExpress. Разница в ценах, в сравнении с «Чип и Дип» может достигать десятки раз. Поэтому применяется удобный механизм приобретения электронных компонентов: по каталогу «Чип и Дип» определяются ТТХ и названия необходимых элементов – и заказываются на AliExpress.

Так как разрабатываемый прибор не использует ЭВМ, к нему применяется концепция генерации и модификации и индикации цифровых сигналов посредством электронных микросхем. При этом последних должно быть как можно меньше с целью упрощения пайки. Решение о корректности каждого проводника принимает человек.

Анализируемые и выбираемые компоненты описываются последовательно, отбракованные

варианты не указываются:

- началом любого прибора является трансформация напряжения промышленной сети 220В/50Гц. Несколько лет назад изучал практическую возможность соединения нескольких адаптеров питания параллельно и последовательно [41, 42] – что привело к сбору статистики по выходному напряжению данных источников питания. Выходное напряжение 5В является наиболее встречаемым; это связано с реализацией возможности питания устройства от разъема USB ПК. Данное напряжение является оптимальным и для питания микросхем: не каждая из них имеет рабочий диапазон напряжения больше [4.5;5.5]В. Этот диапазон удовлетворяет также ГОСТ Р 54149-2010 [43] и ГОСТ 13109-97 [44]: $\pm 10\%$ от номинального напряжения. В итоге для питания прибора выбирается адаптер питания 5В, силой тока от 0.5А – при этом возможность подключения в разъем USB ПК становится доступной. Разъем USB ПК, несмотря на стандарт 0.5А, способен на практике выдавать более 2.6А [45] – что дает большой запас по силе тока;

- каждый прибор должен иметь защиту питания от перенапряжения и сверхтока. Значит, должны быть подключены к источнику питания предохранитель 0.5А и защитный диод 5В;

- источником цифрового сигнала амплитудой 5В являются генераторы прямоугольных импульсов. В схему их подключения не требуется установка кварцевого резонатора из-за отсутствия необходимости сверхточных по времени сигналов. Самым распространенным считается генератор на основе микросхемы серии 555 [46], однако удалось обнаружить многофункциональный генератор на основе микросхемы 4060 [47]: генератора сигнала, модификатора сигнала (делитель частоты), счетчика импульсов (двоичный счетчик). Несмотря на то, что выходной ток генератора не превышает 6.8мА, а выход Q11 отсутствует, этого достаточно для взаимодействия со следующим электронным компонентом;

- сгенерированный, модифицированный по частоте и преобразованный в 4-разрядный двоичный код поступает на демультиплексор на основе микросхемы 4067 [48]: единственный демультиплексор на 16 каналов по демократичной цене 37 рублей. Назначение: поочередное переключение своих выходов – постоянный сигнал 5В будет подаваться на жгут последовательно в каждый проводник;

- для соединения разъема жгута с демультиплексорами требуются ответные части для данных разъемов. Анализировался вопрос использования разъемов с позолоченными контактами ввиду более низкого паразитного сопротивления. Однако такие разъемы оказались чрезмерно дорогими. Отметился необычный феномен: количество гарантированных циклов сочленения-расчленения зависит не от материала контактов, а от конструкции соединителя [49, 50, 51]. Смирновым А. [52] определены критерии выбора разъемов: количество контактов, номинал силы тока и напряжения, степень защищенности от внешней среды, наличие заземления, технологичность в производстве и эксплуатации. Для текущего анализа его статья

дает четкий ответ на материал контакта: золото в случае сигнальных контактов (меньшее искажение сигнала за счет неспособности окисления), серебро в случае силовых контактов (меньшее сопротивление [53], успешное пробивание оксидной пленки серебра сигналом $U \geq 5V$, $I \geq 5mA$, проводимость оксида серебра близка к проводимости серебра [54]);

- требуется расшифровка обнаруженных новых критериев выбора разъемов в контексте разъемов собираемого прибора. Количество контактов (если придется использовать переходники) - максимальное для меньшего количества циклов сочленения-расчленения, номиналы силы тока и напряжения - выше или равные номиналам проверяемых жгутов, степень защищенности от внешней среды - не ниже IP30, заземление - необязательно, технологичность в производстве - широкая доступность в продаже, технологичность в эксплуатации - удобность сочленения-расчленения;

- прохождение постоянного сигнала через проводник в случае замыкания будет разветвлено, в случае обрыва – прервано. В случае высокого сопротивления проводника часть напряжения достанется проводнику – и светодиод будет светить тускло. Индикацией прохождения был выбран светодиод АКО-VD5-R-620-625nm-5-7cd [55] по критерию высокой яркости (6000mcd) – как следствие, малой силы тока для зажигания. Китайские светодиоды с AliExpress являются альтернативой данной модели: практически все имеют ослепляющий свет – в результате чего их яркость даже приходится корректировать повышенным сопротивлением.

2.4. Разработка принципиальной схемы прибора УТЖ-1024-Ч-02.

Двойка в аббревиатуре прибора, означающая вторую его версию, поставлена не случайно. Была предпринята неудачная попытка создания с ходу прибора, превосходящего существующие аналоги [56, 57]: имеющего возможность выжигания плохой пайки и недоразрывов. Проанализировав полученный опыт, было решено разрабатывать приборы от простого к сложному. Была разработана принципиальная схема, включающая в себя и функциональную, охватывающая только базовые свойства проводника: обрыв, замыкание, высокое сопротивление. При этом схема была упрощена настолько, что ее может собрать сотрудник любой квалификации, знающий хотя бы поверхностно паечное дело.

Алгоритм работы прибора соответствует описанию в подразделе 2.2:

- блок №1: питание, защиты от перенапряжения, КЗ и помех, индикация включения;
- блок №2: генерация микросхемой 4060 прямоугольных импульсов частотой 64-1024Гц, деление по двоичной системе счисления на несколько групп. Частота задает скорость проверки жгута, рассматривается частота 1024Гц. В этом же блоке реализованы кнопки "пауза" и "сброс";
- блок №3: поочередная подача постоянного напряжения на контакты проверяемого жгута демультиплексорами 4067, каскадным их подключением. Первый демультиплексор является ведущим, его частота минимальна и составляет 0.25Гц (управляется группой контактов Q12-Q14 4060). Ведомые демультиплексоры имеют частоту в 16 раз большую, составляющую 4Гц (группа контактов Q8-Q10 4060). Демультиплексоры для контактов жгута имеют наибольшую частоту 64Гц (группа контактов Q4-Q7 4060). Итого один генератор 4060 способен управлять 72 демультиплексорами и переключать 1024 проводника жгута. Если применить данную каскадную схему подключения демультиплексоров к нескольким генераторам - 2 генератора смогут обслуживать уже 1048576 контактов, а 3 - более миллиарда контактов;
- блок №4: прохождение сигнала через переходники (прибор - ответная часть жгута);
- блок №5: прохождение сигнала через жгут (ответная часть жгута - жгут - ответная часть жгута);
- блок №6: сигнал доходит до светодиодной панели, где загорается индикатор, соответствующий проверяемому проводнику.

Особенности работы:

- так как человеческий фактор имеет место, необходимо создать все условия для безболезненного процесса проверки. Яркость светодиодов регулируется резистором R8. Переходник "жгут - ответная часть жгута - светодиодная панель" нужно спаивать таким образом, чтобы светодиоды загорались поочередно единично или группами (в случае разветвления проводника внутри жгута);
- в случае длинного жгута из меди низкой чистоты светодиод будет гореть тусклее за счет увеличения суммарного токоограничивающего сопротивления. Заметность тусклости увеличивается при $R8 \rightarrow 0 \text{ Ом}$. Человеческий фактор делает данное свойство малозаметным (хотя нихром от меди отличает корректно).

Список компонентов для сборки данного прибора, с комментариями для каждого компонента, доступен в Приложении Б.

2.5. Автоматизация прибора с помощью новой концепции использования каналов цифрового анализатора сигналов.

2.5.1. Общие положения.

Человеческий фактор во всех предыдущих подразделах не позволяет реализовать потенциал разработанных приборов. При этом избавление от человеческого фактора ведет к резкому увеличению стоимости прибора в десятки раз. Это связано со сложившимся принципом использования цифровых анализаторов сигналов: 1 контакт цифрового анализатора обрабатывает 1 контакт жгута. Было найдено решение, предлагающее отказ от данного принципа в сторону расширения возможностей цифровых анализаторов сигналов: использование одного контакта цифрового анализатора сразу для нескольких контактов жгута. Таким образом, число используемых цифровых анализаторов сигналов в конечном тестере жгутов резко сокращается – что сокращает и стоимость прибора.

Линии проверки проводников жгута снабжаются резисторами отличных друг от друга номиналов с целью последующей безошибочной идентификации проводников. На общем для всех линий проводе устанавливается шунт с целью снятия с него напряжения цифровым анализатором сигналов. Напряжение на шунте, при строго определенных номиналах резисторов, получается закодированным – и с помощью определенных математических вычислений возможно получить номера подключенных к источнику питания проводников жгута.

Если жгут содержит проводники с высоким сопротивлением, это приведет к изменению напряжения на шунте, что приведет к возникновению ошибки: искаженное кодированное напряжение не покажет ту нумерацию проводников жгута, необходимой для идентификации проводника как исправного, или эталонное напряжение будет снижено. Если проводник имеет неправильное разветвление внутри жгута, или одно из разветвлений обрывается, или проводник излишне разветвляется – кодированное напряжение так же не будет соответствовать необходимому значению. Таким образом, все охваченные свойства жгута предыдущих версий приборов будут анализироваться успешно.

Похожая концепция используется при монтаже пожарных датчиков в адресном расширителе шлейфов [59] и пульте контроля и управления [60], однако там используются резисторы одинаковых номиналов и не используются шунты ввиду отсутствия данной специфической необходимости.

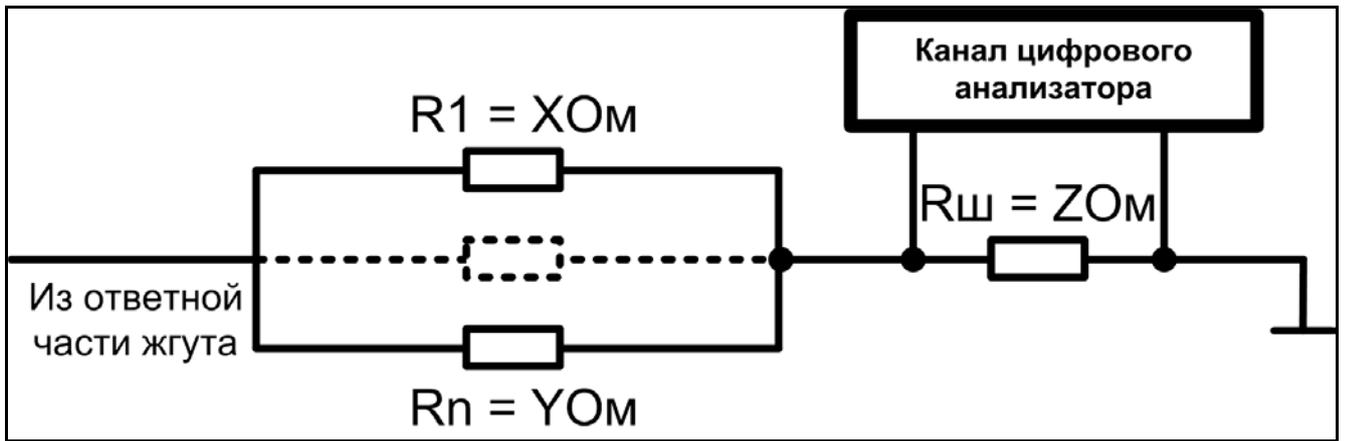


Рисунок 2.5.1. Принципиальная электрическая схема работы одного канала цифрового анализатора с несколькими проводниками жгута.

На рисунке 2.5.1 просматриваются три неизвестных: необходимое напряжение, номиналы сопротивлений проводников жгута, номинал шунта. Дополнительно необходимо определить правила подбора сопротивлений и напряжения, а также алгоритмы расчета минимальной разницы напряжений шунта при всех возможных комбинациях замыкания проводников. Здесь же играет роль и точность цифрового анализатора сигналов как способность определять минимальную разницу напряжений на шунте.

Номиналы сопротивлений должны определяться, исходя из формулы расчета параллельного соединения проводников (учитываются только проводники под напряжением):

$$R_{нар.k} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}}, k \in [1, 2^i], N \in Z \quad (1)$$

Минимальная разница напряжений между группами проводников должна выражаться в процентах, как способность отличать проводники друг от друга, должна рассчитываться без шунта, для чистоты оценки самой матрица сопротивлений.

Номинал сопротивления общего шунта должен рассчитываться в диапазоне $(0; R_{проводника \text{ макс}}]$. Для расчета потребуется его прибавление, как неизвестного, к формуле параллельного соединения проводников:

$$R_{нар} = R_{нар} + R_{шунта} \quad (2)$$

Если представить жгут с N проводников как двоичную систему, где 0 есть разрыв, а 1 есть соединение проводника - для вычисления минимальной разницы между группами проводников

и анализа шунта потребуется массив с количеством значений 2^N - только для хранения значений формулы 1. Массив данных с таким же размером потребуется для хранения результатов формулы 2. Первый массив требует быстрой сортировки для определения минимальной разницы соседних элементов. Второй массив содержит неизвестную $R_{\text{шунта}}$; значит, будет циклический перерасчет всех его значений при поиске оптимального шунта.

Вручную сделать расчеты выше невозможно, поэтому было написано ПО «Уникализатор сопротивлений» [61] в рамках научной статьи по данной тематике [62], которое содержит следующие алгоритмы оптимизации скорости:

- модернизированная сортировка по Шеллу: возможность сортировать несколько массивов одновременно;

- модернизированный итерационный метод последовательных приближений [63] при расчете неизвестного номинала шунта: использование меньшего количества итераций;

- устаревшего языка программирования Microsoft Visual Basic v.6.0, ввиду нетребовательности к ресурсам [64], - для разгрузки вычислительных мощностей ЭВМ.

Рисунок 2.5.2. Внешний вид программы расчета сопротивлений: определение минимальной разницы сопротивлений введенной пользователем матрицы.

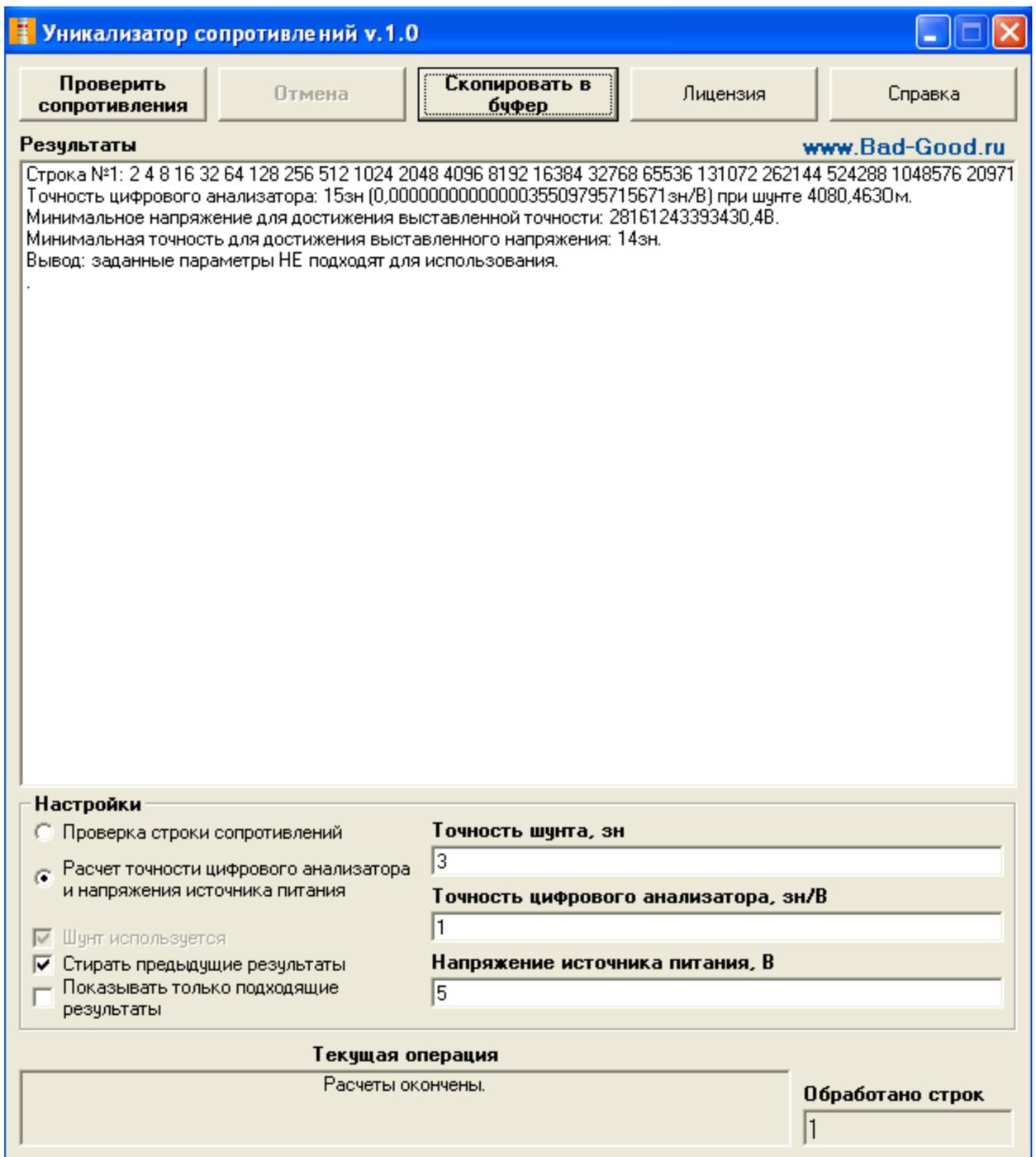


Рисунок 2.5.3. Внешний вид программы расчета сопротивлений: расчет минимальной точности цифрового анализатора и оптимального шунта.

В итоге расчет шунта для строки в 24 сопротивления (24 проводника) занимает не годы, а несколько часов.

Результаты, полученные с помощью ПО, позволяют считать, что номиналы резисторов, выбираемые по двоичной системе с наименьшим интервалом, имеют наибольшую точность по сравнению с произвольными, простыми, восьмеричными и иными числами. В итоге программа рассчитала размер матрицы кодирования, минимальную разницу между группами проводников

в процентах, оптимальный шунт для выбранной матрицы сопротивлений, минимальное напряжение для достижения желаемой точности цифрового анализатора, минимальную точность для достижения желаемого напряжения.

Таблица 2.5.1. Результаты вычисления минимальных разниц сопротивлений между группами проводников как способности наиболее точно отличать проводники друг от друга.

Комбинация сопротивлений, Ом	Кол-во элементов, шт	Мин. разница между паралл. соед., %	Точность анализатора, зн/В	Номинал точности, В ⁻¹	Оптимальный шунт, Ом
2-16777216	24	$5.96 \cdot 10^{-6}$	15	$3.55 \cdot 10^{-15}$	4078.357
2-8388608	23	$1.192 \cdot 10^{-5}$	14	$1.42 \cdot 10^{-14}$	2894.411
2-4194304	22	$2.384 \cdot 10^{-5}$	14	$5.678 \cdot 10^{-14}$	2045.212
2-2097152	21	$4.768 \cdot 10^{-5}$	13	$2.27 \cdot 10^{-13}$	1447.289
2-1048576	20	$9.536 \cdot 10^{-5}$	13	$9.077 \cdot 10^{-13}$	1023.931
2-524288	19	$1.907 \cdot 10^{-4}$	12	$3.627 \cdot 10^{-12}$	724.03
2-262144	18	$3.814 \cdot 10^{-4}$	11	$1.449 \cdot 10^{-11}$	511.802
2-131072	17	$7.629 \cdot 10^{-4}$	11	$5.788 \cdot 10^{-11}$	362.039
2-65536	16	$1.525 \cdot 10^{-3}$	10	$2.31 \cdot 10^{-10}$	255.581
2-32768	15	$3.051 \cdot 10^{-3}$	10	$9.212 \cdot 10^{-10}$	181.024
2-16384	14	$6.103 \cdot 10^{-3}$	9	$3.668 \cdot 10^{-9}$	127.984
2-8192	13	$1.22 \cdot 10^{-2}$	8	$1.458 \cdot 10^{-8}$	90.521
2-4096	12	$2.442 \cdot 10^{-2}$	8	$5.782 \cdot 10^{-8}$	64.016
2-2048	11	$4.885 \cdot 10^{-2}$	7	$2.285 \cdot 10^{-7}$	45.278
2-1024	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	32.032
2-512	9	0.195	6	$3.518 \cdot 10^{-6}$	22.672
2-256	8	0.392	5	$1.366 \cdot 10^{-5}$	16.063
2-128	7	0.787	5	$5.268 \cdot 10^{-5}$	11.404

2-64	6	1.587	4	$2.015 \cdot 10^{-4}$	8.129
2-32	5	3.225	4	$7.688 \cdot 10^{-4}$	5.843
2-16	4	6.666	3	$2.965 \cdot 10^{-3}$	4.277
2-8	3	14.285	2	$1.2 \cdot 10^{-2}$	3.266
2-4	2	33.333	2	$5.719 \cdot 10^{-2}$	2.829

Расчеты также показали, что можно создавать ряды сопротивлений для большого напряжения, с целью уменьшения силы тока в проводнике. При увеличении номиналов ряда сопротивлений пропорционально - точность в знаках и минимальная разница групп сопротивлений в процентах неизменны.

Таблица 2.5.2. Результаты вычисления минимальных разниц сопротивлений между группами проводников различных двоичных номиналов.

Комбинация сопротивлений, Ом	Кол-во элементов, шт	Мин. разница между паралл. соед., %	Точность анализатора, зн/В	Номинал точности, В⁻¹	Оптимальный шунт, Ом
2-1024	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	32.032
2048-1048576	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	32800.043
32-16384	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	512.501
32768-16777216	10	0.097	7	$8.993 \cdot 10^{-7}$	524800.684

В итоге, например, плата аналогового ввода PCI-1713U с точностью 2-3 знака после запятой, при правильно выставленном опорном напряжении и количестве измерений, способна обрабатывать до 4 проводников в одном канале.

2.5.2. Интерпретация результатов оценки качества проводников жгута.

Рассмотрим различные ситуации неисправности проводника в рамках предложенной концепции. На рисунке 2.5.2.1 представлены варианты мест неисправностей проводников жгута.

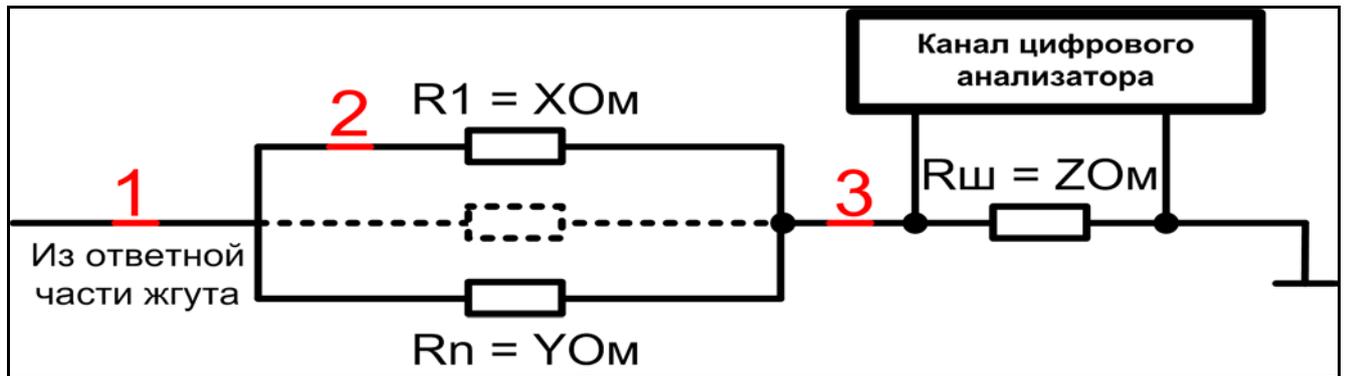


Рисунок 2.5.2.1. Возможные неисправности жгута на схеме рисунка 2.5.1.

В ситуации «1»:

- обрыв приведет к нулевому сигналу на канале цифрового анализатора;
- замыкание приведет к изменению диапазона резисторов до $R_1 \dots R_m$ в большую сторону, где $m \leq n$. Это, в свою очередь, изменит общее сопротивление данных резисторов – цифровой анализатор сигнала снимет напряжение, содержащее информацию о подключении неверного количества проводников. Замыкание же с соседней группой проводников приведет к появлению сигнала на другом канале цифрового анализатора сигналов;

- высокое сопротивление приведет к падению напряжения на шунте, что приведет к нарушению корректности измерения при определенном номинале данного падения напряжения. В этом случае полученная информация о количестве подключенных проводниках жгута не будет соответствовать ожидаемой, что станет для анализирующего ПО фактом ошибки проводника.

В ситуации «2»:

- обрыв приведет к изменению диапазона резисторов до $R_1 \dots R_k$ в меньшую сторону, где $k < n$. Это, в свою очередь, изменит общее сопротивление данных резисторов – цифровой анализатор сигнала снимет напряжение, содержащее информацию о подключении неверного количества проводников;

- замыкание с соседним проводником приведет к расширению диапазона резисторов до $R_1 \dots R_m$, где $m < n$ – что также успешно характеризует неверное количество проводников для одного канала цифрового преобразователя;

- высокое сопротивление одного из резисторов приведет к изменению общего сопротивления данных резисторов, что приведет к изменению напряжения на шунте. Это приведет к нарушению корректности измерения при определенном номинале изменения напряжения.

Ситуация «3» аналогична ситуации «1».

В данном подразделе важно акцентирование внимания на $R_{\text{проводника}}$, когда высокое

сопротивление проводника вызывает перераспределение падений напряжения на последовательных элементах цепи. При этом цифровой анализатор примет такое $U_{\text{шунта}}$, которое ПО воспримет как ошибочное. Номинал $\Delta U_{\text{шунта}}$, выражаемый через $R_{\text{проводника}}$ по закону Ома, позволяет регулировать расчетный номинал сопротивления проводника, при котором ПО будет считать проводник неисправным:

$$U_{\text{проводника}} = \Delta U_{\text{шунта}} = U_{\text{питания}} - U_{\text{шунта}} - U_{\text{резисторов}} \quad (3)$$

$$R_{\text{проводника}} = \frac{\Delta U_{\text{шунта}}}{I_{\text{питания}}} \quad (4)$$

$$I_{\text{питания}} = \frac{U_{\text{шунта}}}{R_{\text{шунта}}} \quad (5)$$

Итоговая формула:

$$R_{\text{проводника}} = \frac{(U_{\text{питания}} - U_{\text{шунта}} - U_{\text{резисторов}}) \cdot R_{\text{резисторов}}}{U_{\text{шунта}}} \quad (6)$$

Для получения расчетного $R_{\text{проводника}}$ потребуется 1 дополнительный отдельный канал цифрового анализатора для постоянного контроля $U_{\text{питания}}$. Для $U_{\text{шунта}}$ уже задействован 1 канал цифрового анализатора - будет получен его практический номинал. $R_{\text{резисторов}}$ и $R_{\text{шунта}}$ известны при теоретическом расчете; при практическом же возможны погрешности. Необходимо знать их точные номиналы, в т.ч. $R_{\text{резисторов}}$, чтобы с его помощью рассчитать $U_{\text{резисторов}}$. С данной задачей может справиться:

- предварительная калибровка разрабатываемого тестера жгутов. То есть, создание заведомо исправного жгута самоконтроля прибора и ПО, вычисляющего необходимые величины с целью избавления от погрешностей при изготовлении резисторов и их первоначальной настройке;

- использование потенциометров больших номиналов, что позволит совершать их точную настройку при помощи обычного высокоточного мультиметра. В дальнейшем изменение сопротивления общей цепи, ввиду физического старения дорожек, паечных мест, контактов, - будет ничтожным в сравнении с этим номиналом.

2.6. Добавление в прибор тестирования жгутов испытания изоляции на пробой.

Согласно пункту 1.8.6 ПУЭ 7-го издания: "Испытание повышенным напряжением промышленной частоты обязательно для электрооборудования на напряжение до 35кВ". В то же время прочность изоляции не проверяется на кабелях с рабочим напряжением <100В,

согласно 6М0.485.704ТУ. Решением данного несоответствия является приоритет ПУЭ над внутренним документом предприятия.

Концепция, описываемая в предыдущем подразделе, позволяет при внедрении высокоомных резисторов реализовать тест изоляции проводника на пробой. Использование высокоомных резисторов также желательно для уменьшения различного рода погрешностей - что делает их использование вдвойне выгодным.

Согласно пункту 3.6.11 ПУЭ 7-го издания: "При отсутствии необходимой испытательной аппаратуры переменного тока допускается испытывать электрооборудование распределительных устройств (напряжением до 20 кВ) повышенным выпрямленным напряжением, равным полуторакратному значению испытательного напряжения промышленной частоты". То есть, для теста на пробой разрешается использование постоянного напряжения 311В DC.

По пункту 1.8.34.2 ПУЭ определено время воздействия испытательного напряжения на объект: 1 минута.

Таблицей 1.8.39 определен номинал испытательного напряжения для вторичных цепей: 500В. Однако здесь над ПУЭ превалирует ГОСТ или ТУ, на основе которого изготовлен каждый конкретный жгут. То есть, прибор должен иметь регулировку испытательного напряжения.

На примере двух проводников из разных каналов цифрового анализатора: в случае успешного сопротивления изоляции все высоковольтное напряжение зафиксировано на шунте одного канала и будет снято через делитель напряжения платой АЦП или иным устройством. В случае пробоя напряжение источника питания отразится на шунтах обоих каналов цифрового анализатора. В случае пробоя двух проводников, принадлежащих одному каналу цифрового анализатора, напряжение на шунте этого канала изменится и не будет соответствовать эталонному.

2.7. Использование транзисторов для коммутации силовых цепей вместо традиционно используемых реле.

Анализ рынка приборов тестирования жгутов и общение с представителями производителей привел к выводу, что все модели поставляемых приборов используют реле для коммутации цепей. Второстепенным доказательством стала вырезка из статьи ИнформТеста, присланная сотрудником-конкурентом:

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

Импортозамещение в целом, а в приборостроении особенно, стало в условиях санкций важнейшей проблемой российской промышленности и науки, касающейся абсолютно всех отраслей экономики. В результате санкций и резкого падения курса рубля доступ российских предприятий к современным импортным приборам катастрофически сократился. Многим предприятиям пришлось забыть о современных приборах иностранного производства

или сильно сократить их закупки.

Система ТЕСТ-9110-VXI по многим параметрам превосходит кабельные тестеры иностранного производства, и в связи с этим успешно заменяет аналогичное оборудование зарубежных компаний. Например, в рамках программы импортозамещения с помощью системы ТЕСТ-9110-VXI можно заменить тестеры компаний Sefelec,

Франция (кабельные тестеры SYNOR 5000 и др., дистрибьютор в РФ ООО «Остек-Электро»), WEETECH, Германия (кабельные тестеры серии W 434, 454, WK 140, 240 и др., представитель в РФ компания ООО «Совтест АТЕ») и CableTest, Канада (кабельные тестеры серии MPT, Horizon и др., представитель в РФ ООО «Совтест АТЕ»), которой пришлось из-за санкций покинуть российский рынок.

Сравнительная таблица характеристик тестеров контроля монтажа отечественных и зарубежных производителей

Название (производитель)	ТЕСТ-9110-VXI (Холдинг "Информтест", Россия)	Тестер Synor 5000 (Sefelec, Франция)	Тестер Weetech 434/454 (Германия)	МК-TEST D1500 (Великобритания)	АСК-МКИ (ОАО "Аксин-холдинг")
Дистрибьютор	Диполь, Би-Питрон, Эл-Склада, Большие Системы	Ostec-Electro	"Совтест АТЕ"	ОКБ "Аэрокосмические системы"	Нет
Русификация ПО	Есть (изначально)	Есть	Есть	Есть	Есть
Плотность каналов на коммутатор(VDC/VAC)	ВВК5:200(1050/750) ВВК6:100(2500/1500) ВВК6М:50(3000/2500) ВВК7:200(2120/1500) ВВК-AXIe:300(2120/1500) PK-76:144(3500/2500)	128(1000/750) 128(500/350) 64(2000/1500) 64(1500/1000) 32(3000/2000) 24(4200/3000) 22(2000/1500) 8(6000/4200)	64(1500/1000) 64(1000/750)	64(1500/1000) 64(1000/750)	100(1000/650)
Количество каналов в крейте (слоты/каналы ВВК6/ ВВК7/ВВК-AXIe)	(3/100/200) моб. (4/200/400) моб. (6/400/800/1500) моб. (9/2400) моб. (13/1100/2200) стац. (14/3900) стац.	(16/2048) стац. 3(384)моб	(10/640) (16/1024)	Нет информации	Стойка (24/2400)
Архитектура	Открытые международные стандарты VXI, LXI и AXI	Оригинальная, закрытая	Оригинальная, закрытая	Оригинальная, закрытая	Оригинальная, закрытая
Соединение между крейтами	LAN (Ethernet)	Оригинальный дорогой кабель	Оригинальный дорогой кабель	Оригинальный дорогой кабель	Оригинальный дорогой кабель
Сертификация на тип СИ	Есть	Есть	Пока нет	Пока нет	Есть
Цена	Умеренная	Высокая	Высокая	Высокая	Высокая
Мобильный тестер	Да	Да	Да	Нет	Нет
Реле	Koto, Meder	Meder	Zettler (AZ832)	Omron	Relpal (RM84-2322-35-1024)
Количество измерительных каналов	100-120000 и более	8-100000	До 128000	64-524288	До 18000
Наличие бесплатных конвертеров для импорта данных из других систем	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Проверка кабелей во время воздействия вибраций	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Гарантия	3 года или 10 лет	1 год	1 год	1 год	1 год



Рисунок 2.7.1. Использование импортных реле в приборах тестирования жгутов различных производителей. Соответствующий выпуск на сайте ИнформТеста не найден.

Реле данных производителей рассчитаны на высокие напряжение и ток, что позволяет считать их целесообразное использование именно при коммутации силовых цепей. Предлагается новый подход: отказ от реле в пользу транзисторов по ряду показаний (на примере полевого транзистора AUIRFU4104 40В/119А и реле TRIH-24VDC-SD-1AH-R):

- внутреннее сопротивление $5.5\text{мОм} < 50\text{мОм}$;
- управляется напряжением, а не током ($0.001\text{А} < 0.22\text{А}$);
- время переключения $2\text{мкс} < 0.1\text{с}$;
- нет звука переключения;
- можно переключать с частотой 500кГц .

2.8. Попытка реанимации УТЖ-1024-Ч-01 через решение проблемы неработоспособного функционала.

В данной версии прибора не работал функционал обнаружения плохой пайки и недоразрывов методом разрушающего контроля. Перераспределение напряжения на элементах цепи и малый ток не приводили к успешному разрушению проводников жгута, также присутствовало большое падение напряжения на коммутирующем транзисторе.

Было произведено макетирование с использованием биполярных транзисторов BDX33C [65] и AUIRFU4104 [66], провода безымянной марки, резистора C5-5B-MB [67]. Провод разрезался и спаивался двумя волосками с целью выжигания последних:

- тест двух волосков на исправном БП ПК Twinhead PT-7150C завершился успешно их выжиганием по принципу предохранителя;

- внутреннее сопротивление одиночного биполярного транзистора оказалось недостаточно малым даже в режиме насыщения – тепло выделялось не столько на волосках, а на транзисторе;

- внутреннее сопротивление одиночного полевого транзистора оказалось достаточным в режиме насыщения (5В на сток, 12В на затвор);

- внутреннее сопротивление соединенных параллельно трех полевых транзисторов оказалось достаточным в режиме насыщения (5В на сток, 12В на затвор);

- однако, как только волоски были покрыты герметиком как аналогом изоляции, перестало хватать и группы полевых транзисторов. В итоге изоляция отнимала тепло у нагреваемых волосков, и последние не перегорали. Эксперимент закончился выходом из строя резистора посредством взрыва через 10с подачи напряжения (резистор оказался с неким наполнителем) [68].

В итоге проблема обнаружения недоразрывов и плохой пайки как метода разрушающего контроля остается нерешенной, если человеческий фактор в приборе остается. Однако в случае использования цифровых анализаторов сигналов можно снимать телеметрию именно попытки прожигания жгута как падения напряжения на участке недоразрыва или плохой пайки.

Использование концепции раздела 2.5 позволяет решить эту задачу с использованием низкоомных высокоомных резисторов. Эксперимент с открытым транзистором в режиме насыщения показал падение на нем около 200мВ [69]. При этом нагревались и резистор, и проводник, и недоразрыв проводника. Если снимать падение напряжения на резисторе – оно будет меньше эталонного. Эталонные напряжения для каждого резистора, в рамках конкретного жгута и каждого его проводника, возможно хранить в цифровой БД. Это позволит полностью избавиться от искажений результатов разбросом параметров транзисторов.

Данный тест позволит оценить одновременно и высокое сопротивление проводника, т.к. оно также приведет к падению напряжения на самом проводнике. Однако для этого теста нельзя использовать концепцию подраздела 2.5, т.к. номинал шунта много больше номинала низкоомного резистора. Из этого следует многократное повышение стоимости прибора. Также нельзя объединить данный тест и тест на пробой изоляции (в первом снимаются данные с шунта, во втором – с низкоомного резистора; требуется дополнительно вдвое большее количество каналов).

2.9. Разработка принципиальной схемы прибора УТЖ-1024-А-01.

Технические отличия прибора с индексом «Ч» от модели с индексом «А»:

- отказ от светодиодов как приемников и индикаторов сигнала с проводника в пользу цифрового интерфейса и цифровых анализаторов сигналов с проводников (платы аналогового ввода, микроконтроллеры и т.д.);
- применение уменьшенного количества цифровых анализаторов, в сравнении с существующими аналогами;
- применение транзисторов с высоким коэффициентом усиления для коммутации на проводники напряжения, большего напряжения питания управляющего блока прибора;
- необходимость написания ПО, анализирующего сигналы с проводников;
- увеличение частоты опроса проводников за счет возможности корректного переключения транзисторов на частотах, измеряемых в мегагерцах;
- добавление теста на пробой;
- попытка поиска недоразрывов и плохой пайки, а не их выжигания – как метод неразрушающего контроля.

2.9.1. Разработка источника постоянного напряжения 311В/0.1А для реализации пробойной установки (вход блока №4).

ПУЭ не регламентирует величину отклонения испытательного напряжения при тесте на пробой, поэтому взята стандартная величина $\pm 10\%$, согласно ГОСТ Р 54149-2010 и ГОСТ 13109-97. Данными стандартами регулируется и входное напряжение 220В АС. Поэтому принципиальная схема источника питания сильно упрощается, превращая ее в обычный умножитель напряжения, путем выпрямления входного напряжения и его сглаживания. В итоге относительная погрешность от входного напряжения равна относительной погрешности выходного напряжения.

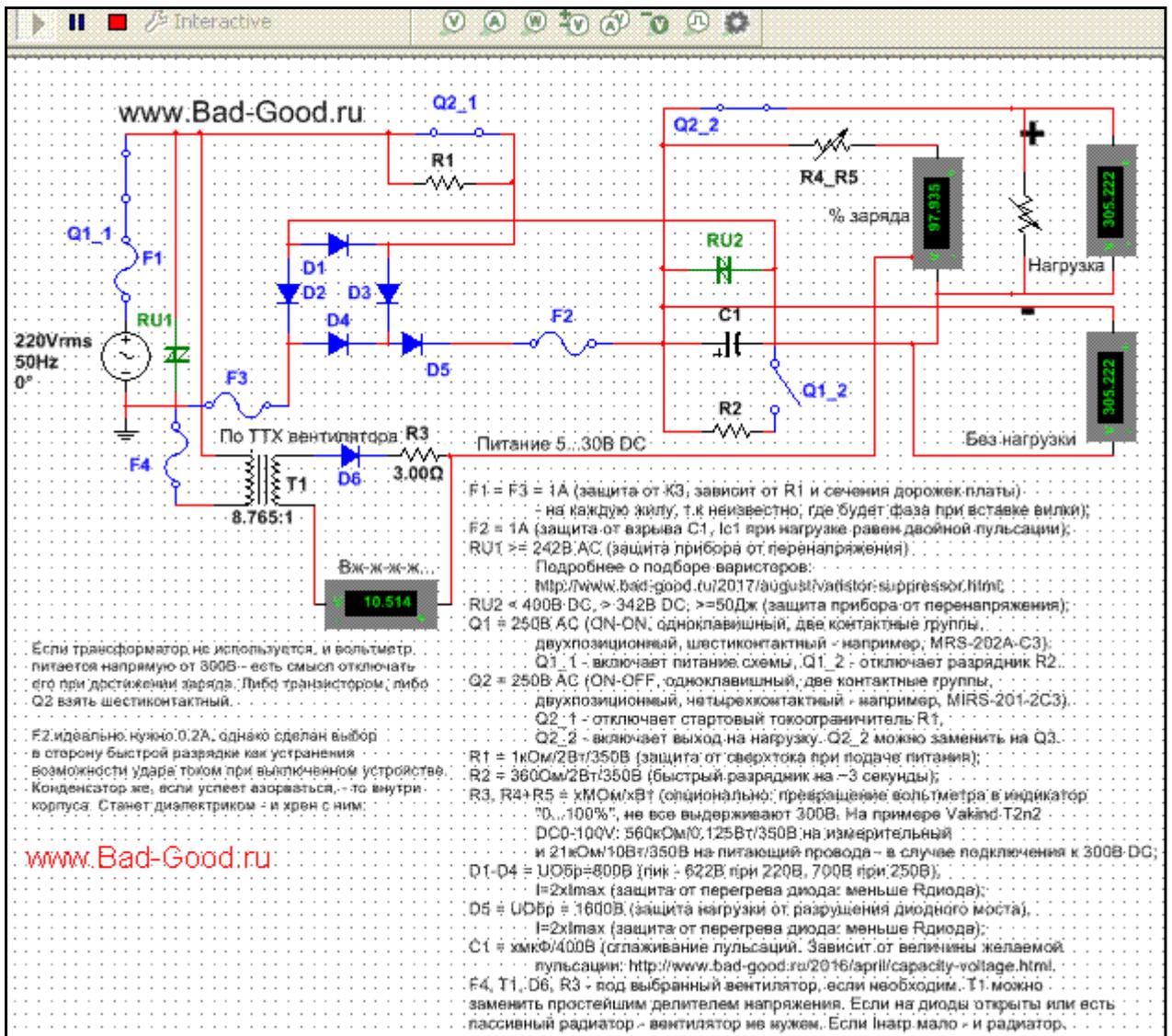


Рисунок 2.9.1. Источник постоянного напряжения 311В DC.

На рисунке показан процесс предварительного включения источника питания (заряд конденсатора для обеспечения корректного выходного напряжения). Один из вольтметров

выступает в роли отображения процента заряда.

В роли пробойной установки требуется ток не более 0.1А – обеспечивается избыточный запас прочности за счет дешевизны компонентов. Малая величина тока связана с тем, что каждый из проводников жгута будет обязательно содержать сопротивление высокого номинала, не допускающего высокого тока ввиду опасности перегрева. В итоге конденсатора хватает для стабилизации выходного напряжения, согласно формуле расчета емкости сглаживающего конденсатора, выведенной эмпирически [70].

Если по каким-либо причинам потребуется меньшее напряжение пробоя – с учетом малого тока, можно выйти из ситуации использованием стандартного резистивного делителя. С использованием стандартных правил его составления: сопротивление нагрузки должно быть в 10 раз больше сопротивления резистора с делимым напряжением.

2.9.2. Особенности использования концепции уменьшения количества цифровых анализаторов сигналов с проводников при реализации теста на пробой.

Для корректной работы высоковольтного источника питания и концепции уменьшения количества анализаторов сигналов применяется ряд требований к резисторам в ее составе:

- при практической работе с высоковольтным напряжением и резисторами МТ-2 [71] выяснился неочевидный параметр в составе ТТХ резисторов: максимальное напряжение использования. Для МТ-2 эта величина составляла 200В – что привело к пробоем его витков, уменьшению общего сопротивления цепи и сгоранию предохранителя. Поэтому либо выбираются высоковольтные резисторы фирмы SQP (тестирование которых доказало их исправность), либо использовать последовательные связки из 2-3 резисторов с целью перераспределения напряжения в цепи одного проводника;

- для соблюдения ограничения силы тока 0.1А, с целью сохранения свойства стабилизации источника питания, минимальный суммарный номинал резисторов проводника должен быть не менее 3422Ом;

- рассеиваемая мощность резисторов одного проводника не должна равняться 34.22Вт, т.к. время протекания тока 0.1А составит менее 1с – корректно использовать мощность 2Вт. С учетом, что резисторов будет больше одного – подойдут образцы по 1Вт;

- для входных каналов анализаторов сигналов требуется делители напряжения. Делитель напряжения одинаково делит и полезный сигнал, и помеху. Предполагается опорное напряжение +1.25В – требуется делитель с теоретическим коэффициентом деления 274. При практическом макетировании в разделе 3 коэффициент делителя уменьшится в 2 раза.

2.9.3. Особенности написания ПО и настройки плат аналогового ввода, исходя из флуктуаций ТТХ электронных компонентов в реальном мире.

Если рассматривать процесс измерения напряжения каналом цифрового анализатора сигналов в рамках идеальных ТТХ электронных компонентов – он прост: измерить напряжение и сравнить с эталоном. Мало того, исходный код снятия напряжения может быть предоставлен самим производителем в виде примеров (например, производитель Advantech PCI-1713U дает исходники-примеры не только в различных вариациях, но и для разных языков). То есть, данное ПО либо уже написано, либо его может написать программист любой квалификации, т.к. это задача 1-3 курса ВУЗа. Никогда не имея опыта работы с данной платой, мне потребовалось 8 часов на написание ПО PCI-1713 Work v.1.0 FINAL [84] - от разработки интерфейса до написания краткой инструкции. Далее – около часа отладки.

Однако электронные компоненты имеют разброс по ТТХ всегда – и эти разбросы диктуют усложнение кода ПО и настройки плат, но четко в определенных рамках:

- разность падения напряжения на транзисторах возможно выявлять с помощью жгута самоконтроля. Это заведомо исправный жгут, не имеющий разветвлений и пересечений номеров контактов. Цели – не только проверка исправности работы электронных компонентов, но и выявление разброса идеальных параметров;

- погрешность резисторов, используемых в концепции уменьшения количества цифровых анализаторов сигналов, влияет на вероятность ошибки измерения. Поэтому стоит использовать либо потенциометры вида 3296, либо комбинацию постоянного резистора с низкоомным потенциометром. Для еще большего уменьшения вероятности ошибки нужно подавать напряжение питания, превышающее минимальное расчетное;

- также ошибка измерения может быть вызвана собственным сопротивлением проводников самого прибора: проводов и дорожек на плате. Поэтому для окончательного устранения ошибки измерения нужно вводить верхний и нижний предел измерения для каждого проводника. Их номиналы определяются при применении жгута самоконтроля. Т.к. жгут не содержит участков высокого сопротивления – будет измерено эталонное напряжение: вычитание из напряжения источника питания и напряжения на транзисторе, и напряжения на проводниках прибора – на всех участках цепи прибора;

- платы аналогового ввода не всегда настраиваются автоматически с помощью драйвера (Advantech PCI-1713U), а требуют калибровку (ADLINK PCI-9113A): устранение влияния каналов друг на друга, калибровка нулевого потенциала, калибровка максимального потенциала. Данные проблемы устраняются по инструкции производителя, путем регулировки потенциометром на плате с использованием миллиметра. Однако ввиду отсутствия данного дорогого прибора можно решить задачу иначе: подавать напряжение на разные каналы и

наблюдать за их поведением;

- на примере ADLINK PCI-9113A можно описать реальное влияние каналов друг на друга у неоткалиброванной платы. I-й канал влияет только на канал $i+1$ и $i+2$, только в большую сторону. Подача напряжения на 2 канала (например, i и $i+1$) приводит к влиянию на второй ($i+1$), третий ($i+2$) и четвертый ($i+3$) канал в разной степени, путем суммирования влияния каждого канала по отдельности;

- выбор опорного напряжения для плат аналогового ввода как выбор максимальной точности измерения для конкретного напряжения. Увеличение диапазона напряжений со снижением точности (увеличение опорного напряжения) можно делать программно; и только переключение униполярного или биполярного напряжения производится механически переключками на плате. На некоторых платах и переключение униполярного или биполярного напряжения производится программно.

Учитывая написанное выше, чтобы не иметь проблем с калибровкой платы, лучше использовать анализаторы сигналов, калибрующиеся драйвером самостоятельно.

Измерение напряжения с помощью цифровых анализаторов сигналов позволяет получить значительные преимущества перед автоматизированным прибором:

- точное измерение напряжения с двумя-тремя знаками после запятой. То есть, возможность точного обнаружения высокого сопротивления проводника жгута посредством математических расчетов по закону Ома;

- увеличение частоты измерений в рамках одного проводника позволяет отлавливать всплески напряжения, в т.ч. при тесте на пробой или при сгибании жгута в процессе теста;

- составление маршрутной карты жгута как самим пользователем (эталон), так и прибором в процессе его проверки. В связи с возможностью создания и наполнения такой БД жгутов становится доступным определение типа жгута самим прибором. В случае поврежденного жгута – определения вероятности соответствия данного жгута какому-либо из эталонных.

2.10. Заключение по разделу 2.

Теоретические исследования произведены и включают в себя:

- окончательное утверждение ТТХ разрабатываемого автоматизированного прибора проверки жгутов без использования цифровых анализаторов (с присутствием человеческого фактора);

- определена конкретная элементная база, разработана принципиальная схема и присвоена аббревиатура «УТЖ-1024-Ч-02» для такого прибора. Определена конечная стоимость комплектующих;

- создана концепция использования нескольких проводников жгута в одном канале

цифрового анализатора сигналов с целью уменьшения количества анализаторов в приборе с большим количеством контактов. Данная концепция – решение дороговизны автоматических приборов тестирования жгутов. Решение проблемы преобразует прибор УТЖ-1024-Ч-02 из автоматизированного в автоматический, избавляясь от человеческого фактора (УТЖ-1024-А-01);

- разработано ПО для расчета необходимых величин в рамках концепции, описанной выше. Произведено моделирование, проверка результатов сторонними программами. ПО доработано в соответствии с обнаруженными ошибками;

- доказана допустимость использования в приборе УТЖ-1024-А-01 теста на пробой.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. СБОРКА ПО СХЕМАМ, ОЦЕНКА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ, ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ДОРАБОТКА И ВЫВОДЫ.

В третьем разделе собираются и тестируются приборы УТЖ-1024-Ч-02 и УТЖ-1024-А-01, с использованием принципиальных схем раздела 2. Сборка происходила «на коленке»: без использования специального оборудования вроде паяльных станций, фенов, оловоотсосов. Количество контактов уменьшено до 96 с целью создания опытного образца на 1 жгут.

В подразделе 3.1 описывается сборка прибора УТЖ-96-Ч-02 с итоговыми методами тестирования жгутов: обрыв, замыкание, высокое сопротивление.

В подразделе 3.2 производится проверка концепции снятия показаний одним каналом платы аналогового ввода сразу с нескольких проводников жгута. Производится коррекция и дополнение формул расчета, приводятся блок-схемы алгоритмов работы ПО «Уникализатор сопротивлений» и доработка этого ПО с учетом практических данных.

В подразделе 3.3 описывается недоверие программам моделирования схем ввиду расхождения показаний с реальными на десятки-сотни процентов.

В подразделе 3.4 тестируются самодельные разветвления на пробой.

В подразделе 3.5 тестируются транзисторы разных видов на предмет номиналов сопротивления коллектор-эмиттер в закрытом состоянии – как утверждение возможности их использования вместо традиционных реле в приборах тестирования жгутов.

В подразделе 3.6 показан именно практический вариант сборки высоковольтного источника питания, с соблюдением мер безопасности от взрывов.

В подразделе 3.7 описывается сборка прибора УТЖ-1024-А-01 с итоговыми методами тестирования жгутов: обрыв, замыкание, высокое сопротивление, тест на пробой.

В подразделе 3.8 даются рекомендации по монтажным работам и улучшениям для автоматической версии тестера жгутов.

3.1. Сборка прибора УТЖ-96-Ч-02 по принципиальной схеме УТЖ-1024-Ч-02 (рисунок 2.4.1).

Учитывая недостатки сборки образца на макетных платах, был разработан ряд печатных плат ~180x70мм, разбивающих конструкцию прибора на модули и дающих возможность их переменного использования. К каждому модулю предполагается краткая инструкция по сборке, т.к., несмотря на уменьшение количества паячных мест и оптимальное распределение металлизированных отверстий, - требуются некоторые пояснения. Внешний вид модулей, инструкция к ним, предпочитаемый производитель и параметры изготовления плат размещены

в Приложении Г. Общий смысл:

- первый модуль: питающий и работающий как генератор сигналов на 64 контакта;
- вторые: расширитель количества контактов, выход на жгут (128 контактов/модуль, до 1024 контактов – т.к. на первом модуле 8 демультимплексоров);
- третьи: распараллеливание выходов на жгут для подключения множества разъемов (23 разъема на модуль, модули можно соединять последовательно многократно);
- четвертые: вход со жгута (256 светодиодов/модуль, до 1024 контактов).

С помощью данного набора плат возможна реализация прибора с количеством контактов от 8 до 1024 (без изменения модулей); чем меньше контактов - тем меньше цена конечного прибора. В различных ситуациях требуется различное их использование: например, если сборщик выберет концепцию использования переходников - ему не потребуются плата модуля №3.

Как было сказано ранее, число проверяемых контактов в названии прибора условно: количество 1024 контакта можно расширить до 1048576 путем соединения 1024 блоков №2+№3 к таким же родительским.

Приложение Б было скорректировано при сборке прибора на печатных платах. Печатные платы были доработаны с учетом возникающих проблем (например, недостаточная ширина отверстий для проводов).

Неожиданно большую удобность показали жгуты для микропроцессоров Arduino (dupont cable), содержащие в себе штырьки и имеющие малую длину – избавляет от необходимости нарезать провода и лудить их перед пайкой (уже луженые). Разноцветность проводов в связке жгута уменьшает вероятность ошибки при сборке.

Неожиданную удобность показали стандартные штыревые разъемы с расстоянием 2.54мм (далее - "штыри 2.54мм"): соединение модуля №2 и №3 без использования проводов – резко сократилась суммарная длина необходимых проводов. Также возможно соединение перемычками нескольких модулей №3 (жесткая сцепка) как увеличение количества разветвлений.

Попытка уместить все модули на одну плату привела к росту стоимости платы в несколько раз, уменьшению удобства сборки, потере универсальности по количеству контактов - хоть и привела к уменьшению количества паечных мест и возможности разводки прибора до 128 контактов без единого провода.

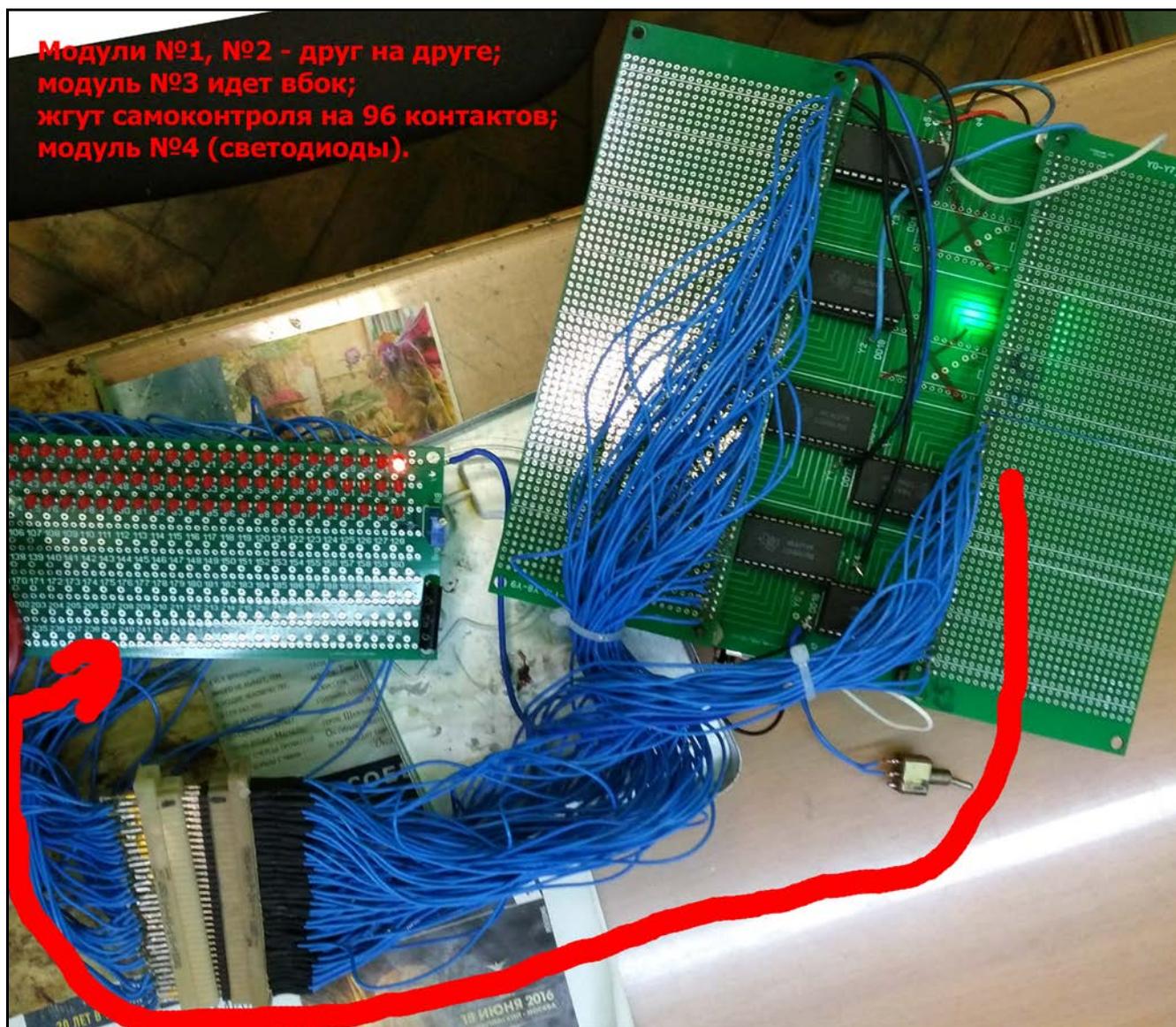
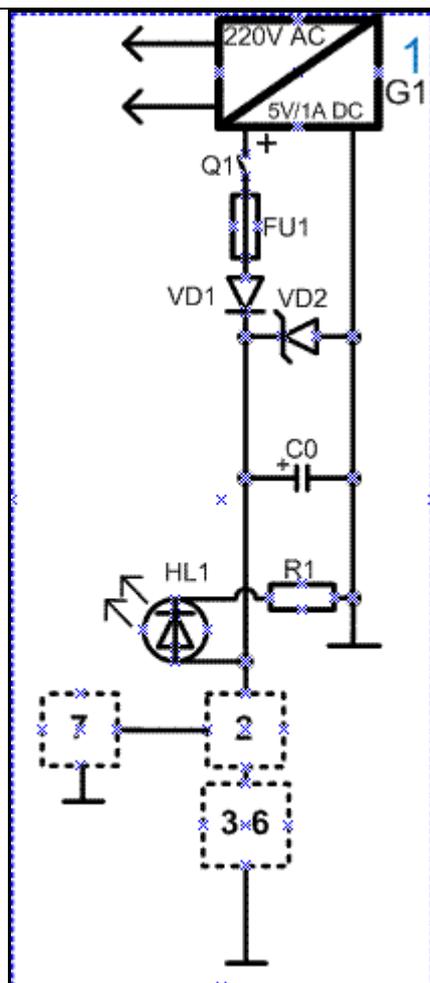


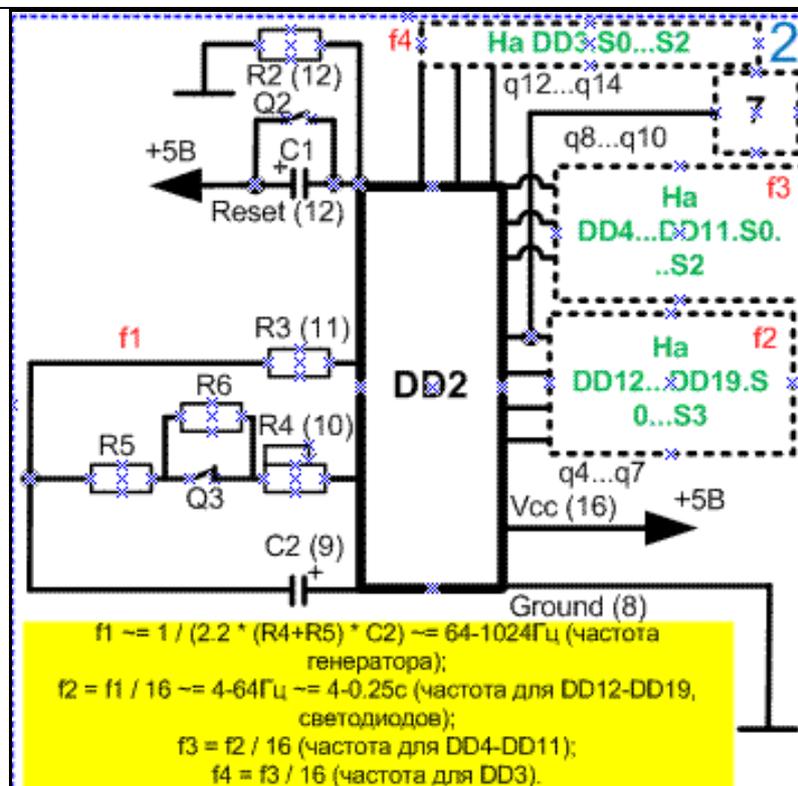
Рисунок 3.1.1. Внешний вид УТЖ-96-Ч-02 во время самопроверки жгутом самоконтроля. Без использования транзисторов, т.к. разветвление жгутов меньше 15. Цели сделать красивый образец не стояло – проверялся именно функционал.

Таблица 3.1.1. Реальное функционирование блоков принципиальной схемы прибора УТЖ-1024-Ч-02 на примере УТЖ-96-Ч-02.

Схема блока	Описание
-------------	----------



Блок №1. Успешно используется питание 5В от разъема USB ПК. Предохранитель FU1=1А избыточен: ток не превышает 30мА – был заменен на 0.1А. Однако это зависит от конструкции жгута: при загорании 15 светодиодов одновременно создается ток 0.3А только на светодиодной панели, если использовать транзисторы. Использование питания 5В позволяет использовать прибор там, где нет электричества, с помощью переносного power bank.



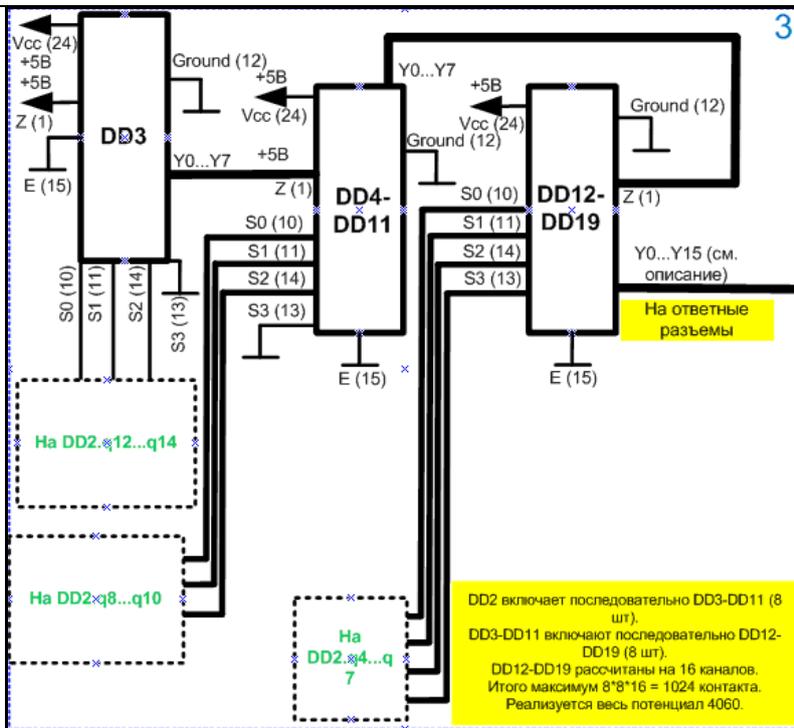
Блок №2. Микросхема HCF4060BE запускается успешно, и формула в документации корректна - только при соблюдении следующих условий:

- R2=10-11кОм, R3≈430кОм, C2≤820мкФ (успешный запуск микросхемы 4060). С помощью C1 можно задавать задержку включения микросхемы;
- максимальное напряжение C2 должно быть максимально приближено к напряжению питания (корректная работа формулы). При 47мкФ/6.3В микросхема работала с периодом 8.6с, но с 47мкФ/400В -

6.3с.

Ток светодиода составляет 20мА, при заявленном максимуме в даташите 6.8мА. Возможно, имелось в виду на каждый канал – суммарный ток 68мА.

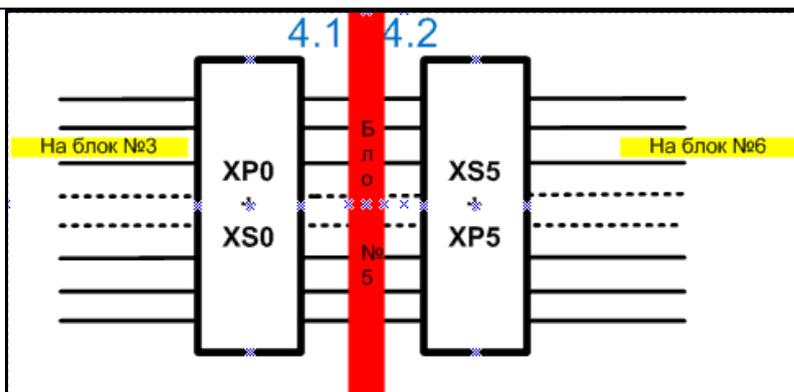
Чем ближе R6 к R5+R4 – тем менее эффективна пауза по времени. К сожалению, нельзя просто разомкнуть цепь.



Блок №3. Для корректной работы 4067 необходимо:

- контакт «Е» соединить с общим проводом;
- если у CD4067 не отключается один из каналов, при нормальной работе остальных – вероятность именно неисправной микросхемы высока;
- 4067 реагирует на оба среза сигнала 4060 – получается удвоенная частота переключения.

Именно сюда устанавливаются транзисторы NPN как усиление сигнала с демultipлексоров (сделана разводка на печатной плате).



Блок №4. Концепция переходников не применялась. Использовался модуль №3 для расширения кол-ва подключаемых разъемов. Жгут самоконтроля реализовывался на советском разьеме СН064-96 Р-24-1-В 0287, штыри 2.54мм сделали из разьема "мама" разьем "папа".

<p style="text-align: right;">5</p>	<p>Блок №5. Не создавался. Удобнее использовать провод сечением 0.12мм^2 для всех соединений в приборе.</p>
<p style="text-align: right;">6</p> <p>Для каждого контакта свой светодиод. Если загорается больше необходимого – повреждение изоляции, меньше – обрыв, неисправность разъема или высокое сопротивление контакта</p>	<p>Блок №6. В данном образце на светодиоды подается 5В. Практически доказана невозможность подачи 0.6-1.5В (демультиплексор не считает сигнал входным) – токоограничивающий резистор R7+R8 продолжает быть необходимым.</p>
<p style="text-align: right;">7</p>	<p>Блок №7. Резистор R9 был заменен со стандартных 220Ом на 3кОм в связи с сильной яркостью светодиодов из Китая.</p>

Прибор функционирует корректно в рамках поставленных задач: определяет разрывы, замыкания, высокое сопротивление. Однако в связи с нелинейностью ВАХ светодиодов, способен отличить только обычный провод от нихрома – что делает из прибора просто дешевую «звонилку».

При пайке контактов ответной части жгута к светодиодной панели выяснилось, что представлять корректность проверки жгута можно в 2 вариантах:

- последовательное зажигание светодиодов на панели. Если хоть один следующий светодиод не загорается – обрыв, если загорается лишний светодиод – замыкание. Если 1-й контакт жгута соединен с 1-м и 2-м контактом на другой стороне – зажечь 1-й и 2-й светодиод одновременно. Если далее 2-й контакт жгута соединен с 5-м контактом на другой стороне – зажечь 3-й светодиод. Если далее 3-й контакт жгута соединен с 8-м контактом на другой стороне – зажечь 4-й светодиод. И т.д. Получается быстрота и автоматизация проверки (пользователь следит за зажиганием светодиода или их группы по очереди, повышая порядковый номер светодиода). А также нет необходимости смотреть в чертеж жгута;

- зажигание именно тех светодиодов, которые соответствуют чертежу жгута. Если 1-й контакт жгута соединен с 8-м и 9-м контактом на другой стороне – зажечь 8-й и 9-й светодиод одновременно. Если далее 2-й контакт жгута соединен с 5-м контактом на другой стороне – зажечь 5-й светодиод. Если далее 3-й контакт жгута соединен с 8-м контактом на другой стороне – зажечь 8-й светодиод. И т.д. Получается проверка жгута, согласно его маршрутной карте (разводке). Однако ввиду разнообразия комбинаций соединений в жгуте глаз пользователя будет постоянно метаться по светодиодной панели, т.к. в первое мгновение может зажечься 256-й светодиод, а потом 3-й. Уменьшается скорость проверки жгута. Возникает необходимость в двух вещах: ручное управление моментом переключения каналов жгута, затухание всех светодиодов перед зажиганием новой комбинации.

Первая необходимость решается заменой нормально замкнутой кнопки Q3 «пауза» с фиксацией на нормально разомкнутую без фиксации. И уменьшением частоты переключения проводников жгута генератором DD2. То есть, нужно ввести новый переключатель Q5, дающий возможность выбора режима работы кнопки Q3: как «пауза» автоматического перебора каналов, как «продолжить» для ручного перебора каналов.

Вторая необходимость не решилась добавлением в разрыв входного сигнала Z главного демультиплексора DD3 полевого транзистора (управление сигналом с выхода q4 микросхемы DD2). Входной сигнал должен был прерываться при логическом нуле на q4 с выбором соответствующего резистора для затвора транзистора. Однако выяснилось, что частота переключения светодиодов на панели в 2 раза больше частоты на q4 DD2.

Несмотря на то, что вторая проблема не решена – нормально разомкнутая кнопка Q5 «продолжить» при уменьшенной частоте переключения контактов жгута способна ее устранить. В этом случае нормально замкнутая кнопка Q3 «пауза» заменяется на переключатель ON-OFF «пауза/ручное управление».

Отмечается необычное поведение устройства при работе с транзисторами как с усилителями сигнала с демультиплексора:

- без транзисторов на светодиоды подается ток напрямую с демультиплексора – светодиоды горят тускло при разветвлении на 15 проводов, ток составляет 2.5мА;

- с полевыми транзисторами IRFZ44N устройство не заработало: транзисторы не выключались после зажигания;

- с биполярными транзисторами BDX33C с заявленным коэффициентом усиления 750 устройство работало исправно, светодиоды светились четко с током 20мА, если требовалось 20мА.

Итогом является:

- добавление в устройство возможности использовать транзисторы (модуль №2, опционально). Модуль стал универсальным и для автоматизированного УТЖ-1024-Ч-03, и для автоматического УТЖ-1024-А-01 (в котором использование транзисторов неизбежно). То есть, возможна переделка одной модели устройства в другую без затрагивания первых двух модулей, содержащих большинство активных электронных компонентов;

- изменение предпочтений в ТТХ транзистора с дорогого полевого на более дешевый биполярный с большим hFE. Он также не требует токоограничивающего резистора на базу по причинам малого тока 4067, малого тока коллектор-эмиттер, большого коэффициента усиления. Даже если произойдет разветвление на 100 светодиодов (ток 2А) – коэффициент 750 данного транзистора потребует от демультиплексора не более 2.7мА;

- отмечается высокая живучесть китайских светодиодов, т.к. не перегорел ни один при намеренно поданном многочасовом токе 40мА. А также их способность различимо глазу гореть даже при токе 2.5мА.

Обнаружена проблема монтажа транзисторов на модуль №2: глубина транзисторов больше расстояния между ножками транзисторов на плате. Есть несколько вариантов решения:

- установка одного транзистора с верхней стороны платы, другого - с нижней. Получившейся глубины 5.08мм достаточно для покупки транзисторов распространенных, с большими возможностями выбора: в корпусах ТО-220, ТО-126, ТО-92;

- использование малораспространенных корпусов SOT-223 (до 2.52мм) и SOT-89 (до 2.52мм). Однако высоковольтных транзисторов в данных корпусах не существует - разрабатываемый в будущих моделях тест на пробой реализовать не удастся;

- попытка разместить транзисторы только сверху за счет разницы по высоте ножек не дала необходимого результата.

Именно при практической сборке становится ясно, что отказ от переходников критично увеличивает габариты устройства за счет проводов, разъемов и разветвителей контактов (их высокая концентрация в одном месте).

В конечном счете, устройство обрастет таким количеством проводов, что припаивать их будет все проблематичнее. Вывод: лучше иметь дополнительные расходы на провода и разъемы для создания переходников - в долгосрочной перспективе и при большом количестве разъемов. Количество пайки резко увеличивается - однако появляется возможность разнесения разъемов в пространстве (например, отнести ответные части в цех на перепайку без самого прибора).

Если оценивать степень сложности пайки компонентов, то, субъективно, самое сложное – пайка ответных разъемов для жгутов как рутинная сверхточная работа с мелкими деталями. Была предпринята попытка объединения модуля №3 и модуля №4, разработав светодиодную панель вместе с расширителем для ответных разъемов – успехом не увенчалась.

Итоговая принципиальная схема устройства показана на рисунке, новые компоненты включены в перечень Приложения Б.

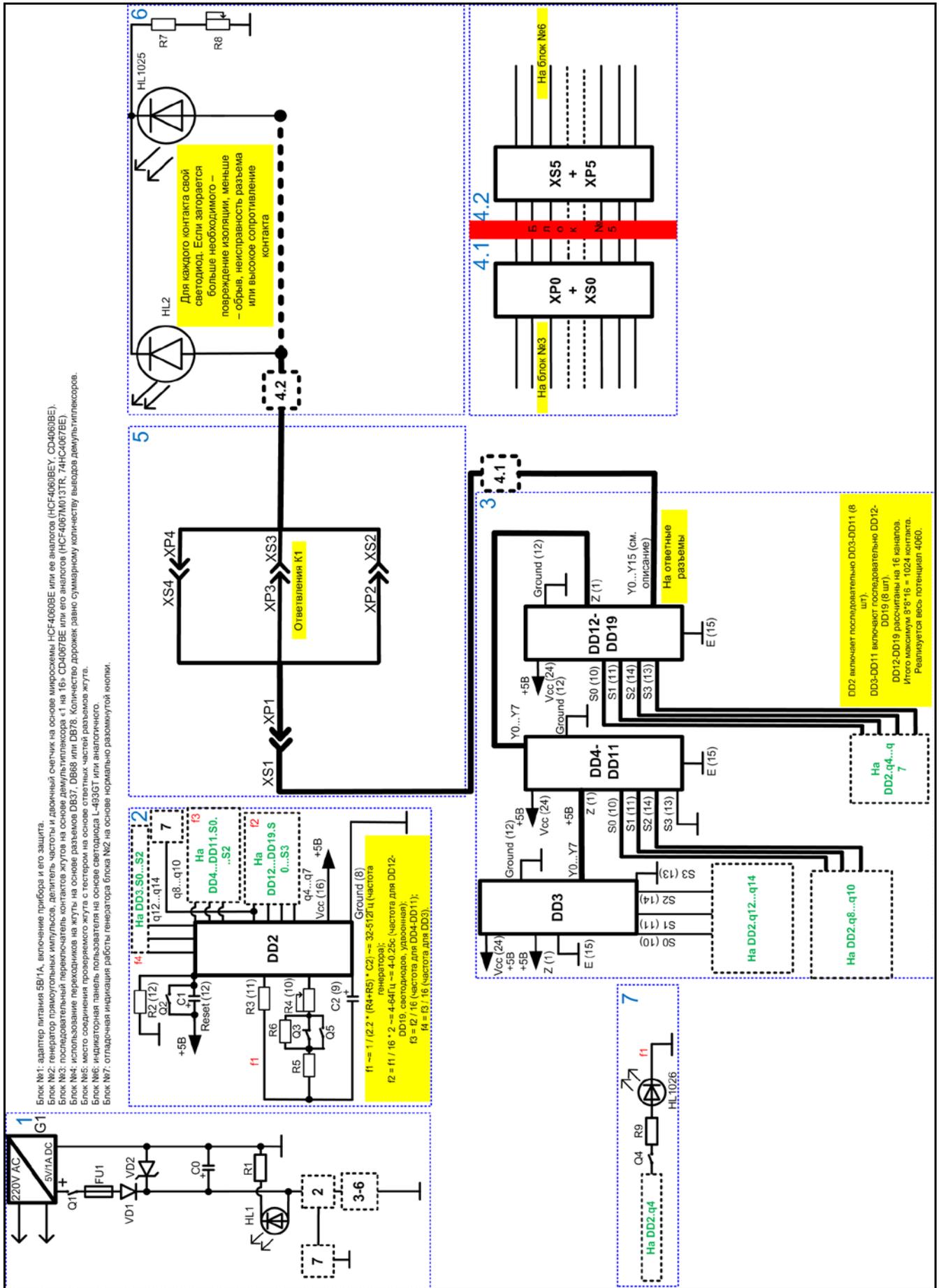


Рисунок 3.1.2. Окончательная принципиальная схема, УТЖ-1024-С-03.

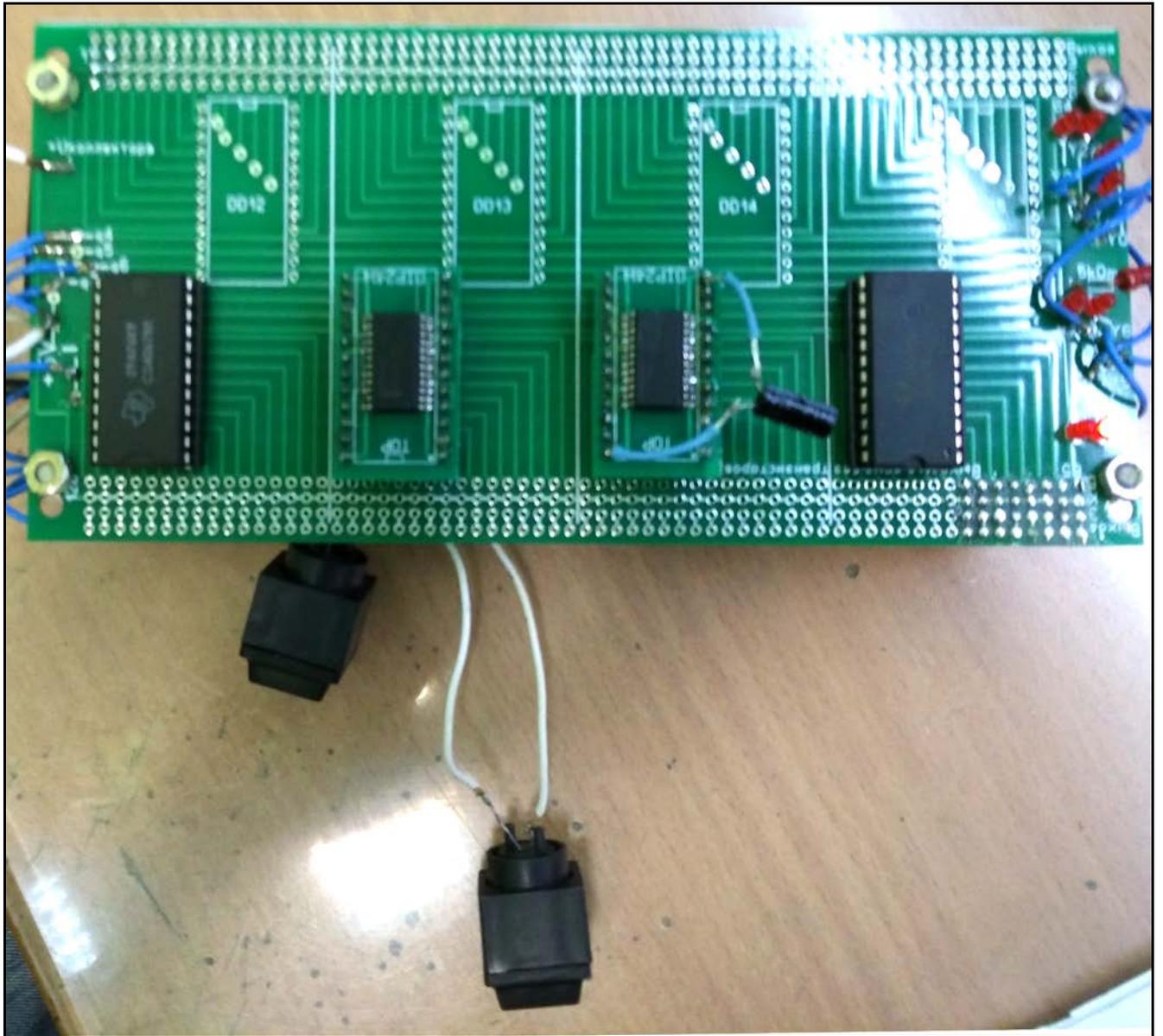


Рисунок 3.1.3. Внешний вид УТЖ-96-Ч-03 (первые 2 модуля). На модуле №2 виден диагностический функционал (приход сигнала с первого модуля – на какой именно демультиплексор). Также показаны переходники для микросхемы 4067 SOIC24W -> DIP-24W [83], разработанные с целью экономии на микросхемах 4067.

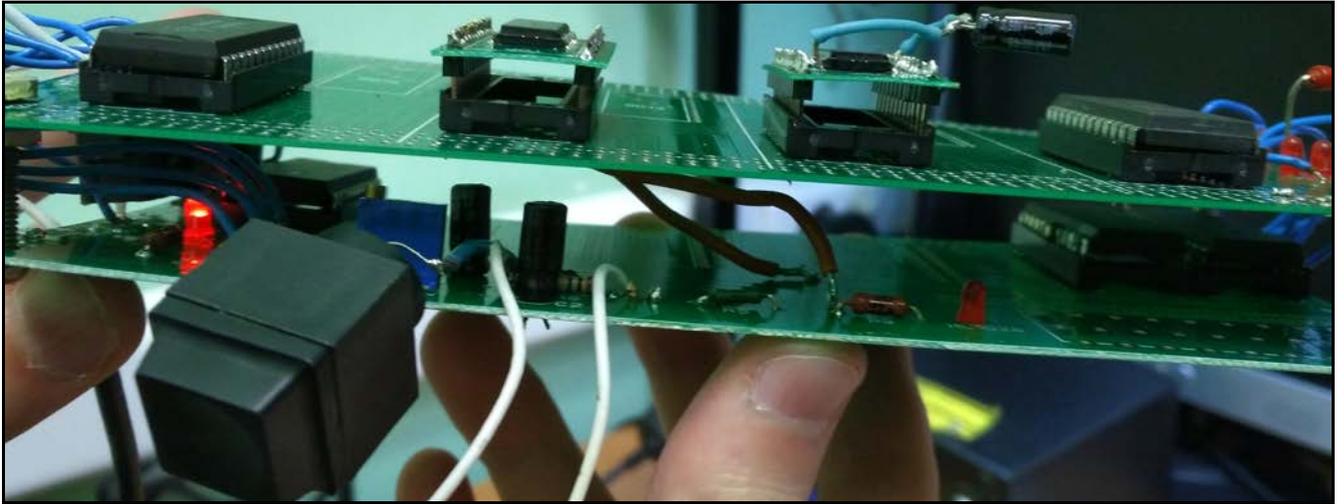


Рисунок 3.1.4. Внешний вид УТЖ-96-Ч-03 (первые 2 модуля, оценка высоты конструкции).
Можно ниже.

3.2. Описание алгоритмов работы ПО «Уникализатор сопротивлений v.1.0» как оценка корректности его работы.

3.2.1. Общее описание ПО, моделирование и оценка первых результатов.

Концепция использования одного канала анализатора сигнала сразу для нескольких проводников жгута была реализована путем представления тестируемых проводников жгута как параллельных сопротивлений с последовательным шунтом. Комбинация сопротивлений отражает подключенные проводники, в напряжении на шунте закодирована информация именно о текущей комбинации. Сравнивая напряжение на шунте с заранее известным эталоном, прибором тестирования жгутов выносится вердикт о неисправности проводников (см. рисунок 2.5.1).

Для реализации концепции требуется знать номиналы последовательных сопротивлений, шунта и подаваемого напряжения. Они, в свою очередь, зависят от точности цифрового анализатора сигналов. Это было учтено при разработке ПО.

На основе введенных пользователем сопротивлений $R_1 \dots R_N$ ПО производило, по пунктам:

- п.1.1. Оценку возможности использования введенных пользователем сопротивлений для прибора тестирования жгутов (логическая безразмерная величина);
- п.1.2. Оценку оптимальности их подбора по критерию минимальной разницы между параллельными соединениями проводников (в процентах);
- п.1.3. Расчет измерительной точности шунта как способности изменения напряжения на шунте при изменении комбинации сопротивлений (безразмерная величина);
- п.1.4. Расчет оптимального номинала шунта $R_{ш}$ по критерию максимальной измерительной точности шунта (в омах);
- п.1.5. Расчет минимального напряжения питания $U_{пит}$, при котором анализатор сигналов

способен принять корректное для декодировки напряжение шунта (в вольтах). На этот параметр влияет точность анализатора сигналов, выражаемая в знаках после запятой и задаваемая пользователем;

п.1.6. Расчет минимальной точности анализатора сигналов как способности различать напряжение на шунте (в знаках после запятой). На этот параметр влияет напряжение источника питания, выражаемое в вольтах и задаваемое пользователем.

Пункт 1.1 отвечает за отсутствие ситуаций, когда разные комбинации проводников приводят к одинаковому напряжению на шунте. Пункты 1.2-1.4 являются промежуточными и направлены на уменьшение величин пунктов 1.5/1.6. Пункты 1.5 и 1.6 связаны друг с другом, один из них должен быть заранее известен пользователю.

Конечный итог расчетов:

- известны сопротивления $R_1 \dots R_N$ и $R_{ш}$;
- известно минимальное напряжение питания, при котором выбранный анализатор сигналов сможет корректно декодировать напряжение на шунте;
- известна минимальная точность анализатора сигналов, при котором выбранное напряжение позволит корректно декодировать напряжение на шунте;
- на основе предыдущих результатов пользователь выносит решение о целесообразности использования введенных им сопротивлений $R_1 \dots R_N$, а также их количества N . Чем больше проводников на канал, тем выше требуемая точность цифрового анализатора сигналов.

При моделировании и макетировании обнаружилась проблема функционирования ПО: расчетный шунт оказался неоптимальным, теоретическое минимальное напряжение источника питания должно быть в несколько раз ниже расчетного. Величины, генерируемые ПО, использовались при моделировании в National Instruments Multisim v.14.0 [72] и частично в Microsoft Excel.

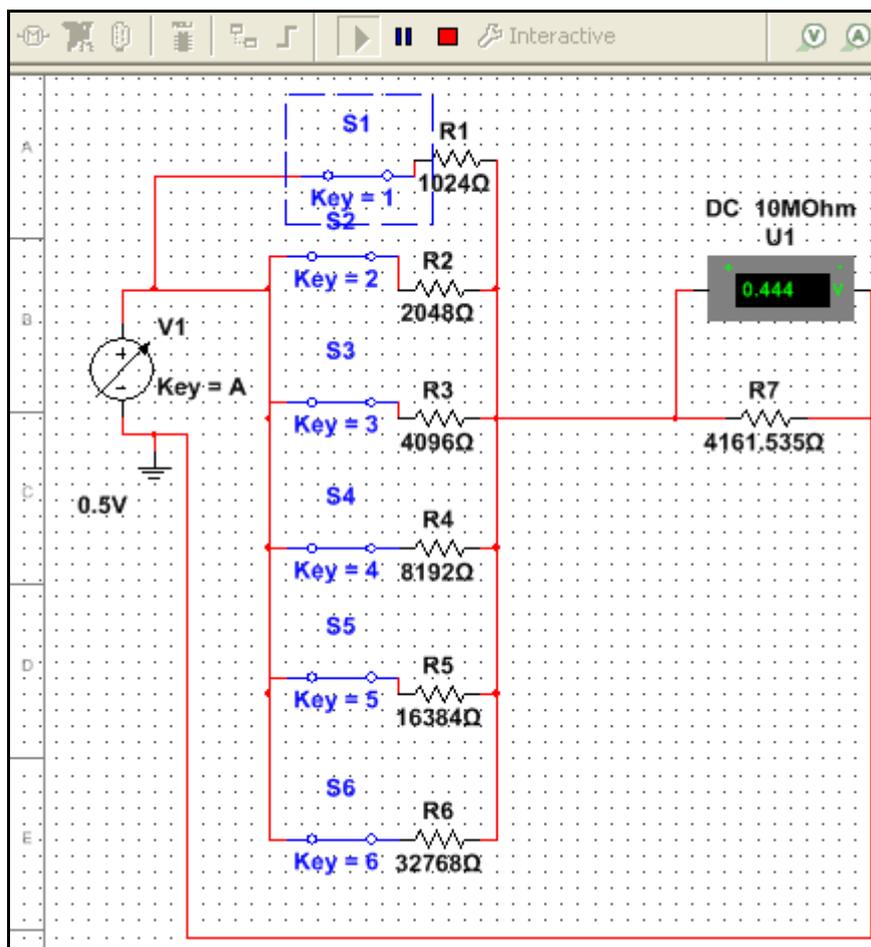


Рисунок 3.2.1.1. Моделирование в National Instruments Multisim v.14.0.

Таблица 3.2.1.1. Результаты моделирования при разных напряжениях.

Комбинация S6...S1 / напряжение	5	4.9	4	3.5	3	1	0.5
000001	4.012	3.932	3.21	2.809	2.407	0.802	0.401
000010	3.35	3.283	2.68	2.345	2.01	0.67	0.335
000011	4.295	4.209	3.436	3.007	2.577	0.859	0.43
000100	2.519	2.469	2.015	1.764	1.512	0.504	0.252
000101	4.177	4.094	3.342	2.924	2.506	0.835	0.418
000110	3.764	3.689	3.012	2.635	2.259	0.753	0.376
000111	4.383	4.296	3.507	3.068	2.63	0.877	0.438
001000	1.684	1.65	1.347	1.179	1.01	0.337	0.168
001001	4.102	4.02	3.282	2.872	2.461	0.82	0.41
001010	3.587	3.515	2.87	2.511	2.152	0.717	0.359
001011	4.342	4.255	3.474	3.04	2.605	0.868	0.434
001100	3.019	2.958	2.415	2.113	1.811	0.604	0.302
001101	4.241	4.156	3.393	2.969	2.544	0.848	0.424

001110	3.902	3.824	3.122	2.732	2.341	0.78	0.39
001111	4.42	4.331	3.536	3.094	2.652	0.884	0.442
010000	1.012	0.992	0.81	0.709	0.607	0.202	0.101
010001	4.059	3.978	3.248	2.842	2.436	0.812	0.406
010010	3.478	3.408	2.782	2.435	2.087	0.696	0.348
010011	4.319	4.233	3.456	3.024	2.592	0.864	0.432
010100	2.797	2.741	2.237	1.958	1.678	0.559	0.28
010101	4.21	4.126	3.248	2.947	2.526	0.842	0.421
010110	3.837	3.761	3.07	2.686	2.302	0.767	0.384
010111	4.402	4.314	3.522	3.081	2.641	0.88	0.44
011000	2.162	2.119	1.729	1.513	1.297	0.432	0.216
011001	4.141	4.059	3.313	2.899	2.485	0.828	0.414
011010	3.682	3.608	2.945	2.577	2.209	0.736	0.368
011011	4.363	4.276	3.491	3.054	2.618	0.873	0.436
011100	3.2	3.136	2.56	2.24	1.92	0.64	0.32
011101	4.269	4.184	3.415	2.988	2.561	0.854	0.427
011110	3.96	3.881	3.168	2.772	2.376	0.792	0.396
011111	4.436	4.348	3.549	3.105	2.662	0.887	0.444
100000	0.563	0.552	0.451	0.394	0.338	0.113	0.056
100001	4.036	3.956	3.229	2.826	2.422	0.807	0.404
100010	3.417	3.348	2.733	2.392	2.05	0.683	0.342
100011	4.308	4.221	3.446	3.015	2.585	0.862	0.431
100100	2.666	2.613	2.133	1.866	1.6	0.533	0.267
100101	4.194	4.11	3.355	2.936	2.517	0.839	0.419
100110	3.802	3.726	3.042	2.661	2.281	0.76	0.38
100111	4.393	4.305	3.514	3.075	2.636	0.879	0.439
101000	1.941	1.903	1.553	1.359	1.165	0.388	0.194
101001	4.122	4.04	3.298	2.886	2.473	0.824	0.412
101010	3.636	3.563	2.909	2.545	2.182	0.727	0.364
101011	4.353	4.266	3.482	3.047	2.612	0.871	0.435
101100	3.113	3.051	2.491	2.179	1.868	0.623	0.311
101101	4.255	4.17	3.404	2.979	2.553	0.851	0.426
101110	3.932	3.853	3.146	2.752	2.359	0.786	0.393
101111	4.428	4.34	3.543	3.1	2.657	0.886	0.443
110000	1.379	1.351	1.103	0.965	0.827	0.276	0.138
110001	4.081	4	3.265	2.857	2.449	0.816	0.408
110010	3.535	3.464	2.828	2.474	2.121	0.707	0.353
110011	1.379	4.244	3.465	3.032	2.599	0.866	0.433
110100	2.914	2.855	2.331	2.039	1.748	0.583	0.291

110101	4.226	4.141	3.381	2.958	2.536	0.845	0.423
110110	3.871	3.793	3.097	2.709	2.322	0.774	0.387
110111	4.411	4.323	3.529	3.088	2.647	0.882	0.441
111000	2.353	2.306	1.882	1.647	1.412	0.471	0.235
111001	4.16	4.077	3.328	2.912	2.496	0.832	0.416
111010	3.724	3.65	2.98	2.607	2.235	0.745	0.372
111011	4.374	4.286	3.499	3.062	2.624	0.875	0.437
111100	3.278	3.213	2.623	2.295	1.967	0.656	0.328
111101	4.282	4.197	3.426	2.998	2.569	0.856	0.428
111110	3.987	3.907	3.19	2.791	2.392	0.797	0.399
111111	4.444	4.355	3.555	3.111	2.667	0.889	0.444
Δ11111-01111	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.002	0.000

Моделирование в Multisim показало несоответствия:

- минимальная разница напряжений на шунте возникает не обязательно между самыми крайними комбинациями сопротивлений (111111 и 011111), а может быть заключена и между промежуточными;
- минимальное напряжение для достижения выставленной точности 3 знака составляет не 4.961В, а [0.5;1)В;
- из пунктов выше следует: расчет оптимального шунта не корректен, что приводит и к некорректной оценке расчетного минимального напряжения;
- перерасчет указанных величин в Microsoft Excel показал превосходство результатов Multisim над Уникализатором сопротивлений, показав те же ошибки, – ПО нуждается в доработке.

3.2.2. Математическая модель, описывающая расчеты необходимых величин.

При создании математического аппарата было решено не объединять формулы в одну громоздкую, оставив их в тривиальном виде для улучшения восприятия.

Расчет пунктов 1.1-1.2.

Номиналы сопротивлений должны определяться, исходя из формулы расчета параллельного соединения проводников (закон Ома, первое и второе правила Кирхгофа). Учитываются только проводники под напряжением:

$$R_{нар.k} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}}, k \in [1, 2^i], N \in \mathbb{Z} \quad (3.2.2.1),$$

где k – текущая комбинация соединений проводников,

i – текущий проводник,

N – количество проводников.

Упорядочивание параллельных соединений по возрастанию:

$$R_{нар.1} < R_{нар.2} < \dots < R_{нар.m}, m \in [1, 2^i] \quad (3.2.2.2),$$

где m – текущая комбинация параллельных соединений.

Расчет минимального частного между всеми параллельными соединениями в процентах, результат всегда < 1 :

$$\delta_{R_{нар.мин}} = \min_{i \in [1, N]} \left\{ \frac{R_{нар.i}}{R_{нар.i+1}} \right\} \quad (3.2.2.3),$$

где i – текущая комбинация параллельных соединений,

N – количество проводников.

Расчет пунктов 1.3-1.6.

Расчет всех возможных параллельных соединений: по формуле (3.2.2.1).

Упорядочивание параллельных соединений по возрастанию: по формуле (3.2.2.2).

Расчет минимального частного между всеми параллельными соединениями в процентах, результат всегда < 1 : по формуле (3.2.2.3);

Расчет долей напряжения на текущем шунте для всех соединений резисторов с использованием итерационного метода последовательных приближений:

$$\delta_{U_{шунта.i}} = \frac{R_{шунта}}{R_{нар.i} + R_{шунта}} \quad (3.2.2.4),$$

где i – текущая комбинация параллельных соединений.

Расчет разниц между параллельными сопротивлениями с учетом шунта, в процентах,

результат всегда <1 :

$$\delta_{R_{нар.}+R_{шунта}^i} = 1 - \frac{R_{нар.i} + R_{шунта}}{R_{нар.j} + R_{шунта}}; i, j \in [1, N], i < j \quad (3.2.2.5),$$

где i – текущая комбинация параллельных соединений,

j – прочие комбинации параллельных соединений.

Расчет измерительной точности текущего шунта как максимального произведения минимального частного между долями всех параллельных соединений и доли напряжения на нем:

$$\delta_{изм.шунта_{макс}} = \delta_{R_{нар.+шунт}} \cdot \delta_{U_{шунта}} \quad (3.2.2.6).$$

Циклический поиск оптимального шунта по критерию наибольшей измерительной точности итерационным методом последовательных приближений:

$$R_{шунта} = f(\delta_{шунта_{макс}}) \quad (3.2.2.7).$$

Определение минимального напряжения для выставленной пользователем точности цифрового анализатора:

$$U_{пит.мин} = \frac{1}{\delta_{изм.шунта_{макс}} \cdot 10^T}, T \in \mathbb{N} \quad (3.2.2.8),$$

где T – количество знаков после запятой в точности цифрового анализатора сигналов.

Расчет минимальной точности цифрового анализатора для выставленного пользователем напряжения источника питания (с округлением в большую сторону):

$$T_{мин} = \left\lceil \lg \left(\frac{1}{U_{пит} \cdot \delta_{изм.шунта_{макс}}} \right) \right\rceil, T \in \mathbb{N} \quad (3.2.2.9).$$

Вынесение вердикта о целесообразности использования данных номиналов резисторов, напряжения источника питания и точности цифрового анализатора.

3.2.3. Описание алгоритмов работы ПО.

Реализация пунктов 1.1-1.2:

- подготовка данных: пользователь самостоятельно создает файл .XLS или .CSV со строками сопротивлений (техническое ограничение – до 24 номиналов в строке);

- задача: расчет минимальной разницы в процентах между всеми возможными комбинациями параллельного соединения данных сопротивлений – как способность цифрового анализатора к различию данных комбинаций;

- решение: программа рассчитывает по данным пользователя необходимую величину;

- оценка результата: больше процент – лучше;

- анализ результатов: чем больше сопротивлений – тем меньше процент;

- алгоритм расчетов ПО представлен на рисунке 3.2.3.1:

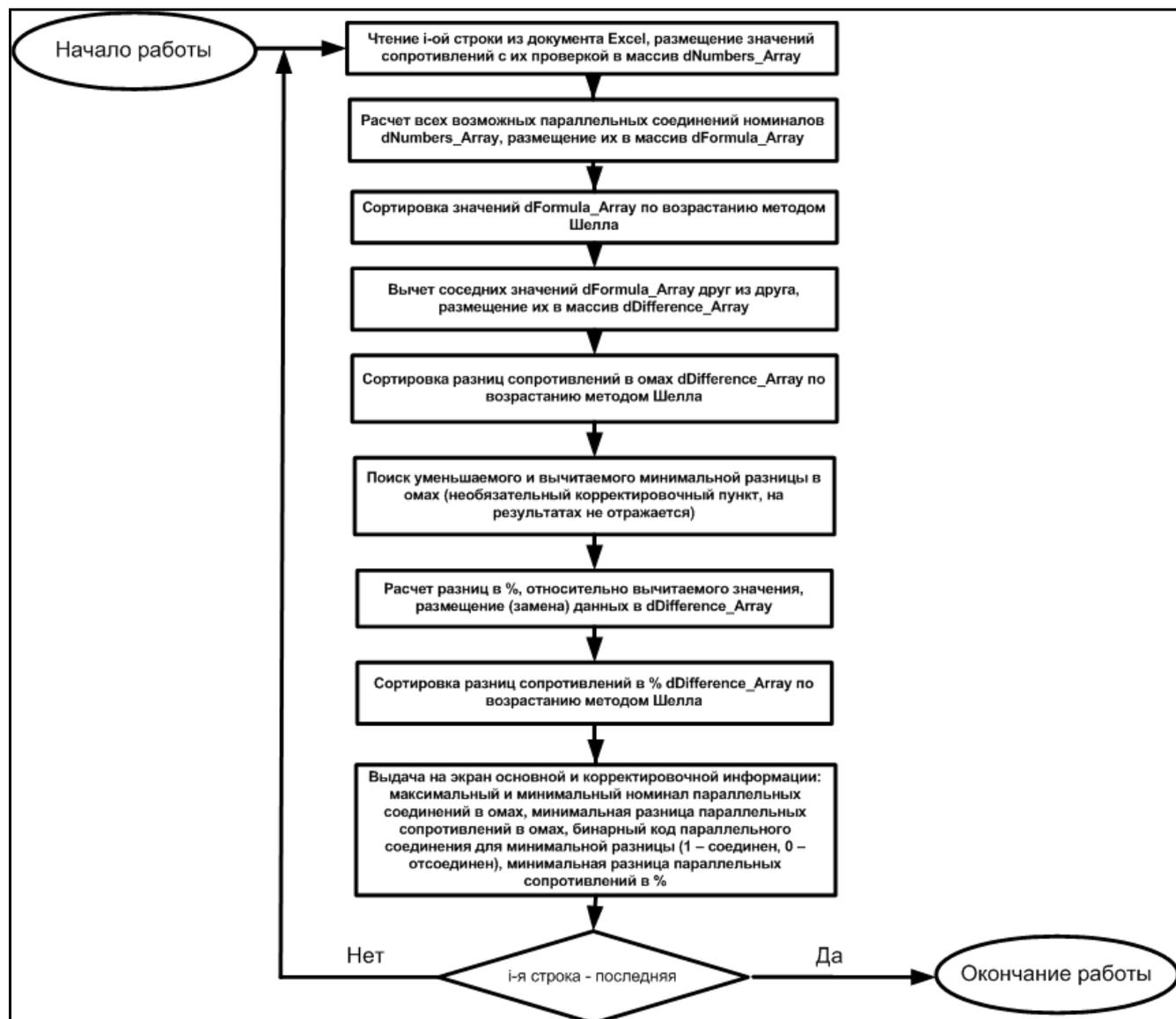


Рисунок 3.2.3.1. Блок-схема алгоритмов проверки строк сопротивлений.

Реализация пунктов 1.3-1.6:

- подготовка данных: строка сопротивлений с наибольшим процентом разницы между всеми возможными комбинациями параллельного соединения данных сопротивлений (лучший результат расчетов первого режима);

- задача: расчет оптимального шунта по критерию перераспределения напряжений по всем сопротивлениям цепи, расчет минимальной точности цифрового анализатора в знаках после запятой (если известно напряжение источника питания), расчет минимального напряжения источника питания (если известна точность цифрового анализатора), оценка совместимости расчетных величин с введенными данными пользователем;

- решение: программа рассчитывает необходимые величины;

- оценка результата: выше напряжение – лучше, меньше точность – лучше, номинал шунта не требует анализа;

- анализ результатов: чем больше сопротивлений – тем большая точность анализатора сигналов требуется;

- алгоритм расчетов ПО представлен на рисунке 3.2.3.2:

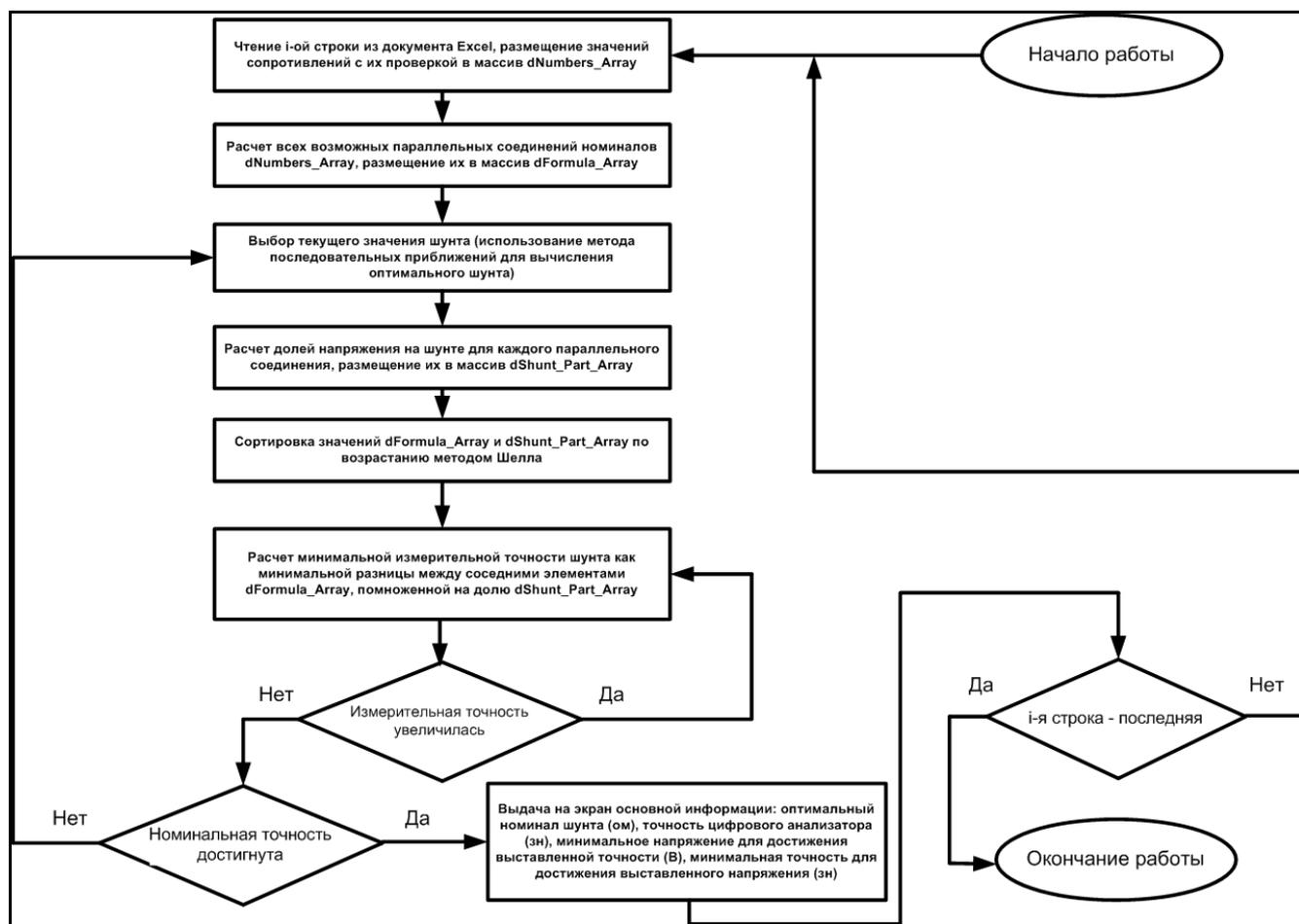


Рисунок 3.2.3.2. Блок-схема алгоритмов расчета шунта, минимальных точности цифрового анализатора, напряжения источника питания.

3.2.4. Тестирование новой версии ПО (математической модели и алгоритмов) на соответствие реальному миру.

3.2.4.1. Моделирование.

Исправление ошибок привело к изменению данных в таблицах 2.5.1-2.5.2. За счет более оптимального шунта по номиналу сопротивления и распределению напряжений на нем – удалось уменьшить требуемую точность цифрового анализатора для одного и того же количества подключаемых проводников.

Таблица 3.2.4.1.1. Результаты вычисления минимальных разниц сопротивлений между группами проводников как способности наиболее точно отличать проводники друг от друга. Серым показаны предыдущие, ошибочные величины, как показатель повышения точности вычислений.

Комбинация сопротивлений, Ом	Кол-во элементов, шт	Мин. Разница между паралл. Соед., %	Точность анализатора при 1В, зн	Измерит. Точность шунта, б/размерн.	Оптимальный шунт, Ом
2-16777216	24	$5.96 \cdot 10^{-6}$	(15) 7.827 (8)	$(3.55 \cdot 10^{-15})$ $1.49 \cdot 10^{-8}$	(4078.357) 1
2-8388608	23	$1.192 \cdot 10^{-5}$	(14) 7.526 (8)	$(1.42 \cdot 10^{-14})$ $2.98 \cdot 10^{-8}$	(2894.411) 1.001
2-4194304	22	$2.384 \cdot 10^{-5}$	(14) 7.225 (8)	$(5.678 \cdot 10^{-14})$ $5.96 \cdot 10^{-8}$	(2045.212) 1
2-2097152	21	$4.768 \cdot 10^{-5}$	(13) 6.924 (7)	$(2.27 \cdot 10^{-13})$ $1.192 \cdot 10^{-7}$	(1447.289) 1.001
2-1048576	20	$9.536 \cdot 10^{-5}$	(13) 6.623 (7)	$(9.077 \cdot 10^{-13})$ $2.384 \cdot 10^{-7}$	(1023.931) 1
2-524288	19	$1.907 \cdot 10^{-4}$	(12) 6.322 (7)	$(3.627 \cdot 10^{-12})$ $4.768 \cdot 10^{-7}$	(724.03) 1
2-262144	18	$3.814 \cdot 10^{-4}$	(11) 6,021 (7)	$(1.449 \cdot 10^{-11})$ $9.537 \cdot 10^{-7}$	(511.802) 1.001
2-131072	17	$7.629 \cdot 10^{-4}$	(11) 5,72 (6)	$(5.788 \cdot 10^{-11})$ $1.907 \cdot 10^{-6}$	(362.039) 1
2-65536	16	$1.525 \cdot 10^{-3}$	(10) 5.419 (6)	$(2.31 \cdot 10^{-10})$ $3.815 \cdot 10^{-6}$	(255.581) 1.001
2-32768	15	$3.051 \cdot 10^{-3}$	(10) 5.117 (6)	$(9.212 \cdot 10^{-10})$ $7.63 \cdot 10^{-6}$	(181.024) 1
2-16384	14	$6.103 \cdot 10^{-3}$	(9) 4.816 (5)	$(3.668 \cdot 10^{-9})$	(127.984) 1.001

				$1.526 \cdot 10^{-5}$	
2-8192	13	$1.22 \cdot 10^{-2}$	(8) 4.515 (5)	$(1.458 \cdot 10^{-8})$ $3.052 \cdot 10^{-5}$	(90.521) 1.001
2-4096	12	$2.442 \cdot 10^{-2}$	(8) 4.214 (5)	$(5.782 \cdot 10^{-8})$ $6.105 \cdot 10^{-5}$	(64.016) 1.001
2-2048	11	$4.885 \cdot 10^{-2}$	(7) 3.913 (4)	$(2.285 \cdot 10^{-7})$ $1.221 \cdot 10^{-4}$	(45.278) 1.001
2-1024	10	0.097	(7) 3.612 (4)	$(8.993 \cdot 10^{-7})$ $2.444 \cdot 10^{-4}$	(32.032) 1.002
2-512	9	0.195	(6) 3.31 (4)	$(3.518 \cdot 10^{-6})$ $4.892 \cdot 10^{-4}$	(22.672) 1.005
2-256	8	0.392	(5) 3.009 (4)	$(1.366 \cdot 10^{-5})$ $9.804 \cdot 10^{-4}$	(16.063) 1.008
2-128	7	0.787	(5) 2.706 (3)	$(5.268 \cdot 10^{-5})$ $1.969 \cdot 10^{-3}$	(11.404) 1.017
2-64	6	1.587	(4) 2.401 (3)	$(2.015 \cdot 10^{-4})$ $3.968 \cdot 10^{-3}$	(8.129) 1.033
2-32	5	3.225	(4) 2.093 (3)	$(7.688 \cdot 10^{-4})$ $8.065 \cdot 10^{-3}$	(5.843) 1.067
2-16	4	6.666	(3) 1.778 (2)	$(2.965 \cdot 10^{-3})$ $1.666 \cdot 10^{-2}$	(4.277) 1.143
2-8	3	14.285	(2) 1.447 (2)	$(1.2 \cdot 10^{-2})$ $3.571 \cdot 10^{-2}$	(3.266) 1.334
2-4	2	33.333	(2) 1.079 (2)	$(5.719 \cdot 10^{-2})$ $8.33 \cdot 10^{-2}$	(2.829) 2.001

Таблица 3.2.4.1.2. Результаты вычисления минимальных разниц сопротивлений между группами проводников различных двоичных номиналов. Серым показаны предыдущие, ошибочные величины, как показатель повышения точности вычислений.

Комбинация сопротивлений, Ом	Кол-во элементов, шт	Мин. Разница между паралл. соед., %	Точность анализатора при 1В, зн	Измерит. точность шунта, б/размерн.	Оптимальный шунт, Ом
-------------------------------------	-----------------------------	--	--	--	-----------------------------

2-1024	10	(0.097) 0.098	(7) 3.612 (4)	$(8.993 \cdot 10^{-7})$ $2.444 \cdot 10^{-4}$	(32.032) 1.002
2048-1048576	10	(0.097) 0.098	(7) 3.612 (4)	$(8.993 \cdot 10^{-7})$ $2.444 \cdot 10^{-4}$	(32800.043) 1026.005
32-16384	10	(0.097) 0.098	(7) 3.612 (4)	$(8.993 \cdot 10^{-7})$ $2.444 \cdot 10^{-4}$	(512.501) 16.032
32768-16777216	10	(0.097) 0.098	(7) 3.612 (4)	$(8.993 \cdot 10^{-7})$ $2.444 \cdot 10^{-4}$	(524800.684) 16416.063

В Приложении В указаны таблицы величин минимального напряжения для выставленной точности цифрового анализатора, моделируемые в Multisim.

Выводы по таблицам:

- повторяющихся номиналов напряжений не наблюдается, минимальная разница напряжений в пределах одного столбца составляет 0.001В – подходит для выставленной точности 3 знака после запятой и является близкой к ситуации, когда понижение напряжения приведет к повторяющимся номиналам напряжений;

- величина минимальной разницы напряжений 0.001В подтверждает оптимальность расчета сопротивления шунта;

- для двоичных комбинаций сопротивлений минимальное напряжение является самым малым (при равном числе сопротивлений) – было доказано теперь дважды (прошлый раз – при разработке ПО версии 1.0). На примере комбинации «1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768, 65536» - всего 0.508В для 3 знаков после запятой;

- для двоичных комбинаций сопротивлений >4 элементов максимальное напряжение на шунте равно 1/3 напряжения источника питания, 4 элемента и меньше – до 1/2 напряжения источника питания.

На примере платы Advantech PCI-1713U, у которой точность составляет 2 знака при опорном напряжении $\pm 0.625\text{В}$ [73]: каждый ее канал может анализировать 4 проводника жгута. При этом позволительно использовать опорное напряжение [0;+1.25В) и получить возможность анализа уже 5 проводников, согласно расчетам ПО.

Тестирование ПО с разными номиналами резисторов показывает:

- минимальное напряжение источника питания увеличивается и с увеличением числа резисторов, и с увеличением разницы в омах между этими резисторами, и с выбранной системой счисления резисторов;

- наиболее оптимальной по критерию минимального напряжения источника питания является двоичная система счисления вида 2^NОм , последовательный рост сопротивлений вида

$2^m, 2^{m+1}, 2^{m+2}, 2^{m+3} \dots 2^N$: напряжение зависит только от числа резисторов. То есть, фиксировано для любого m при постоянном N (и зависит только от выбранной точности анализатора сигналов пользователем). При выбранной точности уменьшение на одно сопротивление уменьшает минимальное напряжение источника питания примерно вдвое.

3.2.4.2. Макетирование.

Макетирование производилось на макетной плате, с нестабилизированным регулируемым источником питания, резисторами с погрешностью $\pm 10\%$, неточной настройкой потенциометров 3296 с погрешностью $\pm 0.2 \text{ Ом}$, избыточным количеством паечных мест, дешевым мультиметром Ресанта DT830В в роли анализатора сигналов: дополнительные отличия от теоретической принципиальной схемы рисунка 2.5.1 создавались намеренно.

При таких жестких условиях эксплуатации выяснились особенности:

- чтобы приспособить данный стенд к исправной работе, требуется напряжение питания в ~ 2 раза больше расчетного минимального;
- при макетировании нельзя касаться проводников руками и подносить руки к проводам (идут помехи).

Таблица 3.2.4.2. Реальное макетирование резисторов (16, 32, 64, 128, 256, 512) Ом с шунтом 8.259 Ом, напряжением 4.98 В при минимально необходимом 2.52 В.

Мультиметр / Комбинация R	Ресанта DT830В	APPA 505
0 0 0 0 0 1	1.65	1.606
0 0 0 0 1 0	0.98	0.956
0 0 0 0 1 1	2.1	2.069
0 0 0 1 0 0	0.54	0.528
0 0 0 1 0 1	1.89	1.859
0 0 0 1 1 0	1.33	1.303
0 0 0 1 1 1	2.29	2.259
0 0 0 1 0 0 0	0.29	0.283
0 0 0 1 0 0 1	1.77	1.742
0 0 0 1 0 1 0	1.17	1.14
0 0 0 1 0 1 1	2.2	2.173
0 0 0 1 1 0 0	0.77	0.755
0 0 0 1 1 0 1	2	1.973
0 0 0 1 1 1 0	1.49	1.461
0 0 0 1 1 1 1	2.36	2.346
0 0 1 0 0 0 0	0.15	0.144

0010001	1.71	1.677
0010010	1.07	1.05
0010011	2.09	2.122
0010100	0.66	0.643
0010101	1.95	1.917
0010110	1.41	1.385
0010111	2.33	2.304
0011000	0.42	0.411
0011001	1.83	1.804
0011010	1.25	1.227
0011011	2.24	2.217
0011100	0.86	0.86
0011101	2.04	2.024
0011110	1.54	1.533
0011111	2.41	2.386
0100000	0.07	0.073
0100001	1.67	1.644
0100010	1.02	1.002
0100011	2.12	2.098
0100100	0.57	0.588
0100101	1.87	1.889
0100110	1.33	1.343
0100111	2.27	2.28
0101000	0.34	0.348
0101001	1.77	1.773
0101010	1.18	1.183
0101011	2.19	2.193
0101100	0.81	0.809
0101101	1.99	1.999
0101110	1.49	1.497
0101111	2.37	2.366
0110000	0.21	0.213
0110001	1.71	1.712
0110010	1.09	1.093
0110011	2.14	2.146
0110100	0.7	0.701
0110101	1.94	1.944
0110110	1.42	1.423
0110111	2.32	2.324

0 1 1 1 0 0 0	0.47	0.474
0 1 1 1 0 0 1	1.83	1.833
0 1 1 1 0 1 0	1.26	1.266
0 1 1 1 0 1 1	2.23	2.241
0 1 1 1 1 0 0	0.9	0.912
0 1 1 1 1 0 1	2.05	2.05
0 1 1 1 1 1 0	1.56	1.568
0 1 1 1 1 1 1	2.42	2.404

Выводы по макетированию:

- макетирование занимает мало времени – разработчик прибора тестирования жгутов может произвести его самостоятельно и определить свои нюансы при работе с материальными объектами;

- флуктуации напряжения источника питания, погрешности резисторов, повышение сопротивления за счет множества паечных мест – компенсируются увеличением номинального напряжения источника питания. С учетом того, что минимальное напряжение может быть малым ($\leq 0.5V$), увеличение его в 10 раз (с целью достижения напряжения питания большинства микросхем) перекроет эти недостатки полностью.

3.2.5. Заключение. Итоги перепрограммирования.

ПО «Уникализатор сопротивлений v.1.0» было доработано путем коррекции формул и алгоритмов, итоговые варианты которых представлены в подразделах выше. В итоге удалось добиться:

- значительного приближения расчетного минимального напряжения для достижения выставленной точности к моделируемому в Mutlism;

- корректного расчета номинала шунта;

- исправления прочих недостатков вроде неправильных размерностей.

Минимальная разница между падениями напряжения на близких друг к другу номиналах сопротивлений составляет тысячные доли вольта при проверке на разных рядах сопротивлений (моделирование с известной точностью 3 знака после запятой). ПО подошло максимально близко к границе расчетной минимальной разницы между падениями напряжений на резисторах и шунте. Имеет неточность расчета, измеряемую в тысячных долях вольта, - дальнейшая модернизация ПО по критерию повышения точности расчетов не имеет практического смысла.

Данное ПО доработано до версии 1.2 FINAL [74]. Готово к использованию при практической сборке прибора тестирования жгутов по новой концепции проверки одним

каналом анализатора сигналов сразу нескольких проводников, на основании проведенного макетирования и его выводов [82].

3.3. Недоверие программам по виртуальному моделированию схем.

При сборке неудавшегося в разработке прибора УТЖ-50-Ч-01 использовался NPN-транзистор BD237, ввиду его распространенности и доступности. Его практическое тестирование произошло до виртуального моделирования в среде National Instruments Multisim v.14.0. Когда же было решено произвести моделирование для транзистора BDX33C – полученные значения сильно не соответствовали ожиданиям. Было решено смоделировать поведение изученного на практике BD237 и посмотреть расхождения в числах.

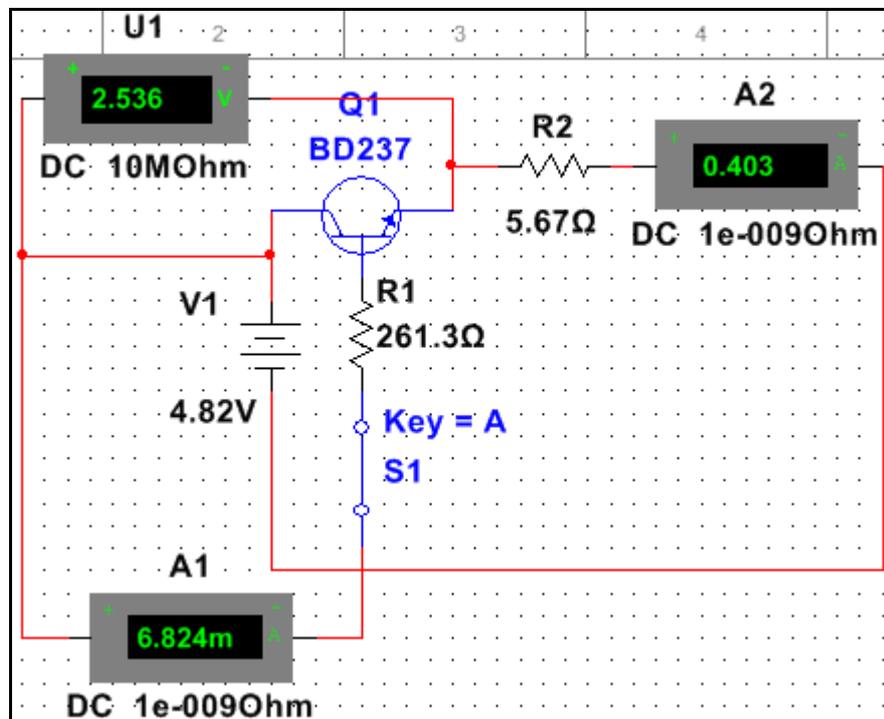


Рисунок 3.3.1. Номиналы вольтметра и амперметров при виртуальном тестировании транзистора BD237 в среде National Instruments Multisim v.14.0.

Номиналы вольтметра и амперметров на рисунке расходятся с реальными значениями до 42.5%. При заявленных практических величинах напряжения источника и сопротивлений:

- расчетный ток через A2 (нагрузка) отличается от реального (0.56A) на -27%;
- расчетный ток через A1 (база BD237) отличается от реального (0.0025A) на +173%;
- расчетное напряжение U1 (коллектор-эмиттер BD237) отличается от реального на +81% (1.4В).

Была выбрана другая программа моделирования схем, однако и там результаты оказались отличны и от реальных, и от полученных с помощью NI Multisim.

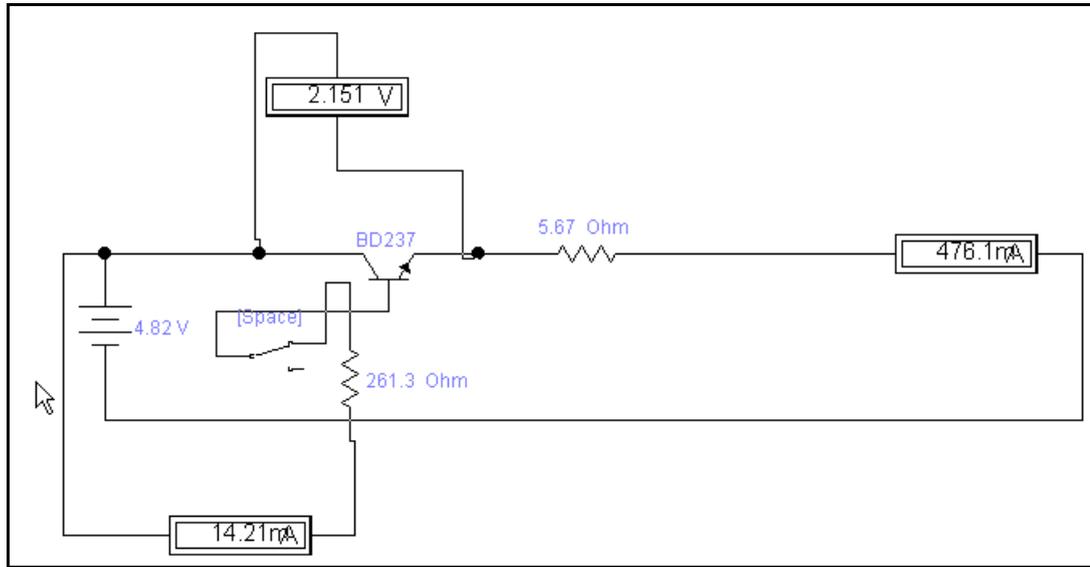


Рисунок 3.3.2. Номиналы вольтметра и амперметров при виртуальном тестировании транзистора BD237 в среде Interactive Image Technologies Electronic Workbench v.5.12.

Далее было решено протестировать большинство известных программ моделирования схем в рамках BD237 – и выяснилось, что все программы моделирования указывают недостоверные номиналы, а также не всегда в своем составе имеют даже распространенные электронные компоненты.

Таблица 3.3.1. Отклонения программ моделирования электронных схем от реальных значений ($I_{нагр} = 0.56A$, $I_B = 0.0025A$, $U_{КЭ} = 1.4B$).

Программа, версия	Наличие BD237 / КТ817	$I_{нагр}$, А	I_B , А	$U_{КЭ}$, В	$\Delta I_{нагр}$, %	ΔI_B , %	$\Delta U_{КЭ}$, %
National Instruments Multisim v.14.0	+	0.403	0.006824	2.536	-27	+173	+81
Interactive Image Technologies Electronic Workbench v.5.12	+	0.4761	0.01421	2.151	-15	+468	+54
PartSim без версии	-	-	-	-	-	-	-
EasyEDA v.4.1.7	-	-	-	-	-	-	-
Proteus Professional SP2 v.8.6 Build 23525	-	-	-	-	-	-	-

OrCAD v.16.60	-	-	-	-	-	-	-
Micro-CAP v.9.0.7.0	+	0.3821	0.00705	2.65	-32	+182	+89
Delta Design v.2.0	n/a*	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
DoCircuits v.0.3.4	-	-	-	-	-	-	-
SymicaDE v.3.1.0.0209	-	-	-	-	-	-	-
Texas Instruments TINA-TI V9 v.9.3.50.40	-	-	-	-	-	-	-
SimOne v.2.8.0	+	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Qucs v.0.0.19	-	-	-	-	-	-	-
NL5 Circuit Simulator v.2.2 Demo	-	-	-	-	-	-	-
LTSpice IV v.4.231	-	-	-	-	-	-	-
McCad-Schematics Plus Lite v.5.2.4	-	-	-	-	-	-	-
Ideal Circuit v.1.2	-	-	-	-	-	-	-
Visionics EDWinXP v.2.10 (Evaluation)	-	-	-	-	-	-	-
Logisim v.2.7.1	-	-	-	-	-	-	-

*n/a – нет доступа к БД компонентов или к запуску процесса моделирования.

Расхождение реальных номиналов в диапазоне [-27;+489%] позволяет считать программы моделирования электронных схем ненадежными и применимыми только для моделирования общей картины работы схем без акцентирования на численных номиналах.

Также отмечаются другие недостоверности (по Multisim):

- при выставлении переменного резистора в 0% амперметр фиксирует больший ток в цепи, чем с удалением данного резистора из схемы;
- пульсации на выходе выпрямителя 220В AC -> 310В DC не соответствуют действительности.

3.4. Тестирование самодельных разветвлений на пробой.

Цель – найти удобное и практичное решение использования ответных частей жгутов без использования разъёмных соединений для подключения этих частей. Здесь сразу показывается оптимальное решение по критериям цены, трудозатрат и удобства.

Токопроводящий слой одностороннего текстолита разрезается горизонтально канцелярским ножом по линейке на дорожки толщиной 3мм. Делается вертикальная прорезь на входе в случае

установки транзисторов. На выходе сверлятся отверстия 1мм на каждой дорожке в несколько рядов, на входе – в один ряд.

На входе дорожек припаиваются контакты эмиттера транзисторов или выходные контакты демультимплексоров, в зависимости от версии собираемого прибора. В эти отверстия вставляются провода ответных частей жгутов. Прорези проходятся повторно канцелярским ножом. В итоге на одной дорожке текстолита можно разместить десятки ответных частей жгутов разных конфигураций.

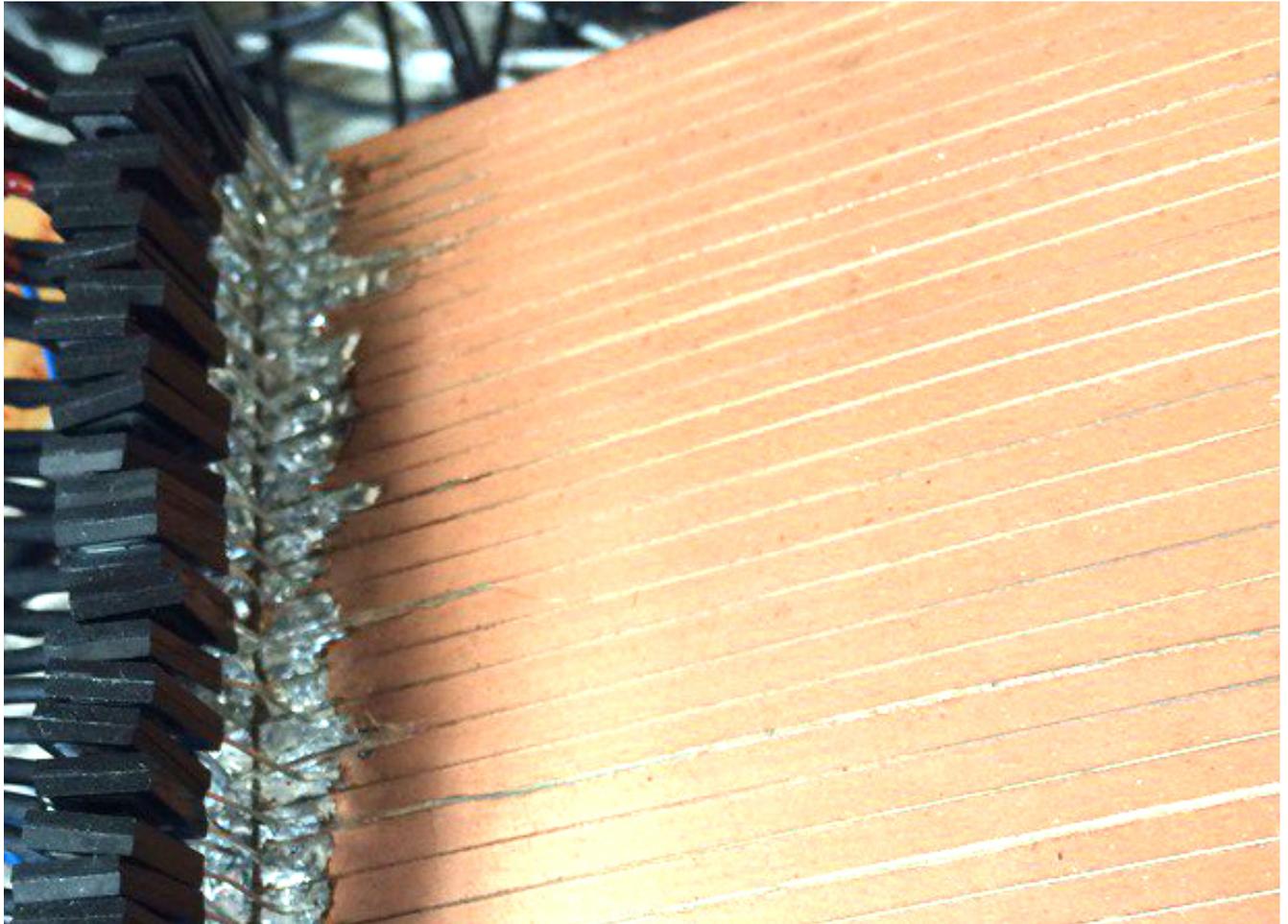


Рисунок 3.4.1. Пример транзисторных дорожек на одностороннем текстолите. Отверстия для транзисторов не сделаны – что приводит к утечке олова при его излишке. Однако повторный проход канцелярским ножом исправляет недостаток. Оптимальный флюс – ЛТИ-120.

Тестирование проводилось ЛАТРом Suntek 500ВА 0-300В с достижением напряжения 260В АС (пик синусоиды 368В) – факта пробоя не произошло. Использование мегаомметра Megger МПТ430 показало: если текстолитные дорожки прорезаны хорошо – корректно выдерживает режим 250В, если плохо – режим 100В. В режиме 500В пробивается в районе 400В. Примерный

диапазон сопротивления: 10МОм – 80ГОм.

Без использования переходников (когда на одной дорожке текстолита расположено несколько проводников разных разъемов) в случае поломки выявить ошибку крайне сложно. Например, если имеется 10 параллельных ответных разъемов, и в одном из них закорачиваются 2 проводника – мультиметр не сможет однозначно показать, в каком именно разьеме находится неисправность.

3.5. Тестирование транзисторов на номинал сопротивления в закрытом состоянии.

Номиналы сопротивления транзисторов в закрытом состоянии в разных книгах, в т.ч. учебных, различно:

- в зарубежном учебном пособии «Радиоэлектроника для «чайников»» сопротивление указывается как высокое, с поправкой на такие мизерные токи утечки, которыми можно пренебречь [75];

- в книге, посвященной устройству тепловоза ТГМ6А, указано: «сопротивление между эмиттером и коллектором велико» [76];

- в сборнике задач Бурбаевой Н.В. фигурирует сопротивление закрытого транзистора 100кОм [77];

- в материале Гусева В.Г. указано сопротивление для закрытых полевых транзисторов как достаточно великое [78];

- в прочих материалах попадает сопротивление не менее 10^8 Ом для полевых транзисторов [79].

Практическое тестирование транзисторов на сопротивление в закрытом состоянии показало надежное обесточивание цепи посредством высокого сопротивления коллектор-эмиттер (более 10^8 Ом). Использовался резистор 10МОм, последовательно подключенный к транзистору КТ837Ж [80]. В закрытом состоянии падение напряжения источника питания 4.98В на резисторе составило 8.9мВ – что составляет $R_{кэ} = 5585$ МОм транзистора. Это послужило началом тестирования большего количества транзисторов.

Таблица 3.5.1. Тестирование транзисторов на сопротивление в закрытом состоянии источником питания 4.98В и резистором CF-100 (С1-4). Номинал токоограничивающего резистора базы влияет на падение напряжения незначительно, в конечном итоге использовался ОМЛТ-2 82Ом.

Название транзистора	Тип	Падение напряжения на резисторе в закрытом состоянии*, мВ	Расчетное $R_{кэ}$, МОм

КТ837Ж	Биполярный, PNP	8.9 на момент закрытия	5585
2Т808А	Биполярный, NPN	15.9 на момент закрытия	3122
BD237	Биполярный, NPN	10-7.9	4559-6294
СЕР7030L	Полевой, N-канал	0.4-(<0.1)	124490-(>497990)
КТ815В	Биполярный, NPN	17.7-16.3	2804-3045
КТ819Б	Биполярный, NPN	280-173	168-278
С2655	Биполярный, NPN	0.7-0.6	71133-82990
КТ818А	Биполярный, PNP	56.7-40.3 (12.2**)	868-1226 (4072**)
7БХ7 (КТ817?)	Биполярный, NPN	18-6.5	2757-7652
5БХ7	Биполярный, NPN	7.5-5	6630-9950
ВДХ33С	Биполярный, NPN	<0.1	>497990
КТ816Г	Биполярный, PNP	0.2-0.1	248990-497990
2N3055	Биполярный, NPN	10.5-8.2	4733-6063
П215ВП	Биполярный, PNP	14.7-13.8	3378-3599
МП102	Биполярный, NPN	1.1-0.8	45263-62240

*момент закрытия и ожидание 10с после закрытия.

**время ожидания – 2 минуты.

Выводы по таблице 3.5.1:

- сопротивление закрытого транзистора любого типа более $1.68 \cdot 10^8 \text{ Ом}$, током утечки можно пренебречь;

- напряжение на резисторе на момент закрытия является максимальным, далее начинает снижаться: транзистор закрывается сильнее с течением времени;

- разные транзисторы закрываются с разными номиналами $R_{кэ}$, однако все величины достаточно велики для того, чтобы пренебрегать протекающими токами через них. Расчеты для таблицы велись с использованием дешевого мультиметра Mastech М-838. Использование дорогого АРРА 505 показало, что падение напряжения на резисторе не выходит за пределы 300мВ – сопротивление произвольно выбранного транзистора всегда будет больше 146МОм (ток менее 0.034мкА).

Доказано, что использование транзисторов приводит к надежному уменьшению тока в цепи после его закрытия. Это позволяет считать транзисторы лучшей заменой реле, т.к. превосходят их по большому количеству параметров, в т.ч. и ценовому. Различие сопротивлений закрытых транзисторов в рамках одной или нескольких моделей может быть учтено при создании средств самоконтроля прибора; однако $I_{кэ}$ даже при 1000В не составит более 6.85мкА.

То есть, транзисторы применимы в приборе тестирования жгутов – как минимум с

напряжением питания 5В.

3.6. Тестирование высоковольтного источника питания 311В/0.1А (подраздел 2.9.1, рисунок 2.9.1).

В подразделе 2.9.1 уже представлена полностью работоспособная схема: была оттестирована в процессе нескольких версий данного источника питания [81].

Нужно решить: стабилизировать ли напряжение с точностью до полувольта, или позволить ему изменяться в некотором диапазоне. По ПУЭ допустимое отклонение напряжения бытовой электросети $\pm 10\%$ - что потенциально изменяет идеальное напряжение 311В в диапазоне [280;342.1]В. Пока решено не использовать стабилизатор напряжения с двойным преобразованием напряжения.

О самом высоковольтном источнике питания стоит добавить, что сделан он на печатной плате стоимостью 32\$ и доставкой 14\$ (5шт.). Предусмотрены все нюансы защиты от взрывов; в случае установки в отдельный корпус – и поражения током.

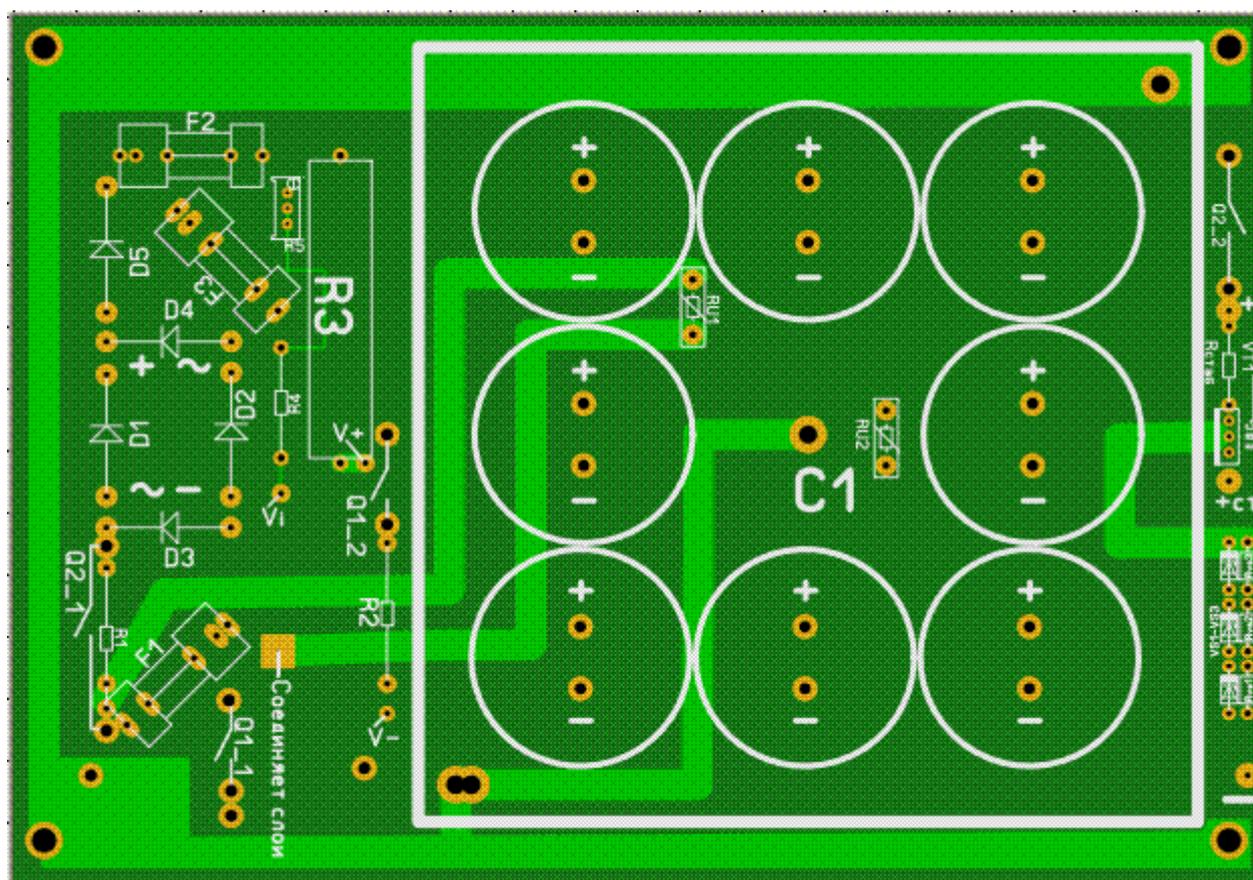


Рисунок 3.9.1. Печатная плата высоковольтного источника питания.



Рисунок 3.9.1. Внешний вид высоковольтного источника питания. Индикатор заряда 90.6% не отрегулирован.

3.7. Сборка прибора УТЖ-1024-А-01 по принципиальной схеме рисунка 2.9.

3.7.1. Повышение точности потенциометров без изменения их модели.

Несмотря на то, что потенциометры серий 3296 дешевы и точны в настройке, было принято решение улучшить точность их настройки путем изменения способа его подключения – и использовать данный способ при создании печатных плат.

Потенциометр имеет 3 вывода, нумерация относительно регулирующего винта:

- соединение двух крайних выводов дает полный постоянный номинал потенциометра;
- соединение первого и второго вывода дает изменение сопротивления в меньшую сторону при повороте винта по часовой стрелке;
- соединение третьего и второго вывода дает изменение сопротивления в большую сторону при повороте винта по часовой стрелке.

Симбиоз данных способов подключения порождает нестандартный способ подключения потенциометров:

- на выводы 1 и 3 подается положительное напряжение, вывод 2 используется как общий контакт. Полярность значения не имеет, указана в качестве примера;

- потенциометр становится составным из двух параллельных резисторов, номинал которых изменяется плавно от 0 до $R/2$ и от $R/2$ до 0 – при вращении регулирующего винта в одну сторону.

Итоги:

- номинальное сопротивление потенциометра уменьшается в 4 раза;
- точность регулировки при нестандартном подключении возрастает в 2-100 раз;
- такой резистор сложнее расстроить, особенно при законтривании регулировочного элемента герметиком.

На примере потенциометра 10кОм построены графики обычного изменения сопротивления и при нестандартном подключении потенциометра.

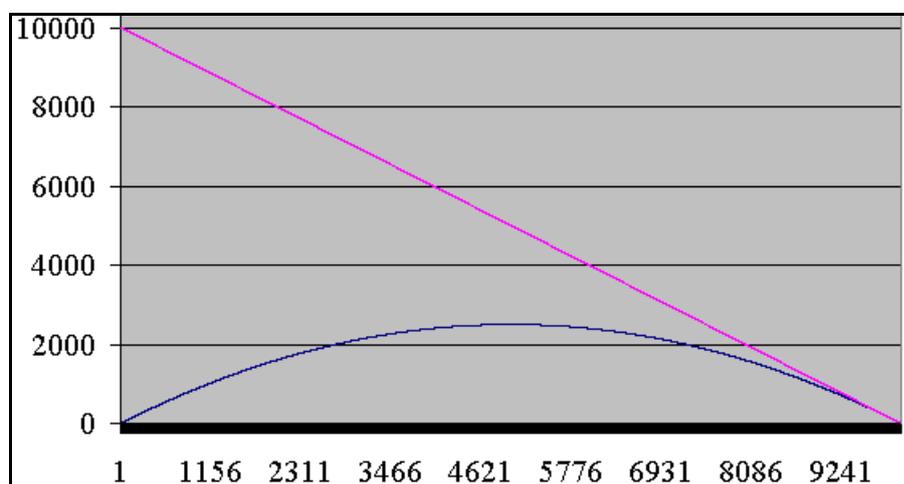


Рисунок 3.7.1. Графики зависимости сопротивления потенциометра от положения регулирующего винта.

3.7.2. Использование делителя напряжения для каналов плат аналогового ввода без пайки платы аналогового ввода.

Потенциометры серий 3296 также удобно использовать в роли делителей напряжения. Данное свойство полезно в случае применения теста на пробой, когда плата аналогового ввода не в состоянии принять примерно половину напряжения пробоя. Половину – т.к. с применением концепции сокращения плат аналогового ввода номинал шунта не превышает номинал наименьшего из резисторов каналов.

Для реализации достаточно первый вывод потенциометра питать напряжением пробоя, последний вывод соединить с общим проводом, средний вывод использовать как регулировщик масштабного коэффициента конкретного канала. Средний вывод соединить с каналом платы аналогового ввода, последний вывод соединен с общим проводом. Максимальное напряжение для потенциометров 3296 составляет 500В – тест на пробой не является угрожающим для дорогостоящей платы аналогового ввода.

Данный подход применяется в подразделе 3.7.3.

3.7.3. Коммутация платы аналогового ввода с генератором и разветвителями сигналов, с кодированием информации.

Оставляя неизменными печатные платы для тестера УТЖ-1024-Ч-03 (модули №1-№3), требуется замена модуля №4 (светодиодная панель) на модуль №5. Печатную плату коммутации анализатора сигналов и генератора сигналов - с учетом концепции автоматизации прибора и сокращения количества анализаторов сигналов подраздела 2.5. Обязательность использования транзисторов в модуле №2 пока опциональна, если во время тестирования не будет показано иное.

С учетом того, что тестовые образцы делаются с расчетом на максимум 128 проводников жгута, данная печатная плата успешно вошла в габариты 180x100мм. Это незначительно отразилось на стоимости ее изготовления (42\$ против 32\$ за 5 размером 180x70мм).

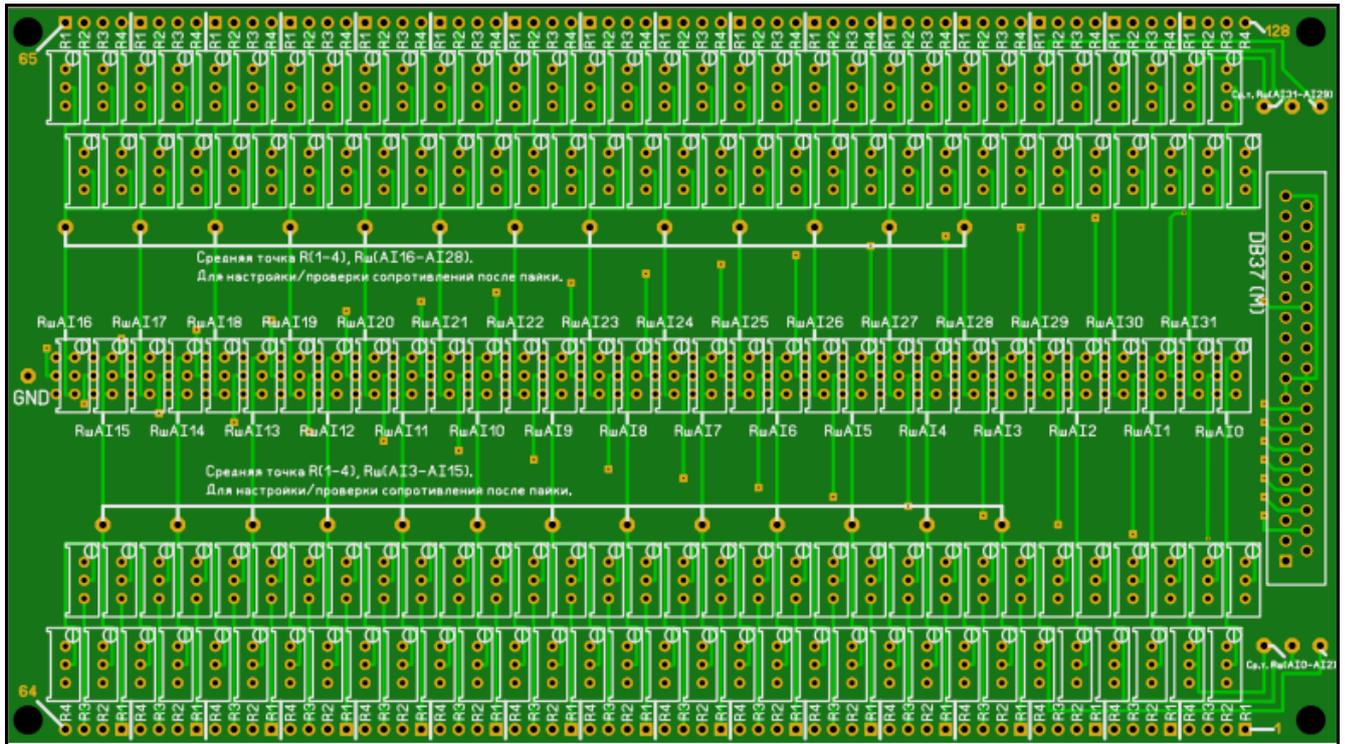


Рисунок 3.7.3.1. Внешний вид модуля №5: плата коммутации анализатора сигналов в составе ЭВМ и генератора сигналов. Резисторы-делители напаяются с обратной стороны платы: модель 3296W специально имеет прорези для такого способа монтажа.

В расчет экономичности применения концепции сокращения количества анализаторов сигналов берется выборочная стоимость двух плат аналогового ввода: Advantech PCI-1713U (32 канала, 29500руб), ADLINK PCI-9113A (32 канала, 24852руб).

Согласно результатам ПО "Уникализатор сопротивлений", минимальное напряжение для различия проводников жгута равно 4.092В: для 10 проводников жгута в один канал платы аналогового ввода, при точности шунта в единицах Ом, при точности платы аналогового ввода 3 знака после запятой. Однако для первоначального макетирования количество 10 велико. Было решено принять его равным 4-м:

- удобность изготовления печатной платы на 128 контактов;
- предполагаемая максимальная экономия на платах аналогового ввода является минимальной (для чего и были выбраны неоптимальные параметры) - и составляет 75000-88500руб. Из нее уже вычитается 2440руб за 5 плат модуля №5 (меньше не приобрести), 900руб за 200 потенциометров 3296W 20кОм (160шт), 1МОм (32шт) в роли делителей напряжения 1:9, если необходимы. 2000руб как день оплаты монтажника (608 пачных мест), 2000руб как день оплаты техника (настройка 160 потенциометров отверткой и мультиметром). Итого экономия 68560-82060руб.

Практический тест модуля №5, и прибора УТЖ-8-А-01, в целом, показал успешную

работоспособность концепции. Использовалась плата Advantech PCI-1713U, программно калибруемая драйвером, и встроенное ПО Advantech для наблюдения за напряжением на каналах.



Рисунок 3.7.3.2. Внешний вид прибора УТЖ-8-А-01. Имитация блоков 1-8 производится с помощью источника питания. На деле напряжение USB немного выше 5В, поэтому условия для теста ухудшены. Переключение каналов производится с помощью dupont cable для микропроцессоров Arduino.

Таблица 3.7.3.1. Измеренные напряжения с комбинаций из 4 проводников канала AI_{18} , опорное напряжение +2.5В, резисторы {256, 512, 1024, 2048}Ом с шунтом 146Ом*. Точность настройки резисторов и шунта $\pm 2.15\%$ (с учетом измерения самым дешевым мультиметром, процент может быть и больше).

Комбинация каналов (имитация замыкания)	Рез-тат, В	Комбинация каналов (имитация замыкания)	Рез-тат, В	Комбинация каналов (имитация замыкания)	Рез-тат, В

0 + 0 + 0 + 1	1.755	0 + 3 + 2 + 0	1.449	4 + 0 + 2 + 1	2.338
0 + 0 + 2 + 0	1.071	0 + 3 + 2 + 1	2.426	4 + 3 + 0 + 0	0.859
0 + 0 + 2 + 1	2.235	4 + 0 + 0 + 0	0.331	4 + 3 + 0 + 1	2.134
0 + 3 + 0 + 0	0.601	4 + 0 + 0 + 1	1.897	4 + 3 + 2 + 0	1.618
0 + 3 + 0 + 1	2.017	4 + 0 + 2 + 0	1.277	4 + 3 + 2 + 1	2.5 (2.514)

*Реальные величины – {261.5, 514, 1051, 2015} Ом с шунтом 145.5 Ом. Реальное напряжение - +5.00 В. Плата аналогового ввода PCI-1713U имеет периодическое смещение нуля 0.0048 В, корректируется тысячекратным измерением и вычислением среднего арифметического.

Минимальное напряжение – 0.331 В. Максимальное напряжение – 2.514 В. Минимальная дельта напряжения – 0.088 В. Вероятность успешного использования 8 проводников в одном канале – становится высока.

Если немного уменьшить входное напряжение – можно уложиться в опорное напряжение +2.5 В (напряжение комбинации «4 + 3 + 2 + 1» станет меньше опорного). Максимальное напряжение на шунте рассчитывается по закону Ома, при всех подключенных проводниках одновременно.

На оставшихся печатных платах первой версии было произведено макетирование возможности использования 8 проводников в одном канале платы аналогового ввода. Для этого канал AI₂₄ был разорван с шунтом R_шAI₂₄ и соединен параллельно с каналом AI₂₅.

Результат для резисторов {32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096} Ом с шунтом 17 Ом оказался провальным (напряжение 13 В): высокая рассеиваемая мощность приводит к изменению номиналов резистора и шунта (при включении первого резистора – 8.49 Вт на нем). Вывод, исходя из данных предыдущего успешного опыта, - рассеиваемая мощность не должна превышать 0.086 Вт (ток 0.017 А). Предположительно, просто не должна превышать рассеиваемая мощность 3296 по даташиту (0.5 Вт).

Результат для резисторов {256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768} Ом с шунтом 129 Ом оказался успешным. Итогом макетирования стало (см. Приложение Д):

- минимальное напряжение – 0.035 В. Максимальное напряжение – 5.929 В. Минимальная дельта напряжения – 0.001 В. Более высокое напряжение будет увеличивать дельту напряжения – возможно, есть смысл разработки источника, номинал напряжения которого равен максимуму для плат аналогового ввода (27-35 В);

- подтверждение практического функционирования концепции обработки одним каналом платы аналогового ввода сразу 8 проводников жгута. Обработка одним каналом 4-х

проводников имеет более выраженное расхождение в абсолютных значениях напряжения, при этом питающее напряжение требуется небольшое (5В – напряжение питания большинства микросхем). При работе же с 8-проводниковым вариантом отмечается дополнительная девиация номиналов $\pm 0.005\text{В}$ на резисторах малых сопротивлений. Возможно, при 8-проводниковом варианте нужно использовать сопротивления выше 1кОм;

- если существуют микроконтроллеры, способные измерять напряжение с погрешностью $< 0.0096\text{В}$, как это делают платы аналогового ввода, – себестоимость прибора тестирования жгутов может быть уменьшена не в единицы, а в десятки раз.

Монтажные моменты:

- у резисторов R₁-R₄ крайние выводы соединены друг с другом, являясь анодом; средний вывод – катод. Настройку резисторов R₁-R₄ нужно производить после пайки с использованием отверстий средней точки. Оптимально – в 4 руки;

- на шунте напряжение снимается со среднего (катод) и крайнего выводов (анод). Настройку резисторов R_ш нужно производить после пайки с использованием отверстий средней точки – после окончания всех паечных работ: оказывает влияние R_д;

- если используется делитель – напряжение снимается так же со среднего (катод) и крайнего выводов (анод). Настройку резисторов R_д нужно производить до момента пайки;

- центральный ряд резисторов есть чередование R_ш и R_д. Есть смысл паять их, чередуя слева направо. Укорачивать выводы требуется во избежание наводок;

- если делитель напряжения не требуется – нужно соединить штырями 2.54мм помеченные отверстия на обратной стороне платы. Можно использовать как перемычки откусанные ножки резисторов R_ш;

- выгоднее реализовывать делители напряжения на самой плате аналогового ввода. Например, в инструкции к Adlink PCI-9113A четко описано, вместо каких резисторов устанавливать делители напряжения. На практике для других задач успешно использовались резисторы 75кОм и 30кОм;

- плату нужно изготавливать с максимальной толщиной 1.6мм с целью повышения диэлектрических свойств и механической устойчивости.

3.7.4. Оценка итогового функционала и недостатков прибора УТЖ-1024-А-01.

Обнаружились нюансы функционирования автоматического прибора:

- требуется стабилизация входного напряжения. БП ПК обеспечивает данную возможность, хоть и выставляет напряжение чуть выше 12В;

- прибор может работать на высокой частоте – мгновенная проверка жгута или быстрые

многоразовые измерения в интервале проверки одного проводника;

- возможна проверка одним каналом платы аналогового ввода сразу 8 проводников, но требуется более высокое входное напряжение. Его можно получить, используя в качестве минуса питания «-12В DC» БП ПК;

- возможна разработка печатной платы, поддерживающей 8 проводников на 1 канал платы аналогового ввода;

- высокое сопротивление проводника влияет на показания при измерении, что делает возможным подбор номинала сопротивления проводника и программно размещение его ниже нижнего предела зоны корректности проверки проводника.

В итоге получилась высокоскоростная «звонилка» с использованием ЭВМ, но с возможностью обнаружения высокого сопротивления проводника, низкого сопротивления изоляции. Список компонентов – в Приложении Б.

3.7.5. Перспективы развития ПО для работы с информацией о состоянии проводников жгута и самого прибора.

Разница в цене между автоматизированным (со светодиодами) и автоматическим (с ЭВМ) прибором составляет около 4-5 раз: 38400руб против ~140000руб, оба прибора в максимально возможной комплектации. Цена 140000 может показаться высокой для физического лица (несмотря на многократное увеличение скорости и избавление от человеческого фактора). В связи с этим требуется выжать все возможное из программного обеспечения для высокоскоростной автоматической системы.

Само написание ПО, как работа с драйвером, так и работа с интерфейсом, представляет задачу уровня студента 1-3 курса технического ВУЗа, в зависимости от специализации. Тем более, производитель поставляет готовые примеры по работе с платами. Поэтому техническую сторону вопроса не рассматриваем, а именно концептуальную: какие элементы должно иметь ПО для расширения функционирования автоматического прибора тестирования жгутов.

Сразу затрагивается вопрос самоконтроля: интерфейс должен иметь возможность делать измерения сигналов, проходящих по жгуту самоконтроля; сохраняя результаты как эталонные в базу данных и показывая измерения в зависимости от времени. Сразу становятся видны флуктуации напряжений на каналах платы аналогового ввода – и становится ясно:

- состояние калибровки платы аналогового ввода. Достаточно подать на все входы платы одинаковое ненулевое напряжение и посмотреть влияние каналов друг на друга. Подавая же нулевое напряжение, становится доступна информация о смещениях нуля каждого канала;

- какую вводить программную коррекцию принятых значений с проводников проверяемых жгутов, на основе данных предыдущего пункта после калибровки плат;

- исправны ли резисторы на плате модуля №5, откалиброваны ли они;
- исправен ли прибор в целом, в т.ч. тракт передачи сигнала от генератора к плате аналогового ввода. То есть, при подаче ненулевого напряжения, следить за его входением в определенные пределы. Т.к. плата аналогового ввода позволяет делать высокочастотные измерения, слежение за одним отдельным каналом может выявить пропадание сигнала на мгновение (то есть, присутствие недоразрыва в магистрали «генератор-канал платы» или в самом проверяемом жгуте);
- также возможна однократная подача напряжения в проводник жгута с целью дублирования функционала (подтверждение найденной ошибки основной функцией проверки путем избирательных повторных стимулов).

Дополнительно:

- слежение за флуктуациями параметров самоконтроля (накопление информации в БД), что позволит заранее выявлять потенциально слабые звенья прибора или начинающие выходить из строя электронные компоненты;
- время прохождения сигнала по проводнику в N раз меньше времени теста всего жгута с N проводников. В этом случае, если ошибок в проводнике нет, стоит графически показывать именно этот участок графика с малым временем (динамическое автоматическое масштабирование);
- шумы платы $\pm 0.0048\text{В}$ можно фильтровать не только путем усреднения многократных измерений (минимум 10), но и просто игнорированием данной величины, если на канале нет сигнала.

При проверке же реального жгута возможно создавать подпрограммы-анализаторы информации:

- составление маршрутной карты жгута, сравнение с существующими картами в БД, расчет вероятности принадлежности жгута к конкретной марке и модели;
- при обнаружении ошибочной связки проводников не просто уведомить о ней, а графически подсветить на разъеме, сохранить картинку в файл. Тогда при перепроверке вручную не нужно будет искать номера контактов, все отображено на подсказке;
- вывод количества ошибок каждого проводника числом в название проводника.

Большинство функционала, описанного выше, успешно реализовано в ПО самоконтроля контрольно-проверочной аппаратуры по месту работы:

- проверяемые составные элементы данной аппаратуры различны по типам и не в единственном экземпляре (в т.ч. платы аналогового ввода);
- жгут самоконтроля не просто проходной, а с разветвлениями и составной из нескольких

жгутов;

- реализовано в новой бесплатной ОС Linux, в новой бесплатной среде программирования Qt (нет никаких расходов на ПО).

Абзац выше описан специально для обозначения, почему на разработку именно такого ПО ушел 1 год. Если убрать все излишние элементы (множество плат), а также человеческий фактор (заставили перейти на незнакомую ОС и незнакомую среду программирования) – написание ПО такого рода возможно за 1-2 месяца, с отладкой. То есть, заложить в стоимость прибора оплату труда студента-программиста около 80000руб – один раз.

Стоит уделить внимание созданию дополнительного параметра в ПО, что отсутствует в стандартном ПО тестирования жгутов. Зона неопределенности, не характеризующая ни неисправность жгута, ни его исправность. Если, абстрактно, считать пределами нормы напряжения на шунте $[4;5]В$, то ввести дополнительные зоны $[4.1;4.2]В$ и $[4.8;4.9]В$. В случае попадания какого-либо измеренного значения в зону неопределенности – уведомлять об этом оператора, чтобы принять решение об исправности жгута не машиной, а ответственным проверяющим лицом.

Возможно, существует алгоритм, когда вместо мультиметра при настройке потенциометров можно использовать саму плату аналогового ввода, как более точную. Через напряжение, снимаемое с шунта. Например, известно из расчетов, что при подаваемых 5В на шунте должно быть 2.4В – и с помощью экрана, показывающего текущее напряжение шунта, установить уровень сигнала на это значение. При этом реальное напряжение 5В может отображаться на том же дисплее, если один канал платы аналогового ввода зарезервирован в роли вольтметра именно для подаваемого напряжения. Важно законтрить винт резистора герметиком с целью фиксации калибровки, устойчивости к вибрациям.

В момент переключения контакта жгута напряжение может не падать мгновенно на одном проводнике и мгновенно появляться на втором. В связи с этим есть смысл, например, при периодичности измерения 1с анализировать сигналы только на участке 0.2с-1с.

В случае отказа от транзистора с целью экономии – ПО должно бороться с напряжением низкого уровня на тех проводниках, которые на данный момент отключены. То есть, в момент проверки первого проводника считываются напряжения смещения нуля со всех остальных каналов, как реальные параметры реальных микросхем 4067. В момент переключения на второй проводник считать смещение нуля первого проводника. И использовать полученные величины при выставлении пределов для напряжения в проводнике как факта исправности проводника.

Можно сделать интерактивный интерфейс, чтобы пользователь сам составлял маршрутную карту жгута. Фактически, это - инициативный массив, где i -му контакту соответствуют j -е контакт(ы) с другого конца.

3.8. Применение нестандартных решений в контексте монтажных работ, изменения функций прибора и его стоимости.

Если использовать платы аналогового ввода-вывода вместо плат аналогового ввода, получится:

- удешевленный прибор за счет смены типа плат, если не используется концепция уменьшения количества плат;
- ухудшение ТТХ в контексте поиска высокого сопротивления и применения концепции уменьшения количества плат. То есть, вместо номинала напряжения на плате аналогового ввода идет работа с логическим 5-вольтовым сигналом на плате аналогового ввода-вывода;
- появление способности проверять жгут с абсолютно любой маршрутной картой, даже когда вход и выход проводника находятся на одном входном разъеме.

Вместо жгута самоконтроля (для уменьшения количества пачечных мест, стоимости и габаритов), есть смысл создания ряда перемычек, количественно равных проверяемым проводникам – с целью соединения магистрали «генератор-канал платы». То есть, раз в год при самоконтроле нужно соединить N перемычек, провести самоконтроль и отсоединить N перемычек. Однако это требует переделки текущих печатных плат.

Вместо использования переходников вида «разъем-провода-разъем» есть смысл использовать концепцию «разъем-плата-разъем». Печатная плата даст возможность:

- извлечь разъем техническим феном или феном паяльной станции без возни с перепайкой проводов, в случае выхода из строя разъема;
- полностью устранить человеческий фактор при перепайке проводов;
- вероятность повреждения дорожек на плате ниже вероятности повреждения провода из-за уменьшенного механического воздействия;
- цена 5\$/5плат за удобство, при этом эту стоимость можно еще уменьшить, разместив на одной плате 2-8 переходников и потом разрезав плату ножницами по металлу.

3.9. Реализация теста на пробой для обоих типов устройств.

Реализация теста на пробой в УТЖ-1024-Ч-03 оказалась невозможна. Казалось, все сводится к установке на светодиодную панель каскада резисторов общим номиналом 15кОм и общей мощностью более 6Вт – с целью поддержания тока 20мА и падения избытка напряжения на

резисторном каскаде. Именно каскад – с целью падения напряжения на каждом резисторе не более 150В, т.к. был замечен пробой резисторов МТ-2.

На плату модуля №2 было подано напряжение 307В. Имитировался пробой изоляции путем точечного повреждения изоляции иглой – не вышло. Имитировался пробой путем установки соединяющего два канала резистора 5кОм (как некачественной «изоляции») – не происходило загорание нескольких светодиодов одновременно. Соединяющий резистор при этом слабо нагревался, но не перегорал (изоляция в случае пробоя не будет уничтожена); напряжения на диоде не хватало для его загорания. Физическое соединение проводящих частей разных проводников не привело к возникновению дуги. Ввиду того, что пробой еще «мгновенен» по времени – обнаружить такой феномен сможет только плата аналогового ввода.

Реализация теста на пробой в УТЖ-1024-А-01 возможна только с использованием высокоомных резисторов с целью токоограничения. Концепция уменьшения количества анализаторов сигналов остается в действии: напряжение увеличивается с 5В до 300В в 60 раз, требуемый делитель напряжения уменьшает напряжение на шунте в 11 раз – то есть, имеется повышение точности измерения. Например, резисторы на 4-х каналах [2048, 4096, 8192, 16384]Ом, с шунтом 1171Ом, приведут к максимальному напряжению на шунте 109В, делитель напряжения на 11 позволит использовать на плате аналогового ввода опорное напряжение +10В (униполярный режим) и точность измерения напряжения 2 знака после запятой. Однако использование резистора 2048Ом породит ток больше 0.1А – поэтому такой ряд резисторов указан именно как пример.

Имитация на пробой проводилась резистором 15кОм, соединяющим 2 канала, в роли некачественной изоляции. Этот резистор даже не нагревался, ввиду мизерных токов в цепи; однако произошло перераспределение напряжения между резистором-изоляцией, которое успешно фиксируется платой аналогового ввода РСІ-1713U.

Решение о стабилизации напряжения 300В было принято именно на этом этапе: или покупать высокоточный стабилизатор напряжения бытовой сети, или потратить 1 канал платы аналогового ввода для оценки девиации напряжения пробоя в режиме реального времени. Т.к. напряжение снимается со всех каналов платы аналогового ввода одновременно – мгновенное значение напряжения пробоя участвует в формулах расчета именно как реальное.

То есть, вместо теста на пробой получился тест на измерение сопротивления изоляции без использования миллиметра. Однако такой тест способен показать места с очень поврежденной низкоомной изоляцией, вроде 15кОм.

Имитация на пробой, в конечном итоге, не проводилась, ввиду незнания условий создания явления пробоя. Однако всплеск напряжения на канале плата в состоянии зафиксировать, ввиду высокой скорости снятия измерений.

3.10. Заключение по разделу 3. Заключение по исследовательской работе.

Теоретические исследования без проверки практикой не обладают необходимой достоверностью.

Разработаны модульные печатные платы с целью упрощения сборки приборов. Проверена на практике предложенная концепция уменьшения количества плат аналогового ввода.

В результате макетирований многие номиналы и названия элементов в составе тестеров жгутов были изменены. Изменена конечная стоимость приборов. А также переписано ПО «Уникализатор сопротивлений». Эти действия есть повторяемость экспериментов с лучшими комплектующими.

Практическая сборка приборов тестирования жгутов с количеством контактов менее 1024 показала, что приборы выполняют функции, на них возложенные, - с небольшой коррекцией. УТЖ-1024-Ч-03 – третья версия автоматизированного прибора тестирования жгутов: дешевая «звонилка» на разрыв и замыкания проводников; высокое сопротивление – не реализовано полностью. УТЖ-1024-А-01 – первая версия автоматического прибора тестирования жгутов: полноценная проверка на разрыв, замыкание, высокое сопротивление проводника, сопротивление изоляции (и, возможно, пробой изоляции).

Конечная стоимость проверки одного канала: для УТЖ-1024-Ч-03 – до 37.5руб, для УТЖ-1024-А-01 – до 116.2руб. Что является индикатором достижения цели данной исследовательской работы и обладания ее практической значимостью.

Научная значимость работы:

- выявление и акцентирование проблем существующих приборов тестирования жгутов: большие габариты, вес, цена, маркетинговые уловки при продаже;
- создание новой концепции использования каналов цифрового анализатора сигналов: несколько проводников жгута обрабатываются одним каналом – что приводит к уменьшению количества анализаторов сигналов и конечному уменьшению стоимости прибора. Ее практическая апробация с написанием ПО для решения этой задачи;
- использование в разработанных приборах транзисторов вместо реле, с доказательством возможности проведения данной замены без последствий (через измерение сопротивления коллектор-эмиттер закрытого транзистора и сравнение ТТХ реле и транзисторов);
- выявление проблемы работы программ по виртуальному моделированию схем: предоставление различной информации при работе с одной и той же схемой. Максимальное различие измеренных номиналов – 468%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 23586-96. Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры и приборов. Технические требования к жгутам и их креплениям / Беларусь, Минск: ИПК «Издательство стандартов», 2001 г.
2. ГОСТ ИЕС 60050-151-2014. Международный электротехнический словарь. Часть 151. Электрические и магнитные устройства / Москва: СтандартИнформ, 2015 г.
3. ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные. Термины и определения / Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981 г.
4. Правила эксплуатации электроустановок. Издание седьмое / Москва: ОАО «ВНИИЭ», 2003 г.
5. ГОСТ 21515-76. Материалы диэлектрические. Термины и определения / Москва: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981 г.
6. ГОСТ Р 52002-2003. Электротехника. Термины и определения основных понятий / Москва: ГосСтандарт России, 2005 г.
7. Шейхо А. О внедрении установок электрического контроля жгутов и кабелей на отечественных предприятиях / Москва: «Со-Единение», информационный бюллетень №1 (8), 2012 г.
8. ФГУП ГосНИИП. Жгуты. Технические условия. 6M0.485.704ТУ / Москва: ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения», 1983 г. [Внутренний документ].
9. Википедия. Электрическая емкость / США, Сан-Франциско: Wikimedia Foundation, Inc., Свободная энциклопедия «Википедия», 2017 г. [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%91%D0%BC%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C.
10. Крокус-Экспо. 13-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования «Testing & Control» / Москва: Крокус-Экспо, 25-27.10.2016.
11. Крокус-Экспо. 14-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования «Testing & Control» / Москва: Крокус-Экспо, 24-26.10.2017.
12. Крокус-Экспо. 20-я Международная выставка электронных компонентов, модулей и комплектующих «ExproElectronica» / Москва: Крокус-Экспо, 25-27.04.2017.
13. Сидоров С. Тесты тестеров. Перезагрузка / Москва: издательство «Диполь», журнал «Эксперт+», №3 (11), 2016 г.
14. DIT-MCO. Model 2135. Specifications / USA, Kansas City: DIT-MCO International Corporation, 2003.

15. Adaptronic. Mobile high voltage wiring tester KT 235 multibox / German, Wertheim: Adaptronic Prüftechnik GmbH, 2013.
16. Spherea. Wize. Complete range of wiring testers / France, Elancourt: Spherea Test & Service, 2015.
17. Смирнов И. Виды оснасток для тестеров жгутов и кабелей. Что выбрать? / Москва: издательство «Остек», журнал «Вектор высоких технологий», №2 (23), 2016 г.
18. ООО «VXI-системы». Новые продукты и решения холдинга «Информтест» / Москва: Информтест, 2016 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.vxisystems.ru/news/novye-produkty-i-resheniya-xoldinga-informtest>.
19. Weetech. WK 260 PC. The Fast, Robust and Versatile All-in-One Cable and Function Tester / German, Wertheim: Weetech GmbH. [Electronic resource] URL: <http://www.weetech-usa.com/?page=products&catID=1&prodID=41>.
20. Зайченко С., Сидоров С. Электрическое тестирование жгутов и кабелей / Москва: издательство «Диполь», журнал «Эксперт+», №3 (7), 2015 г.
21. Федеральный закон №102-ФЗ. Об обеспечении единства измерений (ред. От 13.07.2015) / Москва: Кремль, 2015 г.
22. РМГ 29-99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений / Беларусь, Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999 г.
23. Информтест. Тестер проводного монтажа серии ТЕСТ-9110 – 10 лет на рынке. Что изменилось за 10 лет? / Москва: холдинг Информтест, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.infctest.ru/news/ID_376.html.
24. Элек-Трейд-М. Horizon High Voltage – высоковольтный кабельный тестер / Москва. [Электронный ресурс] URL: <http://www.eltm.ru/horizon.html/nid/756>.
25. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений / Москва: СтандартИнформ, 2013 г.
26. Правительство РФ. Постановление Правительства Российской Федерации №250 от 20 апреля 2010 г. О перечне средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений государственными региональными центрами метрологии / Москва: Кремль, 2010 г.
27. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. 2-е издание / Москва: ИНФРА-М, 1999 г.
28. Азрилиян А.Н. Большой экономический словарь / Москва: Институт новой экономики,

1997 г.

29. Анимица Е.Г., Анимица П.Е., Глумов А.А. Импортозамещение в промышленном производстве региона: концептуально-теоретические и прикладные аспекты / Екатеринбург: ФГБУН Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, журнал «Экономика региона», №3, 2015 г.

30. Информтест. Реальное импортозамещение в действии / Москва: холдинг Информтест, 2016 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.inftest.ru/news/ID_357.html.

31. Информтест. Первая в России модульная система контроля проводного монтажа и релейных блоков на базе стандарта VXI / Москва: холдинг Информтест, 2006 г. [Электронный ресурс] URL: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/0629398.pdf>.

32. Информтест. Реальное импортозамещение в приборостроении или завуалированный импорт? / Москва: холдинг Информтест, 2015 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.inftest.ru/page/page45.html>.

33. Информтест. ВВК5 / Москва: холдинг Информтест. [Электронный ресурс] URL: http://www.informtest.ru/produktsiya/?ELEMENT_ID=175.

34. Информтест. ТЕСТ-9110-VXI-07 / Москва: холдинг Информтест. [Электронный ресурс] URL: http://www.inftest.ru/shop/UID_157.html.

35. ВНИИМС. Порядок испытаний и утверждения типа средств измерений / Москва: ВНИИМС. [Электронный ресурс] URL: <http://www.vniims.ru/service/ytvtipa/poryadok-ispitani.html>.

36. РуСтандарт. Утверждение типа средств измерений – (Метрологический сертификат) / Москва: РуСтандарт, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.rustandard.com/ru/metrologicheskyy-sertifikat.html>.

37. МежРегионТест. Сертификация средств измерения / Санкт-Петербург: МежРегионТест, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://megregiontest.ru/services/sertifikatsiya-sredstv-izmereniya>.

38. Ростест. Поверка средств измерений / Москва: Ростест, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.rostest.ru/services/metrology/poverka>.

39. Ростест. Прейскурант №М-20-17 тарифов ФГУ «Ростест-Москва» на метрологические работы (поверка, калибровка средств измерений, аттестация испытательного оборудования), испытаний технических средств по требованиям электромагнитной совместимости и другие услуги / Москва: Ростест, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.rostest.ru/tariff/2017/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%82%202017%20%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B3.pdf>.

40. ГЦИ СИ «ВоенТест». Приложение к свидетельству №41621В об утверждении типа

средств измерений. Система автоматизированная измерительная ТЕСТ-9110-VXI-36 / Мытищи: Государственный центр испытаний систем измерения. 32-й Государственный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации, 2010 г. [Электронный ресурс] URL: www.kip-guide.ru/docs/45983-10.pdf.

41. Белов С.П. Соединение двух адаптеров питания: попытка №3 (16.02.2016) / Москва: личный сайт, 2016 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2016/february/merge-adapters.html>.

42. Белов С.П. Соединение двух адаптеров питания последовательно (12.03.2016) / Москва: личный сайт, 2016 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2016/march/merge-adapters2.html>.

43. ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Москва: Стандартинформ, 2012 г.

44. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения / Москва: Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998 г.

45. Белов С.П. Максимальная мощность от разъема USB (20.03.2015) / Москва: личный сайт, 2015 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2015/march/usb-power.html>.

46. Белов С.П. Генератор прямоугольных сигналов на основе 555-х микросхем (07.09.2016) / Москва: личный сайт, 2015 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2016/september/generator-555.html>.

47. STMicroelectronics. HCF4060. 14-stage ripple carry binary counter/divider and oscillator / Switzerland, Geneva: STMicroelectronics, 2013.

48. Texas Instruments. CMOS analog multiplexers/de multiplexers. CD4067B, CD4097B types / USA, Dallas: Texas Instruments, 2003.

49. ConnFly. Machine pin D-SUB 2+1 solder type. DS1033-06 series / China, Cixu: ConnFly Electronic Co., Ltd, 2012 [Electronic resource] URL: <https://lib.chipdip.ru/975/DOC000975885.pdf>.

50. Коннектор. Соединители типа ШР, СШР / Украина, Харьков: ПО «Коннектор» 2015 г.

51. Лтава. Соединители электрические низкочастотные прямоугольные типа ГРПМ9У / Украина, Полтава: ПАО «Завод «Лтава»», 2015 г.

52. А. Смирнов. Электрические разъемы: проблема выбора / Москва: РИЦ Техносфера, журнал «Электроника НТБ», №1, 2007 г.

53. Руппель А.А., Расщупкин В.П., Корытов М.С., Корзунин Ю.К. Электроматериалы. Учебное пособие / Омск: СибАДИ, 2009 г.

54. Родштейн Л. А. Электрические аппараты: учебник для техникумов / Санкт-Петербург:

издательство Энергоатомиздат (ленинградское отделение), 1989 г.

55. Akoled. Светодиод выводной 5 мм, красное свечение (АКО-VD5-R-620-625nm-5-7cd) / Санкт-Петербург: ООО «АКО ЛЕД СПБ», 2016 г. [Электронный ресурс] URL: <http://akoled.ru/svetodioid-vyvodnoj-5-mm-krasnoe-svechenie-ako-vd5-r-620-625nm-5-7cd>.

56. Белов С.П. Устройство тестирования неограниченного количества проводников жгута: обнаружение разрывов, замыканий, высокого сопротивления, плохой пайки и недоразрывов – теоретическая часть / Ижевск: ООО «Институт интеллектуальных систем управления», журнал «Системная инженерия. Приборостроение, информационно-измерительные системы. Радиотехника и телекоммуникации», №1-2 (5), 2017 г.

57. Белов С.П., Недайвов А.В., Девяткин В.А. Устройство тестирования неограниченного количества проводников жгута – обнаружение разрывов, замыканий, высокого сопротивления – практическая сборка / Ижевск: Интернаука, Сборник статей по материалам II международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и решения», №2 (2), 2017 г.

58. Белов С.П. Дешевый прибор тестирования жгутов УТЖ-1024-Ч-02: практическая сборка (29.08.2017) / Москва: личный сайт, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2017/august/test-conductors-2.html>.

59. НВП «Болид». Прибор приемно-контрольный (адресный расширитель шлейфов) охранно-пожарный ППКОП 01121-20-1 «Сигнал-20П исп.01», «Сигнал-20П SMD». Руководство по эксплуатации / Московская обл., Королев: НВП «Болид», 2015 г.

60. НВП «Болид». Пульт контроля и управления охранно-пожарный «С2000М». Руководство по эксплуатации / Московская обл., Королев: НВП «Болид», 2011 г.

61. Уникализатор сопротивлений v.1.0. Проверка уникальности номиналов параллельных соединений для выбранного ряда резисторов. Используется для расчетов при создании тестеров жгутов / Белов С.П. – 2017 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.bad-good.ru/programs.html#unique_resistances (дата обращения 10.05.2017).

62. Белов С.П. Тестирование жгутов: проверка одним каналом цифрового анализатора сразу 24-х проводников – теоретическая часть / Ижевск: ООО «Институт интеллектуальных систем управления», журнал «Системная инженерия. Приборостроение, информационно-измерительные системы. Радиотехника и телекоммуникации», №1-2 (5), 2017 г.

63. Виленкин Н.Я. Метод последовательных приближений / Москва: Наука, 1963 г.

64. Сергеев В. Visual Basic 6.0. Наиболее полное руководство для профессиональной работы в среде Visual Basic 6.0 / Санкт-Петербург: БВХ-Санкт-Петербург, 1998 г. – стр. 8.

65. STMicroelectronics. BDX33B, BDX33C, BDX34B, BDX34C. Complimentary silicon power Darlington transistors / Geneva, Switzerland: STMicroelectronics, 1999.

66. International Rectifier. AUIRFU4104, AUIRFU4104 HEXFET power MOSFET. Automotive

grade / USA, California, El Segundo: International Rectifier, 2010.

67. Кварц. Прецизионные проволочные резисторы С5-5, С5-5В / Москва: сеть магазинов «Кварц», 2012 г.

68. Белов С.П. Параллельное соединение транзисторов (06.07.2017) / Москва: личный сайт, 2015 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2017/july/transistors-parallel.html>.

69. Белов С.П. Виды транзисторов и их поведение (21.02.2017) / Москва: личный сайт, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2017/february/types-transistors.html>.

70. Белов С.П. Корректная формула расчета емкости сглаживающего конденсатора (06.04.2016) / Москва, личный сайт, 2016 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2016/april/capacity-voltage.html>.

71. Белов С.П. Портативный подогреватель своими руками (04.06.2016) / Москва, личный сайт, 2016 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2016/june/small-heater.html>.

72. Марченко А.Л. Освальд С.В. Лабораторный практикум по электротехнике и электронике в среде Multisim + CD / Москва: ДМК-Пресс, 2010 г.

73. Белов С.П. Расчет точности АЦП в знаках после запятой (13.06.2017) / Москва, личный сайт, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2017/june/adc-accuracy.html>

74. Уникализатор сопротивлений v.1.2 FINAL. Проверка уникальности номиналов параллельных соединений для выбранного ряда резисторов. Используется для расчетов при создании тестеров жгутов / Белов С.П. – 2017 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.bad-good.ru/programs.html#unique_resistances.

75. Мак-Комб Г., Бойсен Э. Радиоэлектроника для «чайников» / Москва: ООО «И.Д. Вильямс», 2007 г. – стр. 160.

76. Логунов В.Н. Устройство тепловоза ТГМ6А / Москва: Транспорт, 1981 г. – стр. 191.

77. Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. Сборник задач по полупроводниковой электронике / Москва: ФизМатЛит, 2006 г. – стр. 112.

78. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника / Москва: Высшая школа, 1991г. – стр. 524.

79. Автор и название материала неизвестны. Предположительно: Шипли М. Полевые транзисторы в аналоговых переключательных схемах / Москва: журнал «Электроника», №32, 1964 г. [Электронный ресурс] URL: http://zpostbox.ru/fet_analog_switches_3.html.

80. Интеграл. КТ837. Биполярный эпитаксиально-планарный р-п-р транзистор / Беларусь, Минск: ОАО «Интеграл», 2011 г.

81. Белов С.П. Адаптер питания АП-310-0.1 v.1.0 (22.07.2017) / Москва, личный сайт, 2017 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2017/july/ap-310-01.html>.

82. Белов. С.П., Бирюков А.С. Тестирование жгутов: программа расчета номиналов резисторов, позволяющих проверить одним каналом тестера сразу несколько проводников

жгута / Москва: Спутник+, Актуальные проблемы современной науки, №1 (98), 2018 г.

83. Белов С.П. Переходник SSOP24W -> SOIC24W -> DIP24W v.1.0 (19.05.2018) / Москва, личный сайт, 2018 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2018/may/sop-soic-dip.html>.

84. PCI-1713 Work v.1.0 FINAL. Программа предназначена для считывания значений напряжения (и иных аналоговых сигналов) при помощи каналов платы АЦП Advantech PCI-1713 / Белов С.П. – 2013 г. [Электронный ресурс] URL: http://www.bad-good.ru/programs.html#pci-1713_work.

85. Белов С.П. Дешевый прибор тестирования жгутов УТЖ-1024-Ч-03: платы и внешний вид (23.05.2018) / Москва: личный сайт, 2018 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2018/may/test-conductors-4.html>

86. Белов С.П. Дешевый тестер жгутов УТЖ-1024-А-01 FINAL (06.07.2018)./ Москва: личный сайт, 2018 г. [Электронный ресурс] URL: <http://www.bad-good.ru/2017/august/test-conductors-5.html>.

ПРИЛОЖЕНИЯ.

Приложение А. Обоснование цен таблицы 1.3.1 перепиской с поставщиками тестеров жгутов. Получение информации об используемых коммутирующих контакты реле.



Рисунок А.1. Ответ СовТест АТЕ 20.03.2017.

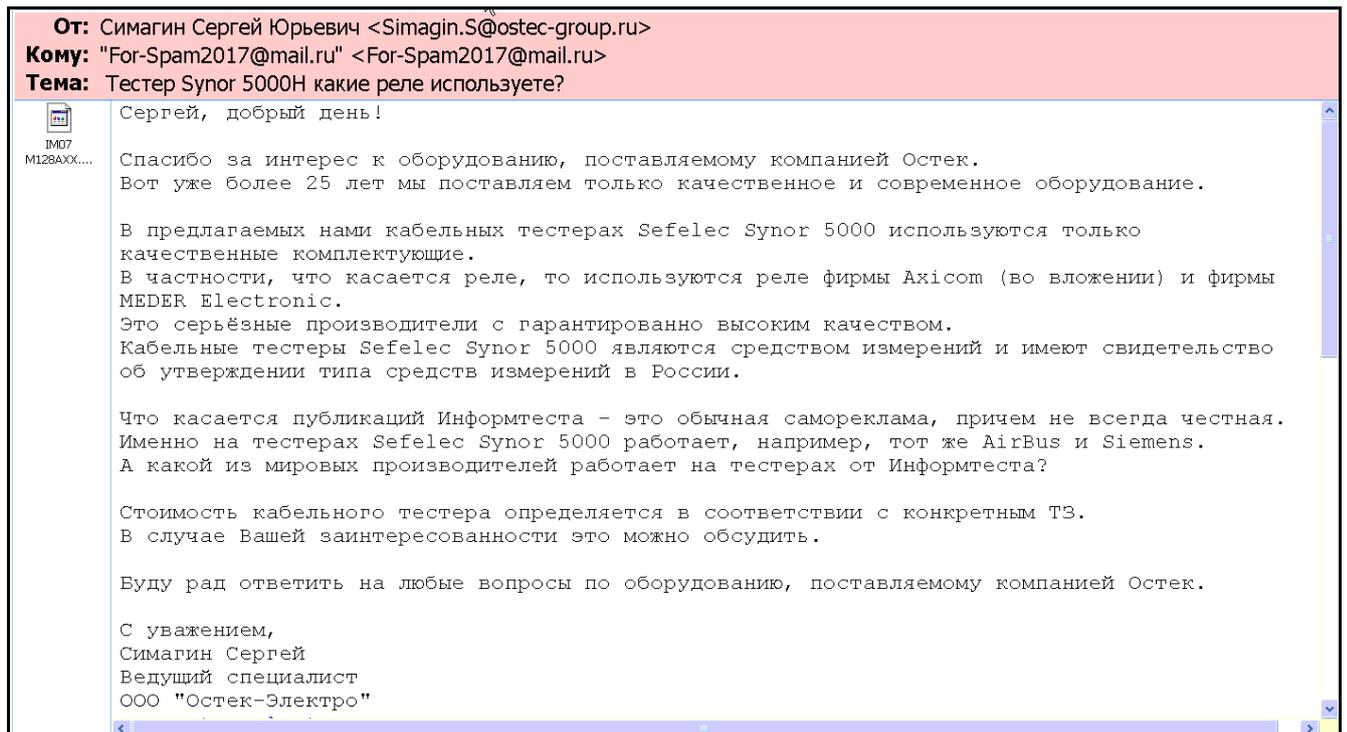


Рисунок А.2. Ответ Остек-Электро 20.03.2017.

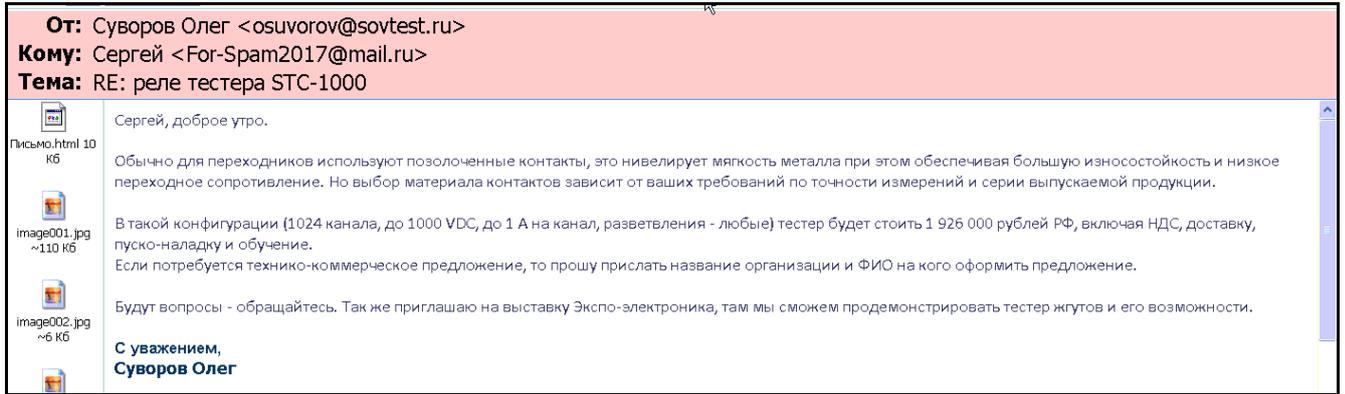


Рисунок А.3. Ответ СовТест АТЕ 21.03.2017.

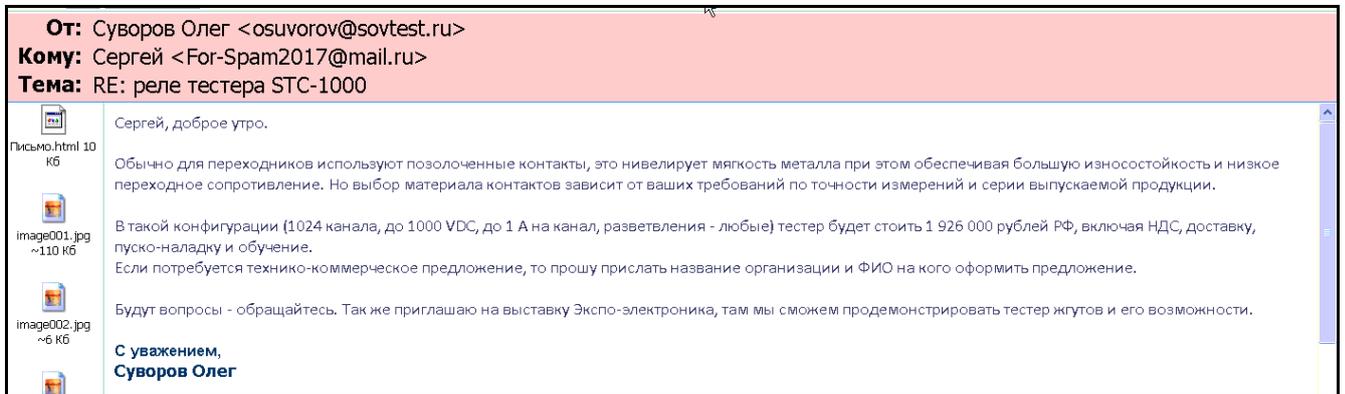


Рисунок А.4. Ответ СовТест АТЕ 21.03.2017.

Приложение Б. Список компонентов для практической сборки итоговых версий приборов тестирования жгутов.

Таблица Б.1. Подробное описание компонентов автоматизированного прибора тестирования жгутов УТЖ-1024-Ч-03 по схеме рисунка 3.1.2.

Светодиоды и резисторы указаны за упаковку 100-1000шт. Использование интернет-торговли значительно выгоднее. Также оптовые цены указаны для компонентов более чем в 1 экземпляре, т.к. цена 2 экземпляров РФ выходят дороже 10 экземпляров интернет-торговли.						
Обозначение	Расшифровка	Название (отеч., если доступно)	Цена (РФ)	Примечание	Название (AliExpress)	Цена мин. (AliExpress или Чип и Дип – где дешевле)
Блок №1 (стабилизированное питание, защита)						

G1	Источник питания 5В/1А DC	АП 6121	550	ЗУ от сотового, USB ПК, БП ПК	CinkeyPro 5V/2A	114
Q1	Выключатель типа ON-OFF	SMRS-101- 1C3	19	Выключатель устройства	KCD1-11-2P	33 (10шт)
FU1	Предохранитель 1А	H520 (ZH214)	5	Быстрого срабатывания	Дешевле нет	5
VD1 (опционально)	Диод Шоттки 20В/3А	SR360 (SR306)	15	Защита от переплюсовки. Невыгодное решение, т.к. отнимает от 5В 0.3-0.6В	Дешевле нет	15
VD2	Защитный диод	SMAJ5.0A	10	Защита от перенапряжения	Дешевле нет	10
HL1	Светодиод	L-493GT	1.30	Любые с током $\leq 20\text{mA}$	620-625nm (AKO-VD5-R- 620-625nm-5- 7cd)	0.27
R1	Резистор 5кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.80	Токоограничивающий для HL1	Дешевле нет	0.90
C0	Конденсатор ~2200мкФ/6.3В	ECAP (K50- 35)	14	1000мкФ	Дешевле нет	14
Блок №2 (Генератор, делитель и двоичный счетчик в единой микросхеме)						
DD2	Генератор, делитель, счетчик	CD4060BE	7	Управление демультиплексорами блока №4. Аналоги: HCF4060BEY, HCF4060BE. Предпочтительнее CD4060DE из- за большого Vdd и мизерного информационного тока	HCF4060BEY	6.60
C1	Конденсатор 1мкФ/6.3В	K73-17	7	В момент подачи питания активируется Reset как сброс счетчика в нулевое положение. После мгновенного заряда конденсатора счетчик готов к работе. Важно! Диапазон – [0.1;100]мкФ!	Дешевле нет	3
R2	Резистор 11кОм/0.125Вт	CF-125 (C1- 4)	0.80	Микросхема 4060 запускается только при переключении Reset с плюса питания на массу. Важно! Диапазон – [10-11]кОм!	Дешевле нет	0.80
C2	Конденсатор	K50-35	3	Расчет частоты по формуле $f_1 = 1$	Дешевле нет	3

	1мкФ/6.3В			/ (2.2 * C2 * (R4+R5)). Формула		
R3	Резистор 430кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.90	R3 = 10* (R4+R5) в даташите неверна, корректна R3 > R4+R5.	Дешевле нет	0.90
R4	Резистор переменный 100кОм/0.125Вт	FJN10K15 B100K10	14	Для периода ~0.25с R5+0 = 6.8кОм, ~4с – 6.8+106.4кОм. Чем больше емкость и максимальное напряжение C2, тем больше погрешность в сторону увеличения частоты, тем при большем R4+R5 микросхема откажется работать. Для примера: при 100мкФ R4+R5 должно быть не менее 9.4кОм; с 47мкФ/6.3В микросхема работала с периодом 30с, а с 47мкФ/400В – 23с. R3 выбирать от 420кОм. На практике значения отличаются от теоретических: для 1мкФ/50В получилось 6.8кОм и 6.8+100кОм соответственно	Дешевле нет	15
R5	Резистор 6.8кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.90		Дешевле нет	0.90
R6	Резистор 10МОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	2	Для кнопки «пауза»: нельзя разрывать цепь элементов генератора	Дешевле нет	2
Q2	Выключатель типа (ON)-OFF	PBS-15B	19	Reset счетчика, кнопка «сброс»	DIP4 (100шт)	50
Q3	Выключатель типа ON-OFF	SMRS-101- 1C3	19	«Пауза» в автоматическом режиме	KCD1-11-2P	-
Q5	Выключатель типа (ON)-OFF	PBS-15B	19	Нормально разомкнутая кнопка. При уменьшенной частоте генератора позволяет пользователю ручную переключать контакты жгута длительным нажатием	DIP4	-
Блок №3 (переключение выводов демультимплексоров как контактов жгута)						
DD3-DD19	Демультимплексор «1 на 16»	CD4067BE	17x37	Переключение питающего напряжения по шинам жгутов Аналоги: HCF4067(B, M013TR), 74HC4067(BE). Удобнее в корпусе DIP24	Дешевле нет	17x37

(не указано)	Транзистор NPN	BDX33C	1024x16	<p>Опционально. Усиление сигнала демультимплексора, если разветвление в жгуте больше 15 (светодиоды потускнеют из-за недостатка тока). Резко увеличивает цену прибора.</p> <p>BDX33C указан как пример дешевого транзистора с огромным коэффициентом усиления 750 – формируя собой максимально возможную цену прибора. Можно использовать 2SD788 в корпусе TO-220 (10руб) – его вполне хватит с его $hFE \geq 100$. Или BD159 по 5 руб с заявленным к-том 30, а на деле почти 100</p>	BDX33C	1024x9.89
(не указано)	Индикаторы канала подачи сигнала, резистор 5кОм	-	-	<p>Резистор 5кОм и 8 светодиодов – на каждую печатную плату, на каждые 128 контактов. Смысл – отключаемая индикация корректности передачи сигналов по каналам q4-q7 DD2 (в конце проверки резистор можно выпаять). Однако в процессе тестирования не было заметно влияние данных светодиодов на работу блока №3: ток составлял $\leq 0.86\text{мА}$</p>	30	30
Блок №4 (разъемы для подключения переходников для жгута)						
XP0, XP5	Разъем DB78M	DHPBS (DS1077 78M)	32x60	<p>Выход из прибора – посыл сигналов в переходник, вход в прибор – получение сигналов из переходника. Прямые контакты – для удешевления. 78 контактов – 4 демультимплексора + резерв</p>	Дешевле нет	32x60
XS0, XS5	Разъем DB78F	DHPBS (DS1077 78F)	32x60	<p>Ответная часть переходника для выходов-входов прибора. Учитывается в цене прибора как оснастка 1 жгута на 1024</p>	Дешевле нет	32x60

				контакта		
Блок №5 (ответная часть для конкретного жгута. Индивидуальна, как пример. Не учитывается в цене прибора)						
XP1	Вилка жгута	РПММ1-66Ш9-В	-	-	Индивидуально	-
XP2	Вилка жгута	СНП268-25ВП121-3	-	-	Индивидуально	-
XP3	Вилка жгута	СНП268-15ВП121-3	-	-	Индивидуально	-
XS4	Розетка жгута	СНП268-37РП121-3-В	-	-	Индивидуально	-
XS1	Розетка ответной части XP1	РПММ1-66Г3-В	45	-	Индивидуально	45
XS2	Розетка ответной части XP2	СНП268-25РП11-3	37	Аналоги: DRB-25FB, DS1037-01-25-F	Индивидуально	37
XS3	Розетка ответной части XP3	СНП268-15РП11-3	30	Аналоги: DRB-15FA, DS1037-15F	Индивидуально	30
XP4	Вилка ответной части XS4	СНП268-37ВП121-3-В	350	-	Индивидуально	350
Блок №6 (визуальная индикация соединений контактов внутри жгута, индивидуально)						
HL2...HL1025	Светодиод	L-493GT	1024x1.30	Любые с током $\geq 20\text{mA}$	620-625NM (AKO-VD5-R-620-625nm-5-7cd)	1024x0.27
R7	Резистор 220Ом/1Вт	CF-100 (C1-4)	2	Номинальные 220Ом для обеспечения свечения даже 15 светодиодов от одного резистора (сокращение пайки).	Дешевле нет	2
R8	Резистор переменный 3кОм/0.5Вт	СПЗ-39А	33	Увеличение/уменьшение яркости в случае необходимости, относительно 220Ом. Подойдут и 3296W. Подойдет и 5кОм!	Дешевле нет	33
Блок №7 (отладочный, для проверки генератора и установки его частоты без осциллографа)						
HL1026	Светодиод	L-493GT	1.30	Исправность сигнала генератора + контроль частоты проверки проводника	620-625NM (AKO-VD5-R-620-625nm-5-7cd)	0.27
R9	Резистор 2.7кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.90	Для получения тока 1mA	Дешевле нет	0.90

Q4	Выключатель типа OFF-(ON)	PBS18B	18	Нормально разомкнутая кнопка проверки генератора	MYLB-10	15
Монтаж основных блоков						
(не указано)	Печатная плата №1 управляющего блока №1-2	Модуль №1	800	Питание, генерация сигнала, родительские демультимплексоры. На AliExpress заказывать платы сильно выгоднее, особенно оптом у одного продавца (схемы для станков проектируются 1 раз – следующий заказ будет дешевле)	AliExpress	300
(не указано)	Печатная плата №2 входного блока №3, 4, 5	Модуль №2	8x800	Посыл сигнала в переходники жгута. На 1 плате – 8 дочерних демультимплексора – 128 контактов. В итоге количество плат определяет предел прибора: от 128 до 1024 контактов в рамках одного генератора. На печатной плате безымянные 8 светодиодов и резистор 5кОм – индикация подачи сигнала в демультимплексор при отладке	AliExpress	8x300
(не указано)	Печатная плата №3	Модуль №3	-	Необходимое количество для расширения пространства подключения жгутов. В случае использования переходника не требуется. 23-27 отверстий для 64 контактов.	-	-
(не указано)	Печатная плата №4 выходного блока №6	Модуль №4	800	Получение сигнала из переходников жгута. На 1 плате – 64 контакта, разъем DB78M, 64 светодиода. В итоге количество плат определяет предел прибора по количеству контактов	AliExpress	300
(не указано)	Разъемные штыри с расстоянием 2.54мм	PLS-40 (DS1021- 1x40)	26x15	Соединение жесткой сцепкой модулей №2 и №3 между собой в различных комбинациях. Экономит провод МГШВ 0.12мм ² . Продается 10 планок по 40 пинов	10 шт. 2.54 1x40	3x31

(не указано)	Панелька для микросхем узкая	SCS-16 (DS1009-16AN)	8	Плата изобилирует количеством проводов и местами пайки – удобнее заменять микросхемы в случае выхода из строя. Панельки крайне важны, т.к. микросхемы могут быть убиты наводками с паяльника. Нужно зафиксировать оловом каждую ножку: при смене микросхемы возможно их выпадение из корпуса панельки	Дешевле нет	8
(не указано)	Панелька для микросхем (широкая)	SCL-24 (DS1009-24AW)	17x7	Удобство добавления новых демультимплексоров	Дешевле нет	17x7
(не указано)	Держатель для предохранителя	FH-102	2x20	Опционально. Проще напаять на провод или в плату	Дешевле нет	2x20
(не указано)	Провод	МГШВ 0.12	307x13	Ток не будет превышать 0.17А. Общая длина взята из расчета 30см/контакт	Дешевле нет	307x13
(не указано)	Провода М+М (со штырьками) для микропроцессоров Arduino (Dupont cable)	Совсем не выгодно	-	Как замена обычным проводам: сразу связка-шлейф, фиксированная длина, луженые наконечники. Предпочтительная длина 10 и 20см	Dupont cable	400x1.15
(не указано)	Термоусадка 1мм	HTS-2 2/1	10x5	Усиление и изоляция внутренних контактов разъемов. Продается в МПО «Электромонтаж»	Дешевле нет	10x5
(не указано)	Шпилька М4 или длинные болты М4	-	-	Соединение плат по принципу этажерки	-	-
			Итого	~22000руб – запчасти (с транзисторами – 38400руб). Расчет трудоемкости - исходя из зарплаты и загруженности техника. В случае простоя техника затраты трудоемкости будут равны 0	Итого	~12200- 22350руб

Таблица Б.2. Подробное описание компонентов автоматизированного прибора тестирования жгутов УТЖ-1024-А-01.

Светодиоды и резисторы указаны за упаковку 100-1000шт. Использование интернет-торговли значительно выгоднее. Также оптовые цены указаны для компонентов более чем в 1 экземпляре, т.к. цена 2 экземпляров РФ выходят дороже 10 экземпляров интернет-торговли.

Обозначение	Расшифровка	Название (отеч., если доступно)	Цена (РФ)	Примечание	Название (AliExpress)	Цена мин. (AliExpress или Чип и Дип – где дешевле)
Блок №1 (стабилизированное питание, защита)						
G1	Источник питания 5В/1А DC	-	-	В составе БП ПК. В результате не нужен диод Шоттки и защитный диод: БП имеет в себе эти элементы	-	-
Q1	Выключатель типа ON-OFF	SMRS-101- 1C3	19	Выключатель устройства	KCD1-11-2P	33 (10шт)
FU1	Предохранитель 1А	H520 (ZH214)	5	Быстрого срабатывания	Дешевле нет	5
HL1	Светодиод	L-493GT	1.30	Любые с током <=20мА	620-625NM (AKO-VD5-R- 620-625nm-5- 7cd)	0.27
R1	Резистор 5кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.80	Токоограничивающий для HL1	Дешевле нет	0.90
C0 (опционально)	Конденсатор ~2200мкФ/6.3В	ECAP (K50- 35)	14	Подавление вероятных помех с источника. На схеме представлено 2 посадочных места, если есть только по 1000мкФ	Дешевле нет	14
Блок №2 (Генератор, делитель и двоичный счетчик в единой микросхеме)						
DD2	Генератор, делитель, счетчик	CD4060BE	7	Управление демультимплексорами блока №3. Аналоги: HCF4060BEY, HCF4060BE. Предпочтительнее CD4060BE из-за большого Vdd и мизерного паразитного тока	HCF4060BEY	6.60
C1	Конденсатор 1мкФ/6.3В	K73-17	7	В момент подачи питания активируется Reset как сброс счетчика в нулевое положение. После мгновенного заряда конденсатора счетчик готов к	Дешевле нет	3

				работе. Важно! Диапазон – [0.1;100)мкФ! При 100мкФ задержка составляет десятки секунд		
R2	Резистор 11кОм/0.125Вт	CF-125 (C1-4)	0.80	Микросхема 4060 запускается только при переключении Reset с плюса питания на массу. Важно! Диапазон – [10-11]кОм!	Дешевле нет	0.80
C2	Конденсатор 1мкФ/6.3В	K50-35	3	Расчет частоты по формуле $f_1 = 1 / (2.2 * C2 * (R4+R5))$. Формула	Дешевле нет	3
R3	Резистор 430кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.90	$R3 = 10 * (R4+R5)$ в даташите неверна, корректна $R3 > R4+R5$.	Дешевле нет	0.90
R4	Резистор переменный 100кОм/0.125Вт	FJN10K15 B100K10	14	Для периода $\sim 0.25с$ $R5+0 = 6.8кОм$, $\sim 4с - 6.8+106.4кОм$. Чем больше емкость и максимальное напряжение C2, тем больше погрешность в сторону увеличения частоты, тем при большем $R4+R5$ микросхема откажется работать. Для примера: при 100мкФ $R4+R5$ должно быть не менее 9.4кОм; с 47мкФ/6.3В микросхема работала с периодом 30с, а с 47мкФ/400В – 23с. R3 выбирать от 420кОм. На практике значения отличаются от теоретических: для 1мкФ/50В получилось 6.8кОм и 6.8+100кОм	Дешевле нет	15
R5	Резистор 6.8кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.90	соответственно	Дешевле нет	0.90
R6	Резистор $\geq 10МОм/0.125Вт$	CF-25 (C1-4)	2	Для кнопки «пауза»: нельзя разрывать цепь элементов генератора	Дешевле нет	2
Q2	Выключатель типа (ON)-OFF	PBS-15B	19	Reset счетчика, кнопка «сброс»	DIP4 (100шт)	50
Q3	Выключатель типа ON-OFF	SMRS-101-1C3	19	«Пауза» в автоматическом режиме	KCD1-11-2P	-
Q5	Выключатель типа (ON)-OFF	PBS-15B	19	Нормально разомкнутая кнопка. При уменьшенной частоте генератора позволяет	DIP4	-

				пользователю вручную переключать контакты жгута длительным нажатием		
Блоки №3, 4 (переключение выводов демultipлексоров как контактов жгута)						
DD3-DD19	Демultipлексор «1 на 16»	CD4067BE	17x37	Переключение питающего напряжения по шинам жгутов Аналоги: HCF4067(B, M013TR), 74HC4067(BE). Удобнее в корпусе DIP24	Дешевле нет	17x37
VT1...VT1024	Транзистор NPN	BDX33C (до 100В)	1024x16	Усиление сигнала демultipлексора, использование напряжения, отличного от 5В. BDX33C указан как пример дешевого транзистора с огромным коэффициентом усиления 750 - формируя собой максимально возможную цену прибора. Можно использовать 2SD788 в корпусе TO-220 (10руб) - его вполне хватит с его $hFE \geq 100$. Или BD159 по 5 руб с заявленным к-том 30, а на деле почти 100	BDX33C	1024x9.89
(не указано)	Индикаторы канала подачи сигнала, резистор 5кОм	-	-	Резистор 5кОм и 8 светодиодов – на каждую печатную плату, на каждые 128 контактов. Смысл – отключаемая индикация корректности передачи сигналов по каналам q4-q7 DD2 (в конце проверки резистор можно выпаять). Однако в процессе тестирования не было заметно влияние данных светодиодов на работу блока №3: ток составлял $\leq 0.86\text{мА}$	30	30
Блок №5 (разъемы для подключения переходников для жгута)						
XP0, XP5	Разъем DB78M	DHPBS (DS1077 78M)	32x60	Выход из прибора - посыл сигналов в переходник, вход в прибор - получение сигналов из	Дешевле нет	32x60

				переходника. Прямые контакты - для удешевления. 78 контактов - 4 демультиплексора + резерв		
XS0, XS5	Разъем DB78F	DHPBS (DS1077 78F)	32x60	Ответная часть переходника для выходов-входов прибора. Учитывается в цене прибора как оснастка 1 жгута на 1024 контакта	Дешевле нет	32x60
Блоки №6, 7 (ответная часть для конкретного жгута. Индивидуальна, как пример. Не учитывается в цене прибора)						
XP1	Вилка жгута	РПММ1- 66Ш9-В	-	-	Индивидуально	-
XP2	Вилка жгута	СНП268- 25ВП121-3	-	-	Индивидуально	-
XP3	Вилка жгута	СНП268- 15ВП121-3	-	-	Индивидуально	-
XS4	Розетка жгута	СНП268- 37РП121-3-В	-	-	Индивидуально	-
XS1	Розетка ответной части XP1	РПММ1- 66Г3-В	45	-	Индивидуально	45
XS2	Розетка ответной части XP2	СНП268- 25РП11-3	37	Аналоги: DRB-25FB, DS1037-01-25-F	Индивидуально	37
XS3	Розетка ответной части XP3	СНП268- 15РП11-3	30	Аналоги: DRB-15FA, DS1037-15F	Индивидуально	30
XP4	Вилка ответной части XS4	СНП268- 37ВП121-3-В	350	-	Индивидуально	350
Блок №8 (отладочный, для проверки генератора и установки его частоты без осциллографа)						
HL1026	Светодиод	L-493GT	1.30	Исправность сигнала генератора + контроль частоты проверки проводника	620-625NM (AKO-VD5-R- 620-625nm-5- 7cd)	0.27
R9	Резистор 5кОм/0.125Вт	CF-25 (C1-4)	0.90	Для получения тока <1мА	Дешевле нет	0.90
Q4	Выключатель типа OFF-(ON)	PBS18B	18	Нормально разомкнутая кнопка проверки генератора	MYLB-10	15
Блок №9 (концепция обработки одним каналом анализатора сигналов сразу нескольких проводников жгута)						
Rк1...RкN	Резистор хОм/0.125Вт	-	1024x0.90	Номиналы определяются по формулам концепции		1024x0.90
Rш	Резистор хОм/0.125Вт	-	2	(автоматический расчет при помощи ПО "Уникализатор	Индивидуально	2

				сопротивлений"). Рассеиваемая мощность невелика за счет возможности использования высокоомных номиналов		
(не указано)	ПК в сборе	-	14300	С самыми скромными ТТХ, с необходимым кол-вом разъемов PCI/PCI-E, чтобы разместить платы ниже	Индивидуально	12000
(не указано)	Анализатор сигналов с проводников (плата)	-	4x17400	Количество зависит от выбранного анализатора (плата АЦП, микроконтроллер, иной). Макетирование позволяет использовать 4 платы вместо 8, но печатная плата для такого модуля не создана. Расчет указан от стоимости 32-канальной платы L-780M. Умелое использование микроконтроллеров за смешные деньги уменьшит данные затраты в ~100 раз	Индивидуально	4x17400
Монтаж основных блоков						
(не указано)	Печатная плата №1 управляющего блока №1-2, 8	Модуль №1	800	Питание, генерация сигнала, родительские демультиплексоры. На AliExpress заказывать платы сильно выгоднее, особенно оптом у одного продавца	AliExpress	300
(не указано)	Печатная плата №2 входного блока №3, 4	Модуль №2	8x800	Посыл сигнала в переходники жгута. На 1 плате - 8 дочерних демультиплексора - 128 контактов. В итоге количество плат определяет предел прибора: от 128 до 1024 контактов в рамках одного генератора. На печатной плате безымянные 8 светодиодов и резистор 5кОм – индикация подачи сигнала в демультиплексор при отладке	AliExpress	8x300
(не указано)	Печатная плата №3 разветвительного блока №5	Модуль №3	-	Необходимое количество для расширения пространства подключения жгутов. В случае	-	-

				использования переходника не требуется. 23-27 отверстий для 64 контактов.		
(не указано)	Печатная плата №4 выходного блока №6	Модуль №5 (4)	800	Получение сигнала из переходников жгута. На 1 плате – 128 (4 контакта на канал) контактов, однако доказана работоспособность и с 8 контактами на канал	AliExpress	300
(не указано)	Разъемные штыри с расстоянием 2.54мм	PLS-40 (DS1021- 1x40)	26x15	Соединение жесткой сцепкой модулей №2 и №3 между собой в различных комбинациях. Экономит провод МГШВ 0.12мм ² . Продается 10 планок по 40 пинов. Можно использовать и изогнутые на 90 градусов штыри, что позволит сэкономить габариты в горизонтальной плоскости (но паять уже неудобно)	10 шт. 2.54 1x40	3x31
(не указано)	Панелька для микросхем DIP16 узкая	SCS-16 (DS1009- 16AN)	8	Плата изобилирует количеством проводов и местами пайки - удобнее заменять микросхемы в случае выхода из строя. Панельки крайне важны, т.к. микросхемы могут быть убиты наводками с паяльника. Нужно зафиксировать оловом каждую ножку: при смене микросхемы возможно их выпадение из корпуса панельки	Дешевле нет	8
(не указано)	Панелька для микросхем DIP24 (широкая)	SCL-24 (DS1009- 24AW)	17x7	Удобство добавления новых демультимплексоров	Дешевле нет	17x7
(не указано)	Держатель для предохранителя	FN-102	2x20	Опционально. Проще napаять на провод или в плату	Дешевле нет	2x20
(не указано)	Провод	МГШВ 0.12	307x13	Ток не будет превышать 0.17А. Общая длина взята из расчета 30см/контакт	Дешевле нет	307x13
(не указано)	Провода М+М (со	Совсем не	-	Как замена обычным проводам:	Dupont cable	400x1.15

	штырьками) для микропроцессоров Arduino (dupont cable)	выгодно		сразу связка-шлейф, фиксированная длина, луженые наконечники. Предпочтительная длина 10 и 20см		
(не указано)	Термоусадка 1мм	HTS-2 2/1	10x5	Усиление и изоляция внутренних контактов разъемов. Продается в МПО "Электромонтаж"	Дешевле нет	10x5
(не указано)	Шпилька М4 или длинные болты М4	-	-	Соединение плат по принципу этажерки	-	-
				~119000руб – запчасти. Расчет трудоемкости - исходя из зарплаты и загруженности техника. В случае простоя техника затраты трудоемкости будут равны 0		
			Итого		Итого	~105500руб

Приложение В. Данные тестирования ПО «Уникализатор сопротивлений v.1.2 FINAL», в дополнение к таблице 3.2.4.

Таблица В.1. Моделирование в Multisim: проверка минимального напряжения для выставленной точности цифрового анализатора, рассчитанного Уникализатором сопротивлений v.1.2 FINAL.

R / Комбинация R	1024, 2048, 4096, 8192, 16384				2, 8, 32, 128, 512			
	U_{мин.} ±0.001, +0.002, В	0.123	0.124	0.125	0.126	1.363	1.364	1.365
0 0 0 0 0 1	0.043	0.043	0.043	0.044	0.586	0.586	0.587	0.587
0 0 0 0 1 0	0.026	0.026	0.026	0.027	0.216	0.216	0.216	0.217
0 0 0 0 1 1	0.055	0.055	0.056	0.056	0.661	0.662	0.662	0.663
0 0 0 1 0 0	0.014	0.015	0.015	0.015	0.061	0.061	0.061	0.061
0 0 0 1 0 1	0.049	0.05	0.05	0.05	0.606	0.606	0.607	0.607
0 0 0 1 1 0	0.035	0.035	0.036	0.036	0.26	0.26	0.26	0.26
0 0 0 1 1 1	0.059	0.06	0.06	0.061	0.678	0.678	0.679	0.679
0 0 0 1 0 0 0	0.007	0.007	0.007	0.007	0.016	0.016	0.016	0.016
0 0 0 1 0 0 1	0.046	0.046	0.047	0.047	0.591	0.591	0.592	0.592

0001010	0.031	0.031	0.031	0.031	0.227	0.227	0.228	0.228
0001011	0.057	0.058	0.058	0.058	0.665	0.666	0.666	0.667
0001100	0.02	0.021	0.021	0.021	0.076	0.076	0.076	0.076
0001101	0.052	0.052	0.053	0.053	0.611	0.611	0.612	0.612
0001110	0.039	0.039	0.04	0.04	0.27	0.27	0.271	0.271
0001111	0.061	0.062	0.062	0.063	0.682	0.682	0.683	0.683
0010000	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
0010001	0.044	0.045	0.045	0.046	0.587	0.587	0.588	0.588
0010010	0.028	0.029	0.029	0.029	0.219	0.219	0.219	0.219
0010011	0.056	0.056	0.057	0.057	0.662	0.663	0.663	0.664
0010100	0.018	0.018	0.018	0.018	0.065	0.065	0.065	0.065
0010101	0.051	0.051	0.051	0.052	0.607	0.608	0.608	0.609
0010110	0.037	0.037	0.038	0.038	0.262	0.263	0.263	0.263
0010111	0.06	0.061	0.061	0.062	0.679	0.679	0.68	0.68
0011000	0.011	0.011	0.011	0.011	0.02	0.02	0.02	0.02
0011001	0.048	0.048	0.048	0.049	0.592	0.593	0.593	0.593
0011010	0.033	0.033	0.034	0.034	0.23	0.23	0.23	0.231
0011011	0.058	0.059	0.059	0.06	0.666	0.667	0.667	0.668
0011100	0.023	0.023	0.024	0.024	0.079	0.079	0.079	0.08
0011101	0.053	0.054	0.054	0.055	0.612	0.613	0.613	0.614
0011110	0.041	0.041	0.042	0.042	0.273	0.273	0.273	0.273
0011111	0.063	0.063	0.064	0.064	0.683	0.683	0.684	0.684

Таблица В.2. Моделирование в Multisim: проверка минимального напряжения для выставленной точности цифрового анализатора, рассчитанного Уникализатором сопротивлений v.1.2 FINAL.

R / Комбинация R	1, 6, 10, 19, 22			
U_{мин.} ±0.001, +0.002, В	2.646	2.647	2.648	2.649
0000001	1.169	1.169	1.169	1.17
0000010	0.308	0.308	0.308	0.309
0000011	1.27	1.27	1.271	1.271
0000100	0.194	0.194	0.194	0.194
0000101	1.231	1.232	1.232	1.232
0000110	0.461	0.461	0.461	0.461
0000111	1.324	1.325	1.325	1.326
0001000	0.106	0.106	0.106	0.106

0001001	1.202	1.203	1.203	1.204
0001010	0.391	0.391	0.391	0.392
0001011	1.299	1.3	1.3	1.301
0001100	0.285	0.285	0.285	0.285
0001101	1.262	1.262	1.263	1.263
0001110	0.534	0.534	0.534	0.534
0001111	1.351	1.352	1.352	1.353
0010000	0.092	0.092	0.092	0.092
0010001	1.198	1.198	1.199	1.199
0010010	0.38	0.38	0.38	0.381
0010011	1.295	1.296	1.296	1.297
0010100	0.273	0.273	0.273	0.273
0010101	1.258	1.258	1.259	1.259
0010110	0.524	0.524	0.524	0.525
0010111	1.348	1.348	1.349	1.349
0011000	0.191	0.191	0.191	0.191
0011001	1.23	1.23	1.231	1.231
0011010	0.458	0.458	0.459	0.459
0011011	1.323	1.324	1.324	1.325
0011100	0.358	0.359	0.359	0.359
0011101	1.287	1.288	1.288	1.289
0011110	0.592	0.593	0.593	0.593
0011111	1.374	1.374	1.375	1.375

Приложение Г. Внешний вид модулей печатных плат тестера жгутов УТЖ-1024-Ч-03 и краткие инструкции к ним (по принципиальной схеме рисунка 3.1.2).

Данные платы:

- были изготовлены на AliExpress у продавца «E-visiontek Store»;
- суммарно – 82\$ за 20 плат (по 5шт);
- ссылка на изготовителя - <https://ru.aliexpress.com/item/PCB-Board-Manufactur-FR4-PCB-Prototype-Protoboard-Manufacture-PCB-Manufacturing-2-Layers-Double-Sided-DIY-Solder/32822283132.html>.

Параметры плат:

- материал основы: FR4;
- мин. размер отверстия: 0.72мм;
- толщина меди: 1oz;

- цвет маски: Green;
- бесплатная доставка в РФ;
- цвет легенды: белый;
- толщина платы: 1.0мм;
- количество слоев: 2 слоя.

Данные платы были модифицированы после изготовления, поэтому актуальные варианты (в т.ч. Gerber-файлы), доступны по ссылке <http://www.bad-good.ru/2017/august/test-conductors-2.html>.

Модуль №1: блоки принципиальной схемы №1, №2, частично №3 (микросхемы DD3-DD11), №7. Задача: подготовка входных информационных, управляющих и питающих выводов для дочерних демультиплексоров. Примечание: пилообразное расположение контактов Y0...Y7 демультиплексоров из-за сжатого расположения элементов.

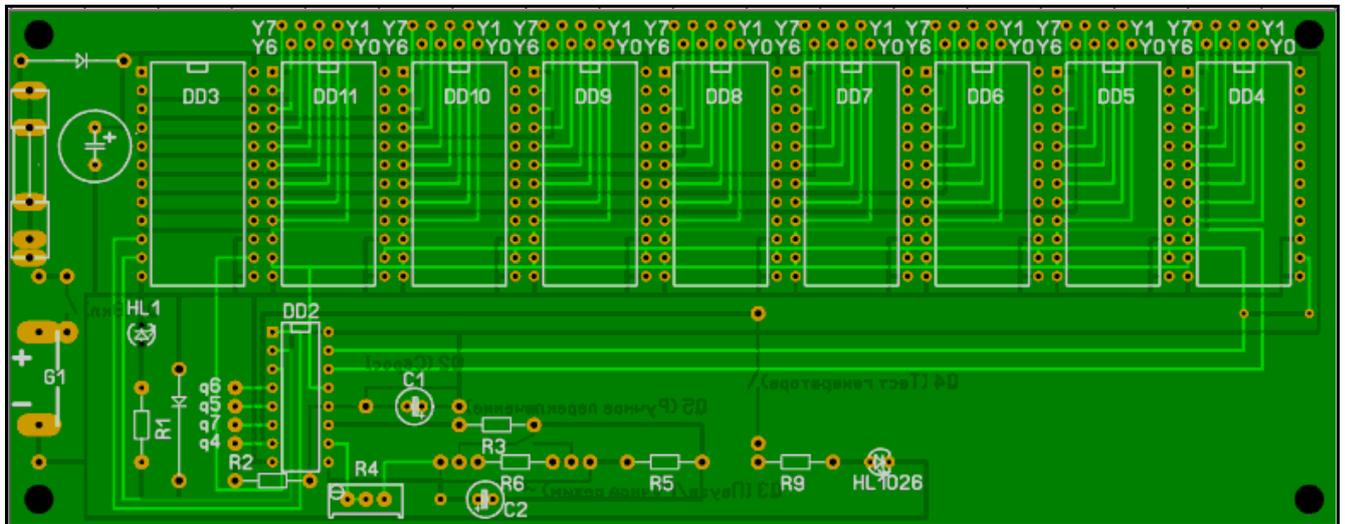


Рисунок Г.1. Модуль №1.

Модуль №2: частично блок принципиальной схемы №3 (микросхемы DD12-DD19). Задача: подготовка выходных информационных выводов конечных демультиплексоров (1 модуль - 128 контактов). Металлизированные отверстия q4..q7 и питания позволяют каскадно устанавливать модули №2 друг на друга. В случае без использования транзисторов провода на модуль №3 идут с отверстий «Б» (база транзистора при отсутствии транзистора). В случае с использованием транзисторов провода на модуль №3 идут с отверстий «Выход» (эмиттер транзистора при присутствии транзистора).

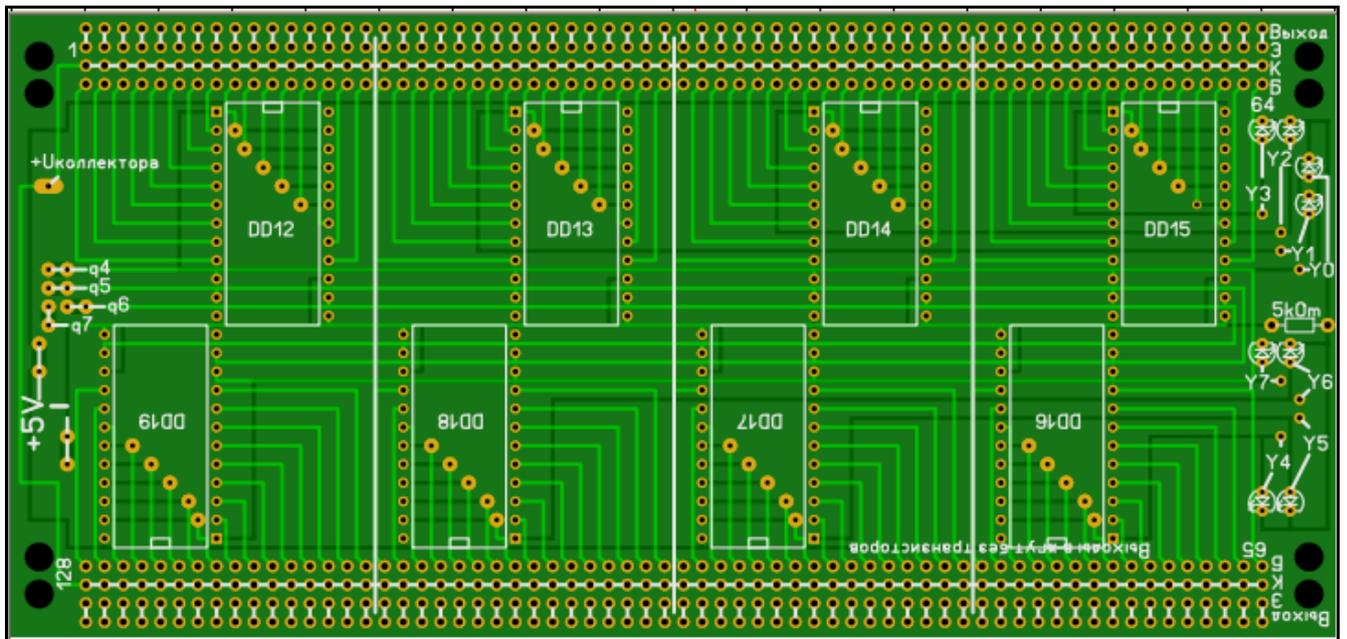


Рисунок Г.2. Модуль №2.

Модуль №3: блок №4 принципиальной схемы. Задача: обеспечение возможности подключения 23-27 разъемов на модуль. Возможно использование нескольких модулей одновременно, увеличивая суммарное количество разъемов.

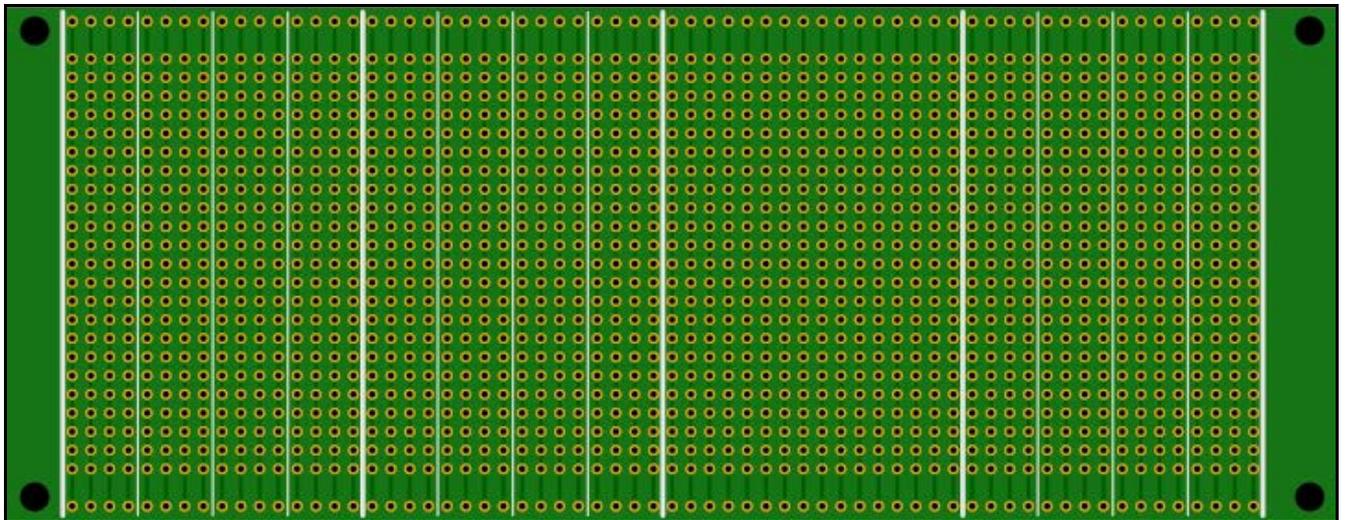


Рисунок Г.3. Модуль №3.

Модуль №4: блок №6 принципиальной схемы. Задача: прием сигнала светодиодом после посылы из модуля №3 через ответные разъемы тестируемого жгута и сам жгут (256 контактов).

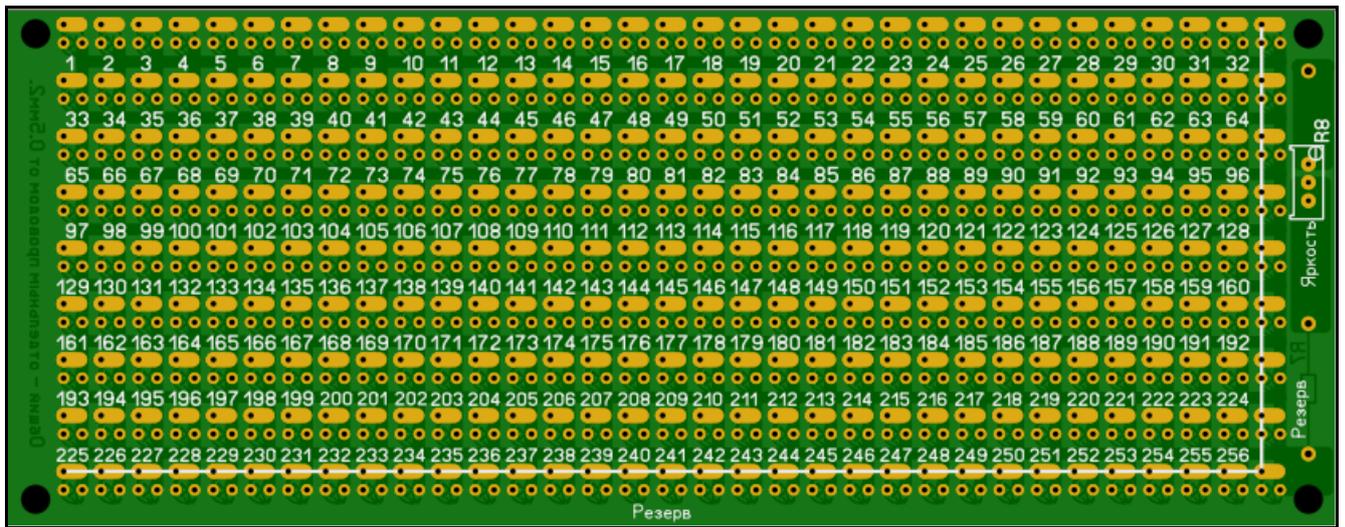


Рисунок Г.4. Модуль №4.

Продолжения модуля №4:

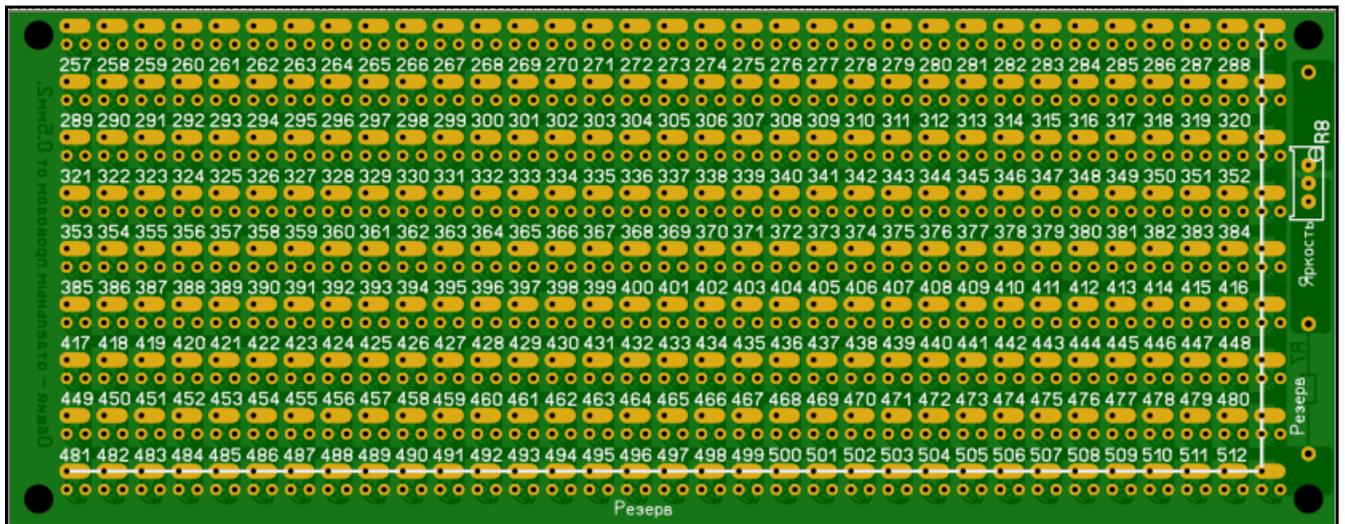


Рисунок Г.5. Модуль №4.2.

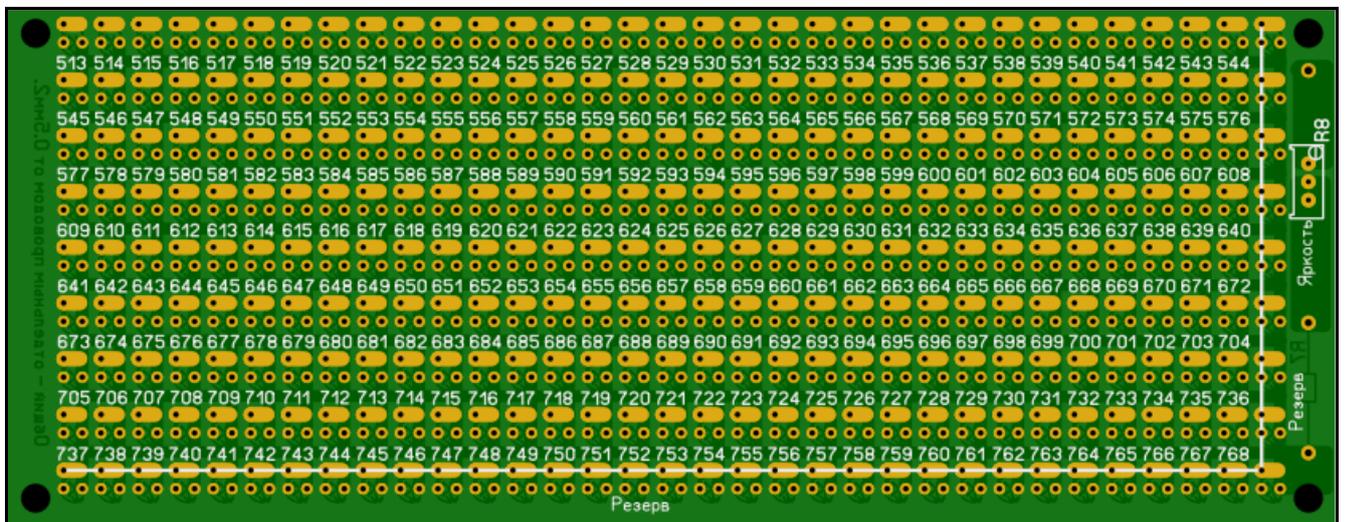


Рисунок Г.6. Модуль №4.3.

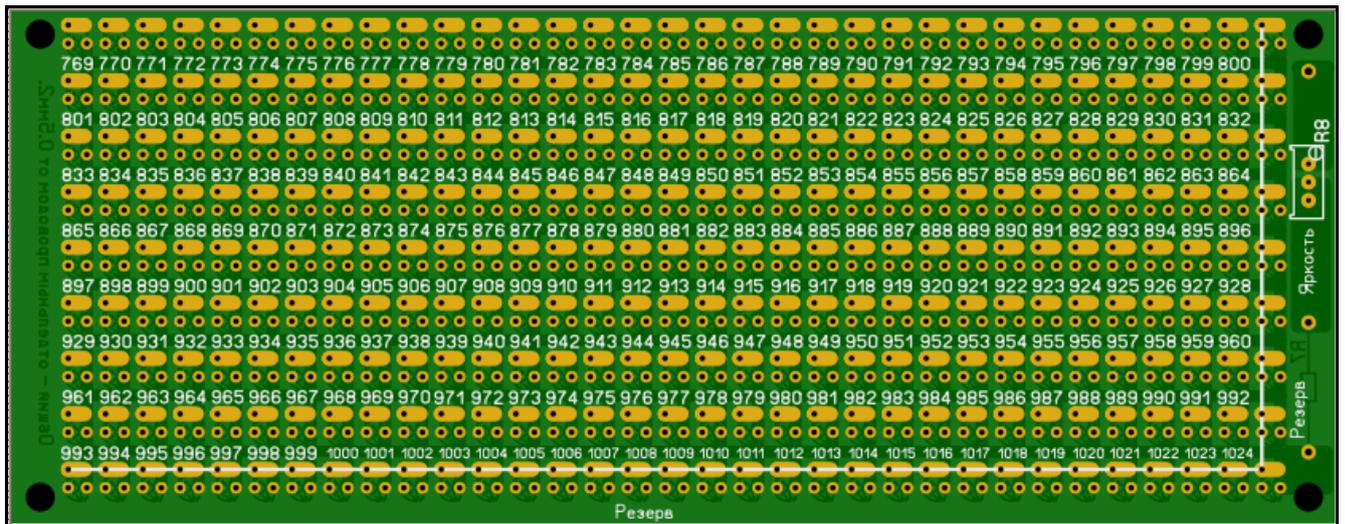


Рисунок Г.7. Модуль №4.4.

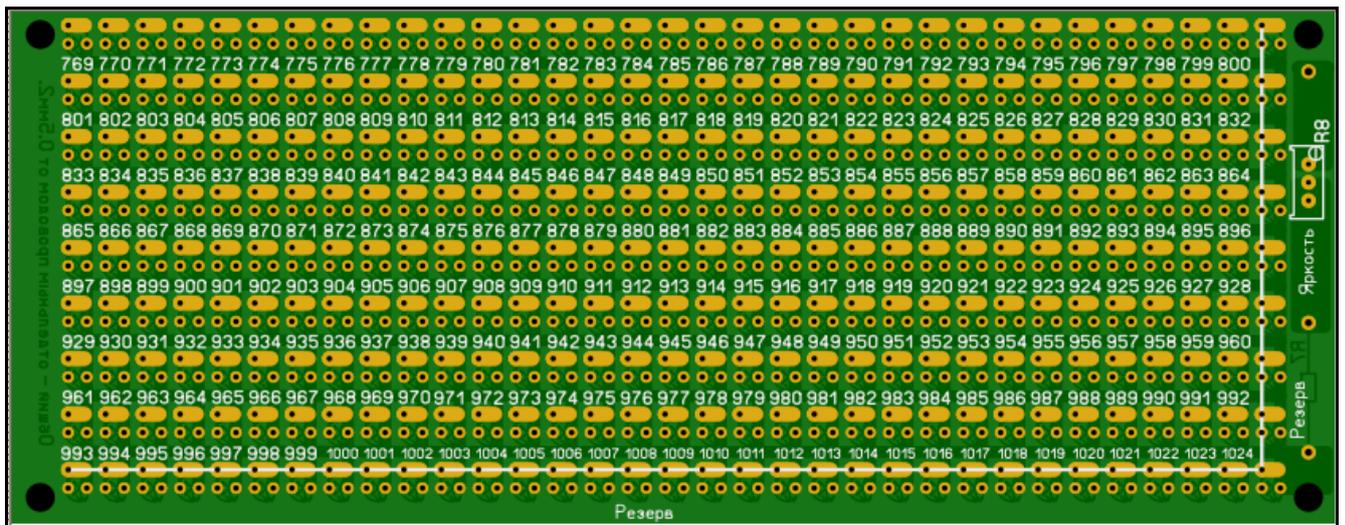


Рисунок Г.8. Модуль №4.5.



Рисунок Г.9. Модуль №4.б.

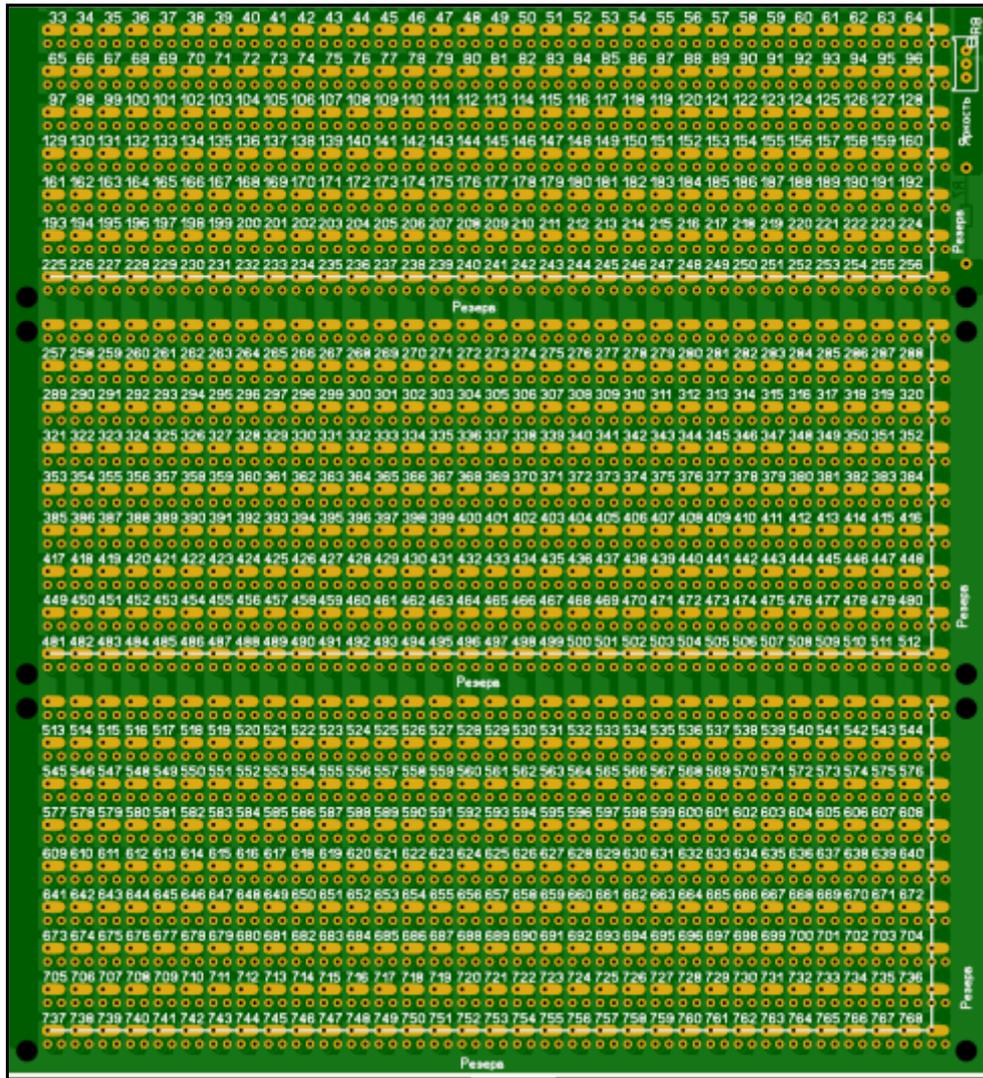


Рисунок Г.10. Модуль №4.7. 1-1024 контакта – по аналогии.

Приложение Д. Результаты измерений для УТЖ-1024-А-01, при использовании сразу 8 проводников в одном канале платы аналогового ввода.

Таблица Д.1. Измеренные напряжения с комбинаций из 8 каналов, опорное напряжение - +10В. Точность настройки резисторов и шунта ±1.17% (с учетом измерения самым дешевым мультиметром, процент может быть и больше).

Комбинация каналов (имитация замыкания)	Результат для резисторов {256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384, 32768}Ом с шунтом 129Ом, В*
0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1	4.176
0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 0	2.366

0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 1	5.248
0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 0	1.281
0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 1	4.738
0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 0	3.197
0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 1	5.664
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 0	0.674
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 1	4.461
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 0 + 2 + 0	2.798
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 0 + 2 + 1	5.398
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 3 + 0 + 0	1.816
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 3 + 0 + 1	4.920
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 3 + 2 + 0	3.561
0 + 0 + 0 + 0 + 4 + 3 + 2 + 1	5.860
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0	0.035
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 0 + 0 + 1	4.191
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 0 + 2 + 0	2.384
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 0 + 2 + 1	5.256
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 3 + 0 + 0	1.270
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 3 + 0 + 1	4.749
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 3 + 2 + 0	3.218
0 + 0 + 0 + 5 + 0 + 3 + 2 + 1	5.679
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 0 + 0 + 0	0.709
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 0 + 0 + 1	4.470
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 0 + 2 + 0	2.759
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 0 + 2 + 1	5.471
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 3 + 0 + 0	1.970
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 3 + 0 + 1	5.046
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 3 + 2 + 0	3.513
0 + 0 + 0 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1	5.913
0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0	0.177
0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1	4.243
0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 0 + 2 + 0	2.480
0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 0 + 2 + 1	5.295
0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 3 + 0 + 0	1.421

$0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.793
$0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.298
$0 + 0 + 6 + 0 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.722
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.832
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 0 + 0 + 1$	5.435
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.902
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.520
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 3 + 0 + 0$	1.944
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.043
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.657
$0 + 0 + 6 + 0 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.863
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.213
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.262
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.504
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.318
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.448
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.818
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.314
$0 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.720
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.862
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.537
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.867
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.521
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 0$	1.973
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.051
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.601
$0 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.873
$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.088
$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.189
$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.420
$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.270
$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.351
$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.764
$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.252

$0 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.694
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.758
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.500
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.855
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.492
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 3 + 0 + 0$	1.883
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.017
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.613
$0 + 7 + 0 + 0 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.884
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.128
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.226
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.448
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.290
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.378
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.782
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.268
$0 + 7 + 0 + 5 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.695
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.934
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.480
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.860
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.480
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 3 + 0 + 0$	1.894
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 3 + 0 + 1$	4.996
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.614
$0 + 7 + 0 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.870
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.259
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.268
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.522
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.314
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.478
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.811
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.330
$0 + 7 + 6 + 0 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.728
$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.901

$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.549
$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.944
$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.535
$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 3 + 0 + 0$	1.996
$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.065
$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.685
$0 + 7 + 6 + 0 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.917
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.295
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.281
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.545
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.324
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.506
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.823
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.349
$0 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.735
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.933
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.559
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.963
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.533
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 0$	2.020
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.067
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.701
$0 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.923
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.044
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.167
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.381
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.239
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.277
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.728
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.212
$8 + 0 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.660
$8 + 0 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.708
$8 + 0 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.454
$8 + 0 + 0 + 0 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.814

$8+0+0+0+4+0+2+1$	5.407
$8+0+0+0+4+3+0+0$	1.838
$8+0+0+0+4+3+0+1$	4.977
$8+0+0+0+4+3+2+0$	3.576
$8+0+0+0+4+3+2+1$	5.852
$8+0+0+5+0+0+0+0$	0.079
$8+0+0+5+0+0+0+1$	4.181
$8+0+0+5+0+0+2+0$	2.404
$8+0+0+5+0+0+2+1$	5.258
$8+0+0+5+0+3+0+0$	1.333
$8+0+0+5+0+3+0+1$	4.748
$8+0+0+5+0+3+2+0$	3.233
$8+0+0+5+0+3+2+1$	5.674
$8+0+0+5+4+0+0+0$	0.740
$8+0+0+5+4+0+0+1$	4.472
$8+0+0+5+4+0+2+0$	2.837
$8+0+0+5+4+0+2+1$	5.469
$8+0+0+5+4+3+0+0$	1.863
$8+0+0+5+4+3+0+1$	4.991
$8+0+0+5+4+3+2+0$	3.593
$8+0+0+5+4+3+2+1$	5.864
$8+0+6+0+0+0+0+0$	0.218
$8+0+6+0+0+0+0+1$	4.242
$8+0+6+0+0+0+2+0$	2.494
$8+0+6+0+0+0+2+1$	5.297
$8+0+6+0+0+3+0+0$	1.444
$8+0+6+0+0+3+0+1$	4.792
$8+0+6+0+0+3+2+0$	3.306
$8+0+6+0+0+3+2+1$	5.711
$8+0+6+0+4+0+0+0$	0.864
$8+0+6+0+4+0+0+1$	4.525
$8+0+6+0+4+0+2+0$	2.916
$8+0+6+0+4+0+2+1$	5.510
$8+0+6+0+4+3+0+0$	1.964

$8 + 0 + 6 + 0 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.038
$8 + 0 + 6 + 0 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.662
$8 + 0 + 6 + 0 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.900
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.253
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.256
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.515
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.308
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.471
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.800
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.325
$8 + 0 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.717
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.893
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.535
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.937
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.518
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 0$	1.988
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.049
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.679
$8 + 0 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.906
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0$	0.131
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.200
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.437
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.263
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.375
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.754
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.259
$8 + 7 + 0 + 0 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.684
$8 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.787
$8 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.493
$8 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.868
$8 + 7 + 0 + 0 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.484
$8 + 7 + 0 + 0 + 4 + 3 + 0 + 0$	1.904
$8 + 7 + 0 + 0 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.010
$8 + 7 + 0 + 0 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.621

$8+7+0+0+4+3+2+1$	5.877
$8+7+0+5+0+0+0+0$	0.166
$8+7+0+5+0+0+0+1$	4.225
$8+7+0+5+0+0+2+0$	2.463
$8+7+0+5+0+0+2+1$	5.283
$8+7+0+5+0+3+0+0$	1.400
$8+7+0+5+0+3+0+1$	4.778
$8+7+0+5+0+3+2+0$	3.280
$8+7+0+5+0+3+2+1$	5.698
$8+7+0+5+4+0+0+0$	0.818
$8+7+0+5+4+0+0+1$	4.511
$8+7+0+5+4+0+2+0$	2.888
$8+7+0+5+4+0+2+1$	5.499
$8+7+0+5+4+3+0+0$	1.929
$8+7+0+5+4+3+0+1$	5.027
$8+7+0+5+4+3+2+0$	3.639
$8+7+0+5+4+3+2+1$	5.891
$8+7+6+0+0+0+0+0$	0.302
$8+7+6+0+0+0+0+1$	4.285
$8+7+6+0+0+0+2+0$	2.550
$8+7+6+0+0+0+2+1$	5.328
$8+7+6+0+0+3+0+0$	1.511
$8+7+6+0+0+3+0+1$	4.828
$8+7+6+0+0+3+2+0$	3.353
$8+7+6+0+0+3+2+1$	5.737
$8+7+6+0+4+0+0+0$	0.939
$8+7+6+0+4+0+0+1$	4.566
$8+7+6+0+4+0+2+0$	2.968
$8+7+6+0+4+0+2+1$	5.539
$8+7+6+0+4+3+0+0$	2.026
$8+7+6+0+4+3+0+1$	5.073
$8+7+6+0+4+3+2+0$	3.703
$8+7+6+0+4+3+2+1$	5.924
$8+7+6+5+0+0+0+0$	0.335

$8 + 7 + 6 + 5 + 0 + 0 + 0 + 1$	4.295
$8 + 7 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 0$	2.570
$8 + 7 + 6 + 5 + 0 + 0 + 2 + 1$	5.339
$8 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 0$	1.538
$8 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 0 + 1$	4.837
$8 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 0$	3.371
$8 + 7 + 6 + 5 + 0 + 3 + 2 + 1$	5.743
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 0$	0.969
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 0 + 1$	4.579
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 0$	2.988
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 0 + 2 + 1$	5.546
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 0$	2.045
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 0 + 1$	5.071
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 0$	3.714
$8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1$	5.929

*Реальные величины – {259, 516, 1023, 2045, 4098, 8147, 16410, 32760} Ом с шунтом 130.5 Ом. Реальное напряжение - +12.18 В. Плата аналогового ввода PCI-1713U имеет периодическое смещение нуля 0.0048 В, корректируется тысячекратным измерением и вычислением среднего арифметического. Отмечается большой разброс однократных измерений.

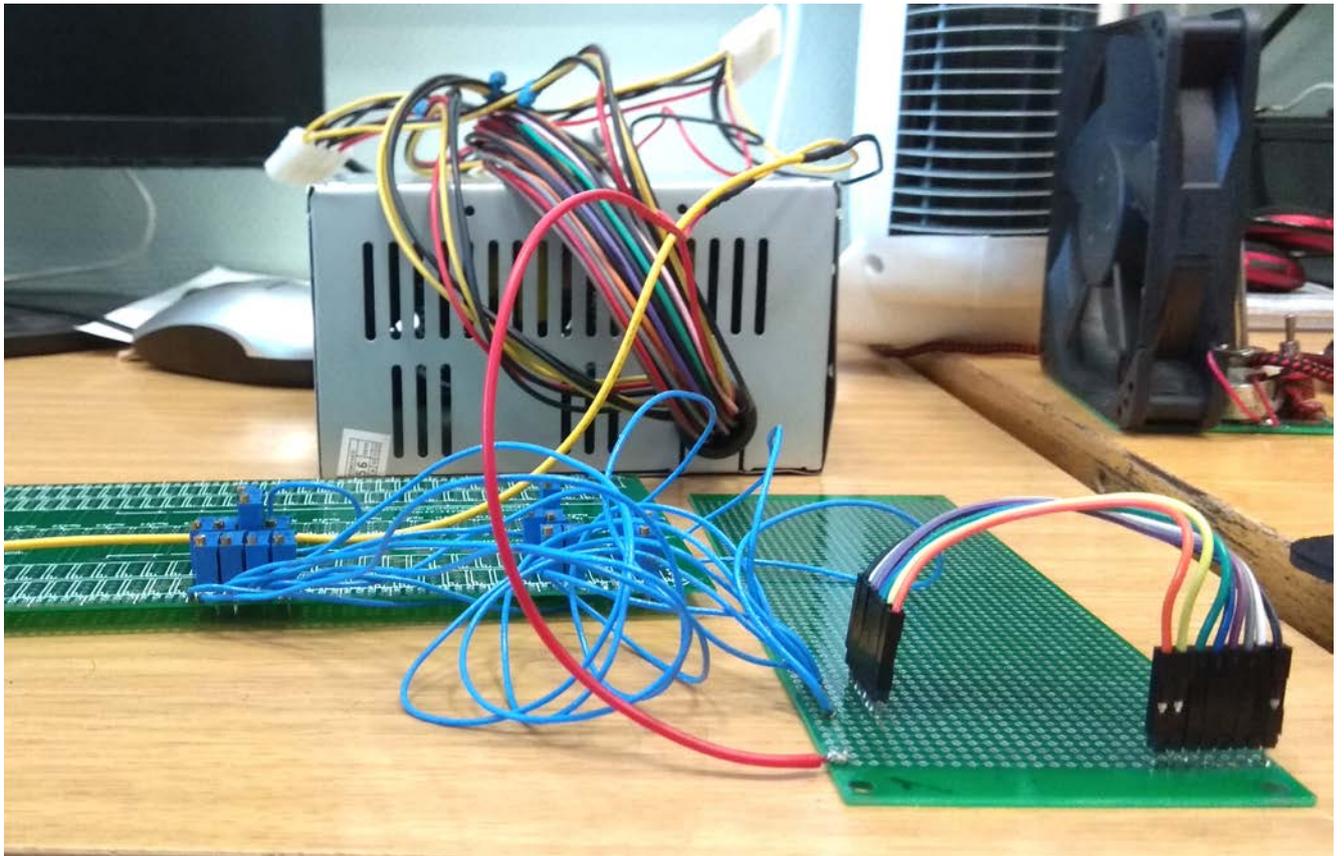


Рисунок Д.1. Тестовый стенд измерения напряжений. Плата «4 проводника на канал» переделана в «8 проводников на канал». Проводами «dupont cable» от Arduino соединялись нужные комбинации. Плата, как в случае и с тестом с 4 проводниками, подключалась к плате аналогового ввода через прямой жгут М-М, с целью размещения на столе.

Научное издание

Белов Сергей Павлович

**Разработка экономичных тестеров жгутов
на основе транзисторов и уменьшенного количества
анализаторов сигналов**

Монография

Опубликовано в авторской редакции

Доступ к монографии – свободный.
Режим доступа: <http://nkras.ru/arhiv/2019/belov.pdf>
Сборник содержится в едином файле PDF.

Дата выхода в свет 31.01.2019.
Свободная цена. Заказ 787/19.

По вопросам приобретения и издания литературы обращаться по адресу:

Издательство «Научно-инновационный центр»
ул. 9 Мая, 5/192, г. Красноярск, 660127 Россия
тел. +7 (923) 358-10-20
Электронная почта: monography@nkras.ru
Дополнительная информация на сайте: www.nkras.ru