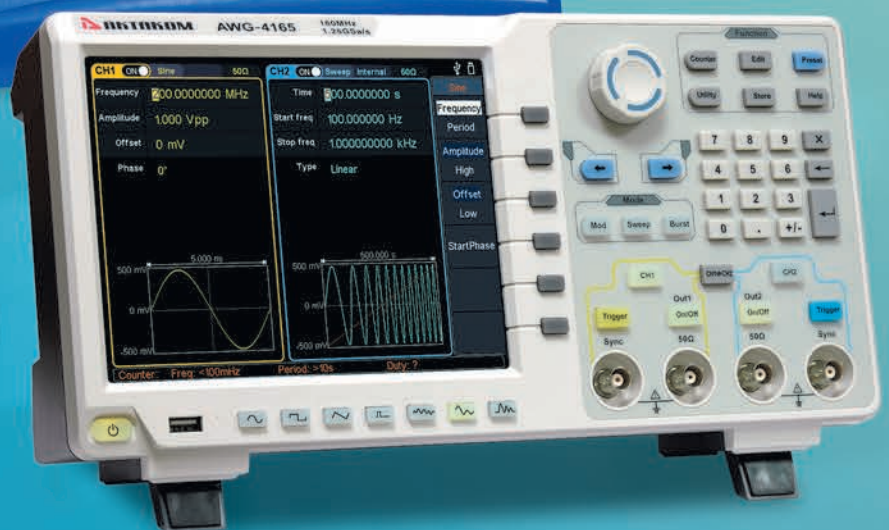


КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Test & Measuring Instruments and Systems

ИЮНЬ 2020

Универсальные генераторы СИГНАЛОВ



АКТАКОМ
ТОЧНО | НАДЕЖНО | ДОСТУПНО

20 лет с Вами
ваш АКТАКОМ!



ТОКОВЫЕ КЛЕЩИ превосходный выбор



АТК-2103

Измерение токов до 2000 А

- Измерение постоянного/ переменного тока: 0,1...2000 А
- Измерение малых токов от 0,1 мкА
- Базовая погрешность: 1,2%
- Встроенный мультиметр



АСМ-2311

Большой охват магнитопровода

- Измерение переменного тока до 1000 А
- Измерение постоянного и переменного напряжения до 1000 В
- Измерение ёмкости до 100 мкФ



АСМ-2368

Универсальность и многофункциональность

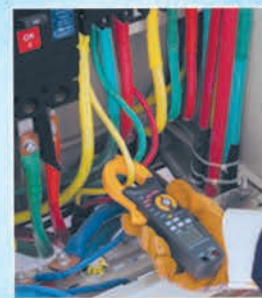
- Измерение постоянного/ переменного тока: 0,1...1000 А
- Измерение постоянного/ переменного напряжения: 1 мВ...600 В
- Базовая погрешность: 1,5%
- Компактный размер



АТК-2200

Измерение мощности в одно- и трехфазных сетях до 1200 кВт

- Измерение постоянного/ переменного тока: 0,1...2000 А
- Измерение постоянного/ переменного напряжения: 0,1...600 В
- Базовая погрешность: 1,5%



АТК-2021В

Регистрация малых токов

- Измерение постоянного/ переменного тока: 0,01...200 А
- Встроенный многофункциональный мультиметр
- Базовая погрешность: 1,5%



АТК-2011

Токосые клещи для измерения больших токов

- TrueRMS измерения
- Измерение переменного тока до 3000 А
- Гибкий магнитопровод диаметром 170 мм
- Регистрация MIN и MAX значений
- Регистрация пиковых значений



АСМ-4012

Измерение сопротивления заземления от 0,001 Ом

- Измерение переменного тока: 1 мА...30 А
- Базовая погрешность: 1,0%
- Скорость измерения: 1 изм/с
- Автоматический выбор диапазона



АТК-1010

Бюджетный вариант токовых клещей-мультиметров

- Измерение переменного тока до 1000 А
- Измерение постоянного (до 1000 В) и переменного (до 700 В) напряжения
- Измерение сопротивления, частоты и температуры



АСМ-2056

Бесконтактный датчик напряжения

- Измерение постоянного/ переменного тока: 0,1...1000 А
- Измерение постоянного/ переменного напряжения: 0,1 мВ...600 В / 1 мВ...600 В
- Базовая погрешность: 1,5%
- Большой дисплей

Большинство приборов в Государственном Реестре средств измерений!



ЭЛИКС, 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный)
Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru

БОЛЬШЕ ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru



Главный редактор (Editor-in-Chief)

Александр Афонский (Alexander Afonskiy)

Учредители (Founders)

МГТУ им. Н.Э.Баумана**(MSTU named after N.E. Bauman)****РОСТЕСТ-Москва (ROSTEST-Moscow)****ВНИИФТРИ (VNIIFTRI)****ООО «ЭЛИКС+» (ELIKS+ Ltd.)**

Редакционная коллегия (Editorial Board)

Александр Афонский (Alexander Afonskiy)**Татьяна Афонская (Tatiana Afonskaya)****Александр Черников (Alexander Chernikov)**

Заместитель главного редактора

(Deputy Editor-in-Chief)

Татьяна Афонская (Tatiana Afonskaya)

Издательство ООО «ЭЛИКС+»

Журнал зарегистрирован

в Комитете РФ по печати.

Свидетельство о регистрации

№015442 от 25 ноября 1996 г.

This magazine has been registered at
the Russian Federation Press Committee.
Reg. №015442 granted 25th November 1996.

Подписной индекс по каталогу
Агентства «Роспечать» — 80113, 81945;
по Объединенному каталогу
«Пресса России» — 34159

Адрес редакции:
115211 г. Москва, Каширское ш., 57-5.

Телефон/факс: (495) 344-99-21

E-mail: editor@kipis.ru

Интернет: www.kipis.ru, www.tmi-s.com

По информационным материалам,
опубликованным в журнале,
редакция дает справки.

Редакция не несет ответственности
за достоверность информации,
опубликованной в рекламных объявлениях.

Мнение редакции не всегда совпадает
с точкой зрения авторов.

При перепечатке ссылка на журнал
«КИПС» обязательна.

Отпечатано в типографии
ООО «Пионер».

© «КИПС», 2020 Цена свободная

Уважаемые читатели!

20 мая 2020 г. прошла конференция МетролЭкспо, приуроченная к празднованию Всемирного дня метрологии. Конференция впервые была проведена в новом онлайн-формате на YouTube-канале Росстандарта и получила название МетролLIVE. Как это было, читайте на страницах этого номера журнала.

Продолжает тему «Метрология» статья профессора Левина С.Ф. «Математическая теория измерительных задач: приложения. Катастрофический феномен «1985–1986», менеджмент риска и ISO/IEC 17025–2019». 1 сентября 2019 года вступил в силу стандарт ИСО/МЭК 17025–2019, описывающий общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. В своей статье автор привел исторические факты, рассказал об анализе управления рисками и особенностях данного стандарта и постарался ответить на вопрос, возможна ли взаимосвязь этих составляющих, и можно ли ее считать правильной.

В статье «Решения АКТАКОМ для оснащения электротехнических лабораторий» рассказывается о нескольких, наиболее важных, приборах АКТАКОМ, используемых ЭТЛ при проведении диагностики электрических сетей. С помощью надежных, недорогих и современных приборов АКТАКОМ можно проводить периодическую профилактику и диагностику сетей, заблаговременно обнаруживать различного рода дефекты и устранять причину их возникновения.

О других популярных приборах АКТАКОМ читайте в статье «Источники питания переменного тока АКТАКОМ APS-4215 и APS-4240». Семейство лабораторных источников питания АКТАКОМ пополнилось двумя новыми высокотехнологичными источниками питания переменного тока. Несмотря на то, что ассортимент лабораторных источников питания АКТАКОМ насчитывает более 60 разнообразных моделей, появление новых источников было долгожданным, а расширенный функционал новых приборов явно показывает, какой эволюционный путь может быть пройден за 5–6 лет.

Авторы статьи «Измерения фазовых шумов импульсных сигналов с использованием анализаторов фазового шума R&S FSWP» Румянцев К.В. и Лемешко Н.В. анализируют спектральные особенности импульсных сигналов и теоретические ограничения, определяющие и импульсный режим работы; оценивают зависимость параметров шума от характеристик модулирующих импульсов; рассматривают метод цифровой фазовой демодуляции с взаимной корреляцией обработки; а также описывают функциональные особенности анализаторов R&S FSWP.

Еще больше информации вы найдете на сайте www.kipis.ru.

С уважением, Главный редактор Александр Афонский



Dear readers!

On May 20, 2020 MetroExpo conference dedicated to the celebration of World Metrology Day was held. This was the first conference held in a new online format on Rosstandart YouTube channel and it was called MetroLIVE. Read more about this even on pages of this new magazine issue.

«Metrology» topic is continued in article by Professor S. Levin «Mathematical theory of measurement problems: applications. Catastrophically phenomenon «1985–1986», Risk management and ISO/IEC 17025–2019». On September 1, 2019 ISO/IEC 17025–2019 came into force. This standard describes the general competence requirements for testing and calibration laboratories. In the present article professor S. Levin unites catastrophic historical facts, risk management analysis and this standard and considers whether this interconnection is actually possible and correct.

Article «AKTAKOM solutions to equip electrotechnical laboratories» describes several of the most important AKTAKOM devices used by electrical laboratories for electrical networks testing. With the help of reliable, inexpensive and advanced AKTAKOM devices it is possible to take periodic preventive measures and network diagnostics, to detect different kinds of defects in advance as well as to eliminate the cause of their occurrence.

Read article «AKTAKOM APS-4215 and APS-4220 AC power supplies» and you will get to know about other popular AKTAKOM devices. AKTAKOM family of laboratory power supplies has replenished with two new highend AC power supplies. Despite the fact that the range of AKTAKOM laboratory power supplies includes over 60 different models the release of the new models was rather long-awaited and the expanded functionality of these new devices clearly shows what evolutionary path can be covered within 5–6 years.

The authors of article «Pulsed phase noise measurements with R&S FSWP phase noise analyzer» K. Rummyantsev and N. Lemeshko analyze the spectral features of such signals and theoretical limitations determined by the pulse operation mode; estimate the dependence of the noise parameters on the modulating pulses characteristics; consider the digital phase demodulation method with cross-correlation processing; describe the functional features of R&S FSWP analyzers.

You will find much more information on our website www.kipis.ru.

Best regards, Alexander Afonskiy, Editor-in-Chief

Содержание

Contents

Новости от Keysight Technologies, Rohde & Schwarz, Tektronix и др.	4	News from Keysight Technologies, Rohde & Schwarz, Tektronix and others
Математическая теория измерительных задач: приложения. Катастрофический феномен «1985–1986», менеджмент риска и ISO/IEC 17025–2019 Левин С.Ф.	6	Mathematical theory of measurement problems: applications. Catastrophically phenomenon «1985–1986», Risk management and ISO/IEC 17025–2019 S. Levin
МетролLIVE 2020 — новый формат конференции по метрологии	13	MetroLIVE 2020 — new format of metrology conference
Источники питания переменного тока АКТАКОМ APS-4215 и APS-4220	15	AKTAKOM APS-4215 and APS-4220 AC power supplies
Решения АКТАКОМ для оснащения электротехнических лабораторий	20	AKTAKOM solutions to equip electrotechnical laboratories
Обнаружение БПЛА с использованием анализатора спектра реального времени	26	Detecting drones using a real-time spectrum analyzer
Измерения фазовых шумов импульсных сигналов с использованием анализаторов фазового шума R&S FSWP Румянцев К.В., Лемешко Н.В.	28	Pulsed phase noise measurements with R&S FSWP phase noise analyzer K. Rummyantsev, N. Lemeshko

На первой странице обложки:

Универсальные генераторы сигналов АКТАКОМ обладают высокой функциональностью для широкого круга сфер применения.

On the first page of the cover:

AKTAKOM general purpose signal generators have advanced functionality for a wide range of applications.

НОВАЯ СЕРИЯ ЦИФРОВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ НАЧАЛЬНОГО УРОВНЯ

Компания **Tektronix** выпустила новую серию цифровых осциллографов **TBS2000B**, которая включает в себя 6 моделей, имеющих 2 (**TBS2072B**, **TBS2102B**, **TBS2202B**) или 4 (**TBS2074B**, **TBS2104B**, **TBS2204B**) канала, полосу пропускания от 70 до 200 МГц и частоту дискретизации 2 Гвыб/с. Предусмотрена возможность обновления полосы пропускания в «полевых» условиях.

Увеличенный экран осциллографа **TBS2000B** с диагональю 9" и 15 делениями по горизонтали, а также длина записи 5 М точек, позволяют захватывать большие временные окна и более тщательно рассматривать сигналы. При помощи обновлённых элементов управления сигналами на передней панели можно легко масштабировать длинные записи. Новые схемы маломощных входов обеспечивают низкий уровень случайного шума и улучшение точности измерений.



Tektronix

В осциллографах серии **TBS2000B** применен интерфейс пробников **TekVPI™**, что позволяет использовать широкий спектр активных, дифференциальных и токовых пробников с автоматическим выбором диапазона и единиц измерения.

Экранные надписи курсоров, привязанных к сигналу, совместно с функциями установки меток и поиска, помогают быстро идентифицировать события, обнаруженные в зарегистрированном сигнале.

В осциллографе **TBS2000B** имеется поддержка Wi-Fi через аппаратный ключ USB Wi-Fi. В нём также предусмотрены 2 USB хост-порта и 1 порт 100-BaseT Ethernet, упрощающие и ускоряющие передачу результатов измерений и совместную работу между коллегами по лаборатории, а также по всему миру.

Помимо широких возможностей для анализа сигналов, осциллографы **TBS2000B** обладают рядом функций, упрощающих изучение основ инженерных дисциплин, что особенно удобно для применения в сфере образования. Так, в этих приборах имеется режим **HelpEverywhere**, в котором при навигации по опциям меню на экран выводятся подсказки, в том числе сведения об измерениях и общие инструкции в текстовом и графическом виде. Сетевое ПО **TekSmart Lab™** помогает преподавателям настраивать и контролировать сеть приборов с одного ПК. Пакет программ

Courseware позволяет преподавателям загружать информацию в **TBS2000B**, помогая студентам выполнять лабораторные работы. Эти приборы также могут управляться с помощью **TekBench™** — программного обеспечения для ПК, которое управляет осциллографами и генераторами сигналов произвольной формы и стандартных функций компании **Tektronix**. Оно предлагает интуитивно понятное управление прибором, автоматическую регистрацию данных, автоматическое измерение частотной характеристики и простой экспорт осциллограмм в требуемом формате, что значительно ускоряет и облегчает работу. Это позволяет пользователям сосредоточиться на эксперименте, а не на изучении прибора.

www.tek.com

НОВЫЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

Компания **Keysight Technologies, Inc.** объявила о начале производства четырех новых моделей двухканальных осциллографов **InfiniiVision 1000 X-Series** с полосой пропускания 50 МГц и 200 МГц, обеспечивающих профессиональное качество измерений по доступной цене.

Среди функций нового оборудования — стандартное декодирование для пяти протоколов последовательной передачи данных и возможность удаленного подключения через локальные сети (LAN) и USB-порты.

В новых осциллографах **InfiniiVision 1000 X-Series** реализованы те же пользовательские интерфейсы и технологии измерения, что и в профессиональных осциллографах **Keysight InfiniiVision**. Интуитивно понятная передняя панель, доступная теперь на 15 языках, оснащена встроенным сервисом подсказок, которая помогает новому пользователю быстро освоить функции и возможности осциллографа, а также повысить эффективность испытаний благодаря рекомендациям по настройке сложных функций анализа.

В память **InfiniiVision 1000 X-Series** предварительно загружены 16 взаимодополняющих обучающих сигналов, с помощью которых пользователи могут быстро освоить новейшие возможности измерений и анализа. К этим обучающим сигналам прилагается бесплатный комплект учебных материалов, включающий пол-

ное руководство по эксплуатации лабораторного осциллографа и презентацию по базовым сценариям использования.

Новые модели осциллографов **InfiniiVision 1000 X-Series** имеют возможность расширения диапазона рабочих частот с помощью лицензированного программного обеспечения. Это позволяет клиентам приобретать полосы частот, необходимые для решения задач в данный момент, а также обновлять и расширять функции прибора по мере развития технологий.

Осциллографы **InfiniiVision 1000 X-Series** используют технологию **Keysight MegaZoom IV ASIC**, которая обеспечивает частоту обновлений до 200 тыс. сигналов в секунду и частоту выборки 2 Гвыб/с и позволяет визуализировать случайные и редкие помехи и аномалии, которые обычный осциллограф с аналогичной стоимостью может пропустить.

Новые осциллографы позволяют экономить пространство за счет объединения шести приборов в одном: пользователям доступны анализатор АЧХ/ФЧХ (с функцией построения диаграмм Боде), генератор сигналов стандартной формы (диапазон 20 МГц), анализатор протоколов, цифровой вольтметр и частотомер.

Стандартное подключение через USB-порты и сети LAN позволяет нескольким инженерам работать на одном приборе, используя веб-браузер для дистанционного управления. Благодаря этому студенты и сотрудники могут совместно работать над проектами из любой точки мира, экономя время и деньги.

Осциллографы **InfiniiVision 1000 X-Series** предоставляют широкие измерительные возможности, в том числе функцию быстрого преобразования Фурье (БПФ) для анализа частотного диапазона и выявления малозаметных аномалий, быстрый анализ и определение параметров сигнала, а также возможность проверки сигналов на соответствие/несоответствие заданной маске со скоростью до 200 тыс. испытаний в секунду.

В новых приборах также имеется стандартная функция последовательной передачи данных, позволяющая активировать и декодировать большинство низкоскоростных протоколов последовательной передачи данных, таких как **Inter-IC (I²C)**, **SPI**, **UART/RS-232**, **CAN** и **LIN**. Функция листинга (формирование списков) обеспечивает удобство просмотра пакетов данных с корреляцией по времени и выделением ошибок.

www.keysight.com

РАШИРЕННЫ ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИЗАТОРА ЦЕПЕЙ ZNA

Компания **Rohde & Schwarz** сообщила о новой версии ПО для анализатора цепей **ZNA**, в котором реализован ряд популярных функций:

- контроль фазы внутренних источников СВЧ сигнала (до 4);
- измерение точки компрессии в зависимости от частоты;



**KEYSIGHT
TECHNOLOGIES**

- поддержка коррекции рассогласования и внешнего генератора при измерении ГВЗ с ZNA-K9;
- отображение точности измерений S-параметров в реальном времени на экране прибора.

Фазовая повторяемость источников и приёмников, позволяющая измерять фазовые параметры преобразователей частоты, доступна с момента выхода прибора. Теперь она дополнена возможностью контроля фазы внутренних источников. Пользователь может задавать соотношение фазы сигналов четырёх внутренних генераторов в калиброванной плоскости с опцией ZNA-K60. Опция пригодится при измерениях параметров фазированных решёток, квадратурных смесителей, дифференциальных усилителей и измерениях Load Pull.



ROHDE & SCHWARZ

Измерение точки компрессии по входу и выходу в зависимости от частоты — ожидаемая функция, доступная ранее при использовании внешнего программного обеспечения, теперь реализована в интерфейсе ZNA, в том числе для измерения преобразователей частоты.

Модификация измерений ГВЗ смесителей без доступа к гетеродину, опции ZNA-K9, позволяет использовать внешний генератор и сумматор для формирования второго тона и использовать двухпортовый прибор. Коррекция рассогласования на портах снижает неравномерность кривой и погрешность измерений.

Индикация погрешности измерений в реальном времени на экране прибора с опцией ZNA-K50/K50P даст представле-

ние о точности результатов в зависимости от настроек (полоса пропускания, калибровочный набор), собственных шумов и прошедшего после калибровки времени.

www.rohde-schwarz.com

НОВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ СМЕШАННЫХ СИГНАЛОВ

Компания Keysight Technologies, Inc. пополнила линейку своих осциллографов новой серией *Infiniium MXR*. Данные осциллографы оборудованы 8 аналоговыми каналами с полосой до 6 ГГц и 16 синхронными цифровыми каналами. Данное решение позволит пользователям уменьшить длительность испытаний и сложность рабочих процессов, повысить эффективность и обеспечить точность и воспроизводимость многоканальных измерений на одном приборе.

Высокоскоростные цифровые схемы, испытания на целостность мощности, технологии Wi-Fi 6, IoT, PoT и визуализации, а также галлий-нитридные (GaN) полупроводники используют диапазон от 2 ГГц до 6 ГГц, частоты которого в настоящее время мало освоены или требуют больших затрат при эксплуатации.

Для испытаний этих новых продуктов необходимо оборудование для измерения времени и частоты, способное одновременно работать с аналоговыми и цифровыми каналами. В идеале такое оборудование должно использовать программно-конфигурируемые протоколы и стандарты, а также располагать встроенными инструментами поддержки при испытаниях с возможностью совместной дистанционной работы инженеров.

В новом осциллографе смешанных сигналов серии *Infiniium MXR* используется современная технология обработки сигналов под управлением СБИС собственной разработки Keysight, благодаря чему реализуется функциональность 8 мощных приборов на основе одного:

- анализатор спектра в реальном масштабе времени (RTSA);



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

- осциллограф;
- цифровой вольтметр (DVM);
- генератор сигналов специальной формы;
- построитель кривых Боде;
- счетчик событий;
- анализатор протоколов;
- логический анализатор.

Осциллограф располагает широким набором программных решений для испытаний на целостность питания, тестирования высокоскоростных схем и проверки разработанных устройств. Встроенное программное обеспечение включает функцию поиска неисправностей, которая позволяет ускорить определение первопричины и облегчить устранение редких или случайных ошибок.

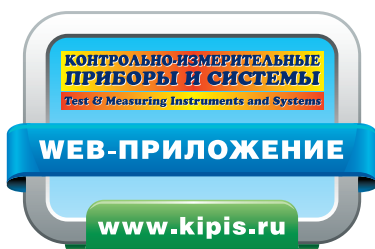
Осциллографы серии Keysight *Infiniium MXR* помогают инженерам быстро обнаруживать ошибки и находить их решения благодаря следующим ключевым преимуществам:

- за счет совмещения функций 8 приборов в одном снижается загруженность стенда, сокращается время настройки и тестирования, уменьшаются перекрестные помехи; наличие анализатора спектра в реальном времени позволяет со 100%-ной вероятностью выявлять даже асинхронные ошибки в частотном диапазоне;
- встроенная функция поиска неисправностей выделяет нормальные сигналы и затем сравнивает их с целью обнаружения аномальных сигналов, фиксируя все параметры, связанные с их появлением, что позволяет быстро решать проблемы, обусловленные возникновением нерегулярных, случайных или паразитных сигналов;
- одновременный доступ к 8 аналоговым и 16 цифровым каналам помогает отслеживать и анализировать сложные взаимодействия сигналов;
- увеличение полосы пропускания в 3 раза по сравнению с прочими 8-канальными осциллографами позволяет инженерам-тестировщикам получать больше информации о проектируемых схемах;
- программный инструмент для совместной дистанционной работы PathWave *Infiniium Offline Analysis* может использоваться группами разработчиков для анализа и обработки данных после измерений на стенде, тем самым повышая эффективность использования стенда.

www.keysight.com

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Для удобства наших читателей, дополнительная информация к каждому номеру представлена на сайте www.kipis.ru в специальном разделе «WEB-приложение», доступном ТОЛЬКО для подписчиков!



Чтобы получить доступ в этот раздел, на странице www.kipis.ru/appendix/ введите логин **subscriber** и пароль **kipis-web-app**. Надеемся, Вам будет полезна дополнительная информация к свежему номеру журнала КИПИС.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ: ПРИЛОЖЕНИЯ

КАТАСТРОФИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН «1985–1986», МЕНЕДЖМЕНТ РИСКА И ISO/IEC 17025–2019

MATHEMATICAL THEORY OF MEASUREMENT PROBLEMS: APPLICATIONS

CATASTROPHICALLY PHENOMENON «1985-1986», RISK MANAGEMENT AND ISO/IEC 17025-2019

Левин С.Ф. (S. Levin), д.т.н., профессор, зав. кафедрой метрологии и метрологического обеспечения МИЭИ

ВВЕДЕНИЕ

29 октября 2018 года Boeing-737 MAX 8 PK-LQP 7058 рейса JT-610 Lion Air Джакарта–Панкалпинанг через 13 минут после взлета при наборе высоты до 1500 м, совершив несколько скачков по высоте, перешел в вертикальное пикирование. Погибли все 189 человек, находившихся на борту.

В ноябре 2018 года Федеральное авиационное управление США признало Boeing-737 MAX опасными, но тогда их полеты не приостановили.

10 марта 2019 года Boeing-737 MAX 8 ET-AVJ 7243 рейса ET302 Ethiopian Airlines Аддис-Абеба–Найроби через 6 минут после взлета при наборе высоты до 2700 м после нескольких колебаний скорости набора высоты и снижения перешел в вертикальное пикирование. Погибли 157 человек.

Крупнейшие катастрофы за всю историю Boeing-737 при сходных обстоятельствах привели к приостановке полетов Boeing-737 серии MAX 8.

5 мая 2019 года в Шереметьево при жесткой экстренной посадке загорелся Sukhoi Super jet 100-95B, погиб 41 человек из 78.

У Boeing-737 MAX 8 неадекватно работала система предупреждения сваливания: программное обеспечение, датчики воздушной скорости и углов атаки. К этому добавилось разделение между пилотом и автоматикой управления по тангажу при включенном автопилоте.

У Sukhoi Super jet при ударе с более чем 5-кратной перегрузкой стойка шасси вместо расчетного «безопасного слова» пробила топливный бак в крыле, что потребовало экспертизы протоколов испытаний элементов крепления шасси.

С 1 сентября 2019 года ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» обязал любые органы, осуществляющие испытания и калибровку (т.е. «лабораторную деятельность»), **объективно** оценивать **риски статистических предположений, ложноположительных и ложноотрицательных решений** о соответствии согласно ГОСТ Р ИСО 31000–2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» и ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска», где **риск** определен как «**влияние неопределенности на цели**». ГОСТ Р 51901.7–2017/ISO/ TR 31004:2013 «Менеджмент риска. Руководство по внедрению ИСО 31000» уточнил:

«**Риск** должен быть описан как **комбинация вероятности** возникновения события (или опасности, или источника риска) **и его последствий**».

ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 не требует, чтобы международные или национальные стандарты и признанные технические требования, содержащие достаточную информацию о том, как осуществлять лабораторную деятельность, дополнялись или переписывались в качестве внутренних процедур.

В этой связи заметим, согласно Р 50.2.004–2000 «ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами. Основные положения» **неопределенность в широком смысле** характеризует распределение вероятностей в функции фактора риска, а **неопределенность в узком смысле** — параметр рассеяния этого же распределения. Этим различаются **композиционный** и **моментный** подходы [1] к анализу точности и риска.

Согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 анализ риска проводится «статистическими методами», которые регламентированы ГОСТ Р 50901.15–2005 «Менеджмент риска. Применение Марковских методов», ГОСТ 34100.3–2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» и ГОСТ 34100.3.1–2017 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло», а также методом FMEA (Failure Mode Effect Analysis) согласно ГОСТ Р 51901.12–2007 «Менеджмент риска. Метод анализа вида и последствий отказов».

В ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 указано: 1) работа с **Марковским анализом** невозможна без знания операций с

матрицами, а полученные результаты трудны для понимания персоналом, не имеющим соответствующих технических знаний и опыта; 2) в **методе Монте-Карло** исходные данные должны быть известным распределением, а метод не может адекватно моделировать события с очень высокой и очень низкой вероятностью появления; 3) **подход Байеса** требует знания множества условных вероятностей, которые обычно получают **экспертными методами**, а применение программного обеспечения основано на **экспертных оценках**.

До 1986 года NASA располагало априорной FMEA-оценкой вероятности катастрофы Challenger 10^{-4} . Ее публично высмеял член президентской комиссии при расследовании причин катастрофы Нобелевский лауреат физик Р. Фейнман [2]. Но ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 указал: **для анализа вероятностей риска FMEA — строго применим, а подход Байеса и метод Монте-Карло — не применимы**. И **этим** методами в «Руководстве по выражению неопределенности измерения» [3] рассчитывают **вероятности охвата и уровни доверия**, напрямую связанные с **рисками**?!

ПРОБЛЕМА НЕАДЕКВАТНОСТИ

Метрологию обычно рассматривают как науку об измерениях. Вместе с тем **метрология — древнейшая наука о методах и средствах отображения свойств физических объектов математическими моделями**.

Метрология античности, геометрия, в **измерении**¹ соединила **реальное** (физическое) и **идеальное** (математическое). Это отметил А.Н. Колмогоров [5]: «Система аксиом, лежащих в основе геометрии, является замечательным, концентрированным выражением наших усилий, направленных к познанию действительности». Языку чисел для описа-

¹ **ИЗМЕРИТЬ** — Определить какой-н. мерой {средство — авт.} величину {модель — авт.} чего-н. {объект — авт.}. И. температуру тела. И. длину здания. И. напряжение тока. || перен. Установить, сделать заключение о величине, размерах чего-н. (книжн.). И. глубину чувства [4].

ния объективной реальности еще надо учиться, опираясь на **физический смысл математических действий с величинами**.

Измерение — способ отображения отдельных размерных свойств физических объектов простейшими математическими моделями — скалярными величинами, числами.

Более общая форма *отображения* свойств физических объектов и условий их измерений — решение *измерительных задач*, когда на первом этапе измеряют физические величины, входящие в качестве переменных в *функциональные или операторные модели*, описывающие взаимосвязь свойств объектов и условий измерений, а на втором этапе находят согласно этим моделям искомые переменные. Эти задачи можно решать и *алгебраически — преобразованиями* моделей относительно искомых величин.

Главной проблемой метрологии всегда была проблема неадекватности [1] математических моделей и терминов. Неадекватность смысла и формы терминов еще в VI веке до н.э. четко выразил Конфуций:

Когда названия не соответствуют — суждения неправильны, когда суждения неправильны — дела не исполняются.

Соединение противоречивых, несовместимых понятий, представляющих собой ошибку речи, но в некоторых случаях входящих в обиход, в языкознании называют **катахрезой** [*гр. katachrēsis* злоупотребление].

Искажение возникает и при **неполноте выражения** смысла термина словосочетанием.

Впервые на катахрезу **сочетаний** *косвенное измерение, совокупные измерения и совместные измерения* указал профессор В.А. Кузнецов, позже в РМГ 29–99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» в примечании к термину «5.10 **прямое измерение**» было отмечено: «**Строго говоря, измерение всегда прямое...**».

И там же термин «5.4 **однократное измерение** — измерение, выполненное один раз» явно не требовал определения. «**Тавтология**» — тоже **разновидность катахрезы**.

Терминология играет в любой науке особую роль, но не только как список названий и определений, а как *подсистема системы* ассоциаций языка.

Восприятие слов и терминов как восприятие их формы с переходом к семантике изучает психолингвистика [6]. И если многозначность слова конкурирует с его формой, возникают трудности терминологии, приводящие в итоге к неадекватности математических моделей.

Согласно ГОСТ 24026–80 «Планирование эксперимента. Термины и определения» **адекватность** математической модели есть ее соответствие экспериментальным данным по выбранному критерию, например, по F-критерию Фишера.

Однако «статистический рецепт Р. Фишера» по спецификации параметри-

ческих моделей критериями Стьюдента и Фишера для гипотезы нормальности ведет к парадоксу Эльясберга–Хампеля [7, 8]. В «рецепте» нет ни слова об отсутствии независимости и катастрофической неробастности F-критерия, о том, что «различные критерии согласия оценивают часто несущественные аспекты подгонки и что статистически *плавную* нулевую гипотезу доказать нельзя, ее можно только отклонить, хотя и при очень большом объеме выборки» [8].

П.В. Новицкий полагал, что выбор вида функциональной зависимости — задача не формализуемая, что **компактность** модели достигается удачным выбором элементарных функций, обеспечивающих хорошее приближение при малом их числе, и определял **погрешность адекватности** как погрешность из-за недостаточного соответствия аппроксимирующей функции всем особенностям экспериментальной кривой [9].

Идея П.В. Новицкого в МИ 199–79 «ГСИ. Методика установления математической модели распределения погрешностей» о выборе вида распределения по **максимуму вероятности согласия** с распределением статистического ряда тогда не была осознана из-за отсутствия меры вероятности согласия.

В начале 1980-х годов расчеты методом максимума компактности (ММК) позволили оценивать точность и риск контроля высоконадежных объектов по **функциям компактности**, критерием их идентификации стал **максимум вероятности согласия в схеме перекрестного наблюдения** [10–16]. Термин **погрешность неадекватности** появился в РРТ 507–98 «ГСИ. Задачи измерительные. Методы решения. Термины и определения» и был уточнен Р 50.2.004–2000, а **функция компактности — до распределения погрешности неадекватности**.

Накануне «катастрофического феномена 1985–1986 годов» [2] исследование морфологии встречающихся на практике вероятностных законов привело П.В. Новицкого к выводу [9]: «Реальные законы распределения погрешностей весьма разнообразны и часто очень далеки от нормального».

Проект «Прогноз–ММК» [12, 13, 15] выявил ряд факторов феномена катастроф 1985–1986 годов [2] — **погрешности неадекватности** моделей, метод Монте-Карло и обработка данных на основе «нормального закона».

В 1987 году по рекомендации рабочей группы ВНИИС были отменены 24 стандарта по статистическим методам, а позже — по прикладной статистике. Но результаты анализа рабочей группы полностью не публиковались, а инерция метрологического менталитета действовала. Синхронно, как отмечено Распоряжением Правительства РФ от 19 апреля 2017 года № 737-р, «начиная с **последнего десятилетия прошлого столетия**, не происходит качественного повышения уровня профессиональной

подготовки специалистов в области обеспечения единства измерений».

Следует заметить, что, к сожалению, закрытость ряда исследований 1980-х годов не позволила сделать их результаты достоянием общей метрологии. Однако именно в эти годы и сформировалась теория измерительных задач. Ее статистические методы получили поддержку математиков школы А.Н. Колмогорова — И.Г. Журбенко и А.Х. Шеня, лидеров теории планирования эксперимента В.В. Налимова, Е.В. Марковой и Ю.П. Адлера, а также Ю.И. Алимова, Ф.П. Тарасенко и А.Ф. Фомина. В системном плане на теорию существенное влияние оказали ведущие специалисты в области надежности и контроля — Е.Ю. Барзилович, А.Г. Варжапетян, И.Н. Коваленко, А.М. Половко и А.М. Широков, основатели отечественной школы адаптивного управления — Е.А. Санковский и В.А. Артемьев. Особую роль в формировании теории измерительных задач сыграли Л.К. Горский, пионер внедрения в СССР персональных компьютеров, и выдающиеся метрологи России — В.А. Кузнецов, П.В. Новицкий и Ю.В. Тарбеев.

МЕТРОЛОГИЯ И МЕНТАЛИТЕТ

Фактором, влияющим на выбор моделей объектов измерений, являются ассоциации естественного языка в семантическом поле терминов *метрологического менталитета*. Поэтому дискуссии о терминологии отличаются особой напряженностью. И особую опасность представляют **искусственные искажения** норм ассоциаций и их вклад в неадекватность терминов недооценивать нельзя, что и произошло в отечественной метрологии.

Пауза **последнего десятилетия прошлого столетия** в отечественной метрологии привела к беспрецедентной серии «искажений» метрологической терминологии переводами «международных» документов.

Серию «искажений» открыла **неопределенность измерения**, но не как отсутствие определенности и даже не как «дисперсия измеряемой величины», а как «дисперсия среднего арифметического» [3, п. С.3.2].

В англоязычной научной литературе термин uncertainty (**неопределенность**) в первую очередь понимают как **неадекватность** математической модели физической величины измеряемому свойству объекта или прибора цели измерения [17].

Название uncertainty связано с соотношением неопределенностей, введенным в 1927 году В. Гейзенбергом для предела точности одновременного определения канонически-сопряженных динамических переменных квантовой системы, например, координата — импульс: $\Delta_x \Delta_{p_x} \geq h/2$, где h — постоянная Планка. В 1929 году Х.П. Робертсон показал, что соотношение неопределенностей является следствием коммутационных соотношений между операторами соответствующих физических величин, причем Δ_x и Δ_{p_x} определяются как среднеквадратичные отклонения для опе-

раторов усреднения волновых функций состояния. Также Х.П. Робертсон доказал, что равенство в соотношении неопределенностей достигается только для квантовых состояний, описываемых гауссовыми волновыми пакетами (отсюда интерпретация: неопределенность — СКО). Волновая же функция представляет собой комплексную функцию, описывающую состояние квантовомеханической системы. Квадрат модуля волновой функции равен плотности распределения вероятностей того, что физические величины, с помощью которых задано состояние системы, принимают определенные значения или находятся в определенных интервалах значений [18].

Другими словами, неопределенность в квантовой механике не свойство природы, а свойство математического аппарата квантовой механики и используемых средств измерений. И это тоже неадекватность.

Подмена «точечных и интервальных оценок» *реалистичными и безопасными оценками*, «закона суммирования дисперсий» *законом трансформирования неопределенностей*, «доверительной вероятности» *вероятностью охвата* и вырождение «уровня доверия» были направлены на «истинное значение величины» и «погрешность». А в GUM вместо проверки гипотез снова возникла «нормальная теория», которую еще в прошлом веке сменили методы непараметрической и робастной статистики.

Так *пренебрежение неадекватностью модели оказалось главным условием применимости GUM*, его «драмой неадекватности» [19].

ГОСТ Р 50779.10–2000 «Статистические методы. Вероятности и основы статистики. Термины и определения» и ГОСТ Р 50779.11–2000 «Статистические методы. Статистическое управление качеством. Термины и определения» стали вторым этапом искажений: доверительная вероятность и уровень доверия — синонимы, а *толерантный интервал* = statistical coverage interval (статистический интервал охвата). Перевод tolerance interval = «*поле [область] допуска*» и формула толерантного интервала ГОСТ Р ИСО 16269-6–2005 «Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов», исправленная лишь в одноименном ГОСТ Р 50779.29–2017, стали фоном нервной и непрофессиональной критики *толерантных интервалов* специалистами по внедрению «неопределенности» в отечественную поверку [20]. Критика обернулась казусом: GUM стал ГОСТ Р 54500.3–2011 с тем же названием и с исправленным определением *толерантного интервала*, но со «старыми» формулами, в новых же РМГ 29–2013 исчезли «статистические» термины РМГ 29–99 кроме СКО как синонима (!) стандартного отклонения.

Следующее крупное искажение отечественного метрологического менталитета возглавила *прецизионность* ГОСТ Р ИСО 5725–2002 — *кучность*. Казусами

стали примеры стандарта, раскритикованные прямо в тексте из-за нарушения практически всех условий применимости дисперсионного анализа: сбалансированности плана измерений, а также гауссовости, некоррелированности и гомоскедастичности данных, а установка на «борьбу с выбросами» стала тотальной подгонкой под «нормальность» [21].

Правда, в комментариях научный редактор отметил: «Если разобраться, то неопределенность, английское слово uncertainty — это «прецизионность», которая в ГОСТ Р ИСО 5725 полностью раскрыта. Только нужно смотреть — в каких случаях что. В этом должны четко разобраться метрологи» [22]. Но теоретики, которым это было адресовано, пока разбираются.

Системные искажения в терминологию внес VIM-3 2007 года [23] с «принципом замещения» и «схемой понятия» или не чем иным, как *схемой ассоциации* «нового метрологического менталитета».

«Ассоциативный эффект» VIM-3 — катхреза слова *измерение* в *сочетаниях* — в том, что в определении термина «2.5 метод измерений» *метод замещения, дифференциальный метод и нулевой метод смешаны* с методами решения измерительных задач — *методом прямого измерения и методом косвенного измерения*. Тот же «эффект» или дефект в том, что «1.9 единица измерения — *действительная скалярная (!) величина*, а не *мера единичные величины*».

Если в GUM проблема неадекватности была обозначена как «в принципе» решаемый вопрос, то главный «эффект» VIM-3 — «детализация» *дефинициальной неопределенности* без детализации этого понятия [1]. Но и это — неадекватность.

При некотором сходстве описаний неадекватности математических моделей в GUM и рекомендациях ГСИ по метрологии Р 50.2.004–2000 в тексте GUM математическая сторона вопроса не раскрыта. Однако при представлении формул Тейлора как «новых законов» подчеркивалась роль теории планирования эксперимента, тогда как в этой теории даже в ситуации, когда неизвестную модель «можно представить в виде отрезка ряда Тейлора, проверка адекватности оказывается единственным критерием годности модели. Все стройное здание построения математической модели может рухнуть, если не выполняются исходные предпосылки, лежащие в основе статистического анализа, такие, как предпосылки о виде законов распределения, однородности дисперсий и т.д.» [24].

В GUM «*врожденная*» *неопределенность* «на любом уровне детализации определения измеряемой величины» «должна быть» пренебрежимо мала.

Так проблема *дефинициальной неопределенности* превратилась в условие применимости GUM. Но об этом международные стандарты пока умалчивают. Исключение составил ISO/IEC 31010–2009, намеком которого на некорrekтность GUM еще не всеми понят.

Термин «*погрешность неадекватно-*

сти» в рамках теории измерительных задач обсуждался в 2004 г. на семинаре во ВНИИМ имени Д.И. Менделеева с метрологами Национальной физической лаборатории Великобритании и Физико-технического института Германии. Невьясненной тогда оставалась философская сторона вопроса. «Философский спор» продолжился заочно [25–31] и закончился признанием: «задача ... гармонизировать терминологию, используемую при разных подходах, таким образом, чтобы одному понятию соответствовал только один термин, оказалась трудновыполнимой» [28]. Ученый совет ВНИИМ еще в 2002 г. осудил *англоязычную гармонизацию* ввиду возможностей русского языка, а VIM-3 счел безрезультатной дискуссией о *неопределенности и погрешности*, сохранив оба термина.

Нормативно подходы к оцениванию точности *триединством измерений* разделил ГОСТ Р 8.820–2013 «ГСИ. Метрологическое обеспечение. Основные положения», разрешивший «использовать показатели точности: неопределенность по ГОСТ Р 54500.3, характеристики погрешности по МИ 1317 и РМГ 83, показатели правильности и прецизионности по ГОСТ Р ИСО 5725-1». Здесь композиционный подход представлен сверткой в МИ 1317–2004 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров». В списке нет ГОСТ 8.009–84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» с моделями погрешности, Р 50.2.004–2000 с проверкой неадекватности, МИ 2916–2005 «ГСИ. Идентификация распределительных вероятностей при решении измерительных задач со сверткой. В то же время в GUM статистической проверки гипотез нет. ГОСТ Р 54500.3–2011 (ГОСТ 34100.3–2017) *свертку* явно и *композицию* неявно упомянул как нецелесообразные для применения.

Не успели отечественные метрологи привыкнуть к нетрадиционной терминологии GUM, как в конце 2014 г. появился проект JCGM 100:201X (CD) «Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement» ревизии GUM. Но очередное переопределение терминов и расширение расширенной неопределенности любой ценой, от множителя $[(n-3)/(n-4)]^{1/2}$ до неравенства Бьенеме–Чебышёва, остановилось из-за слишком большого объема внедрений GUM, подлежащих изменению. А журнал «Главный метролог», как бы случайно, дал перевод [27] статьи 2007 г. [28] — продолжение «спора по философским вопросам», приведшего GUM к проблеме дефинициальной неопределенности.

И тут Росаккредитация обязала лабораторию при определении измерительных возможностей «брать пример с GUM». Но сделать это для «косвенных и совместных измерений» как «измерений» значит определить для них *дефинициальную неопределенность*.

Но кто и как это будет делать?

Только в лабораториях поняли, что «пересчитать погрешность в неопределенность» просто делением на $\sqrt{3}$ нельзя [32], как ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 потребовал «значительного переходного периода для наработки методического аппарата и обучения специалистов», что и было указано в докладе [33].

«Триединством измерений» ГОСТ Р 8.820–2013 фактически констатировал, что «новый» метрологический менталитет не дал реального роста качества измерений, и теперь предлагалось повысить его **любым** подходом к оцениванию точности, хоть, вопреки GUM, понятием погрешности.

С каждым этапом перестройки метрологического менталитета ситуация лишь усложнялась [34–36], и *цугцванг* искажений подвел к «точке невозврата». Оставалось только направить метрологию на «менеджмент риска» с «подходом Байеса и методом Монте-Карло».

РИСК И НЕАДЕКВАТНОСТЬ ПРИ КАЛИБРОВКЕ

ГОСТ 16504–81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения» для лабораторий связывает риск в контрольных испытаниях с областью несоответствия искомой величины, а в определительных испытаниях и в калибровке — с заданными показателями точности и достоверности. Качественные результаты контроля соответствия в этих случаях характеризуют ошибками 1-го и 2-го рода.

Испытания в целях утверждения типа и поверка средств измерений являются контрольными. Их качественный результат — решение о степени соответствия количественных результатов установленным требованиям государственных поверочных схем по доверительной вероятности или ГОСТ 27883–88 «Средства измерения и управления технологическими процессами. Общие требования и методы испытаний».

В МИ 187–86 вероятности ошибки 2-го рода соответствует $P_{\text{бмн}}$ — наибольшая вероятность ошибочного признания годным любого в действительности дефектного экземпляра средства измерений, а «при малом числе (или одном) проверяемых СИ вместо $(P_{\text{гр}})_{\text{мг}}$ в качестве критерия может быть установлена наибольшая вероятность $P_{\text{грм}}$ ошибочного признания дефектным любого в действительности годного экземпляра СИ» как ошибка 1-го рода.

Следует заметить, согласно п. 2.78 ГОСТ Р 50779.10–2000 «вероятность ошибки 2-го рода может быть вычислена лишь в том случае, если альтернативная гипотеза задана адекватно».

Согласно Р 50.2.004–2000 «*погрешность неадекватности математической модели* — разность расчетного значения выходной переменной модели объекта по данным измерений входных переменных и результата ее измерения в соответствующих расчету условиях». Погрешность неадекватности моделей функ-

ционального типа, как случайная функция, имеет характеристики положения и рассеяния. Первая — систематическая составляющая, а вторая — распределение отклонений от нее, зона толерантности. Погрешности неадекватности характеристики положения представляют остатки экстраполяционного функционала, а характеристики рассеяния — контурная оценка по статистикам Смирнова или квантилям отклонений эмпирической функции распределения от гипотетической. Контурные оценки погрешности неадекватности позволяют последовательно строить свертку функции распределения $F_X(x)$ наблюдаемой и ненаблюдаемых составляющих как равномерных распределений на интервалах $[a, b]$:

$$f_X(x) * f_R(x) \equiv F_X(x-a) - F_X(x-b) / (b-a).$$

Свертка в ГОСТ Р 54500.3–2011, объединение «*» в ГОСТ 8.009–84 и МИ 1317–2004 — одно и то же. По свертке «могут быть рассчитаны интервалы с заданным уровнем доверия p » [14, п. G.1.4, 4.3.9], но примеров этого нет. Согласно же п.1.4.2 МИ 1317–2004 может быть использовано равномерное распределение вероятностей.

В ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 подразумевается, что риски должны оцениваться апостериорно в связи со статистическими предположениями при выборе структуры и методов оценивания параметров моделей.

Строго говоря, концептуально *дефинициальная неопределенность* — стандартное отклонение или его оценка, СКО [36]. И методами теории погрешностей с учетом погрешности неадекватности можно оценить *дефинициальную неопределенность* u_D как компонент параметра рассеяния PDF выходной переменной «уравнения измерений» — *СКО композиции*.

Дефинициальная неопределенность u_D функции поправки $b(t)$ имеет смысл, аналогичный физический параметру Ω_p в МИ 187–86 «МУ ГСИ. Средства измерений. Критерии достоверности и параметры методик поверки» [36]. Это позволяет оценить его как границу допустимой погрешности эталона $\Omega_N = \text{СМПН} - \text{САО} = d_x^{[s]} - d$.

С этих позиций рассмотрим «образцовый» пример калибровки термометра [3, п. Н.3] по статистическому ряду поправок с СКО $s = 0,0035$ °C, в котором МНК получена функция поправки: $b(t) = y_1 + y_2(t - t_0)$, где $t_0 = -20$ °C, $y_1 = -0,1712$ °C, $y_2 = 0,00218$. Вне интервала калибровки $b(30$ °C) = $-0,14940$ °C с суммарной стандартной неопределенностью $u_c = 0,0041$ °C.

В примере точность эталонного термометра не указана, контрольного измерения нет, правила округления нарушены, гипотеза «нормальности» не проверена, а функция поправок содержит разладки [37], исключающие экстраполяцию модели. Функция поправок может быть *неполной*, и «для получения достоверных оценок неопределенности рекомендуется, по-

возможности, использовать эмпирические математические модели» [3, п. 3.4.2], причем возможность есть, а оценок неадекватности нет. Утверждается, что МНК «применим в случае, когда данные измерений известны неточно» [3, п. Н.3.6], но для МНК это — нарушение условия неконфликтности [38].

Метрологическая аттестация функции поправок в рамках **композиционного подхода** по программам «ММК–стат 2.0» и «ММИ–поверка» [39] показала, что систематическая составляющая функции поправок

$$b_{11}^{[2]}(t) = -0,214851 + 0,002182436t,$$

где совпавшие цифры оценок выделены, «^[2]» — признак МНК, «₁₁» — код структуры модели, при этом $d_x^{[2]} = 4,750704 \cdot 10^{-3}$ °C, $d_{11} = 2,632977476 \cdot 10^{-3}$ °C и $\Omega_N = 2,117726524 \cdot 10^{-3}$ °C.

Идентификация по программе «ММИ–поверка» распределения поправок относительно средней поправки по критерию минимуму контурной оценки погрешности неадекватности свертки среди типовых усеченных распределений для наблюдаемой составляющей в качестве наиболее правдоподобного дала распределение Лапласа при $\Delta_N = 1,617 \cdot 10^{-3}$ °C. Его свертка с эквивалентным равномерным распределением в пределах $\pm \Omega_N$ соответствует интервалу $[-0,012618; 0,012852]$ °C и оценке $u_D = (\Delta_N + \Omega_N) / \sqrt{3} = 2,156245364 \cdot 10^{-3}$ °C или 61,6% СКО поправок s [3, п. Н.3].

Статистические предположения в методе совместных измерений [40] требуют оценивания неадекватности моделей. Эту задачу усложняет влияние разрядной сетки средств вычислений, «разладки» модели и нерегулярности зависимости критериев идентификации от кода структуры модели.

Для данных [3, п. Н.3] среди моделей не выше 4-й степени первоначально оптимальной по минимуму $d_x^{[2]}$ была функция $B_{11011}(t)$ с $d_x^{[2]} = 2,712152 \cdot 10^{-3}$ °C, $\Delta_N = 1,5895 \cdot 10^{-3}$ °C, $d_{11011} = 1,843555225 \cdot 10^{-3}$ °C и $\Omega_N = 8,685967747 \cdot 10^{-4}$ °C. Отклонения от этой модели на интервале $[-0,013088; +0,012183]$ °C описывает свертка усеченного распределения Гаусса с равномерным распределением. Однако в связи с выявленными ранее разладками модели [38] перепроверка на компьютерах с различной разрядной сеткой показала, что алгоритмы оптимального перебора кода структуры из-за нерегулярности зависимости СМПН от числа параметров модели могут «пропустить» оптимальную модель: $\hat{B}_{111110000}(t)$, $d_x^{[2]} = 2,8516 \cdot 10^{-3}$ °C, а при проверке по программе «ММК–стат М» — $B_{01011}(t)$ при $d_x^{[2]} = 3,4298559 \cdot 10^{-3}$ °C.

В итоге эта задача решена: 1) ММК для градуировочной характеристики [38]; 2) МНК регрессионного анализа; 3) ММК как СКО композиции; 4) *графическим методом* согласно МИ 2916–2005. При этом *дефинициальная неопределенность* u_D в зависимости от гипотезы о виде распределения поправок [36] до-

стигала и 3/4 оценки суммарной стандартной неопределенности u_c [3, п. Н.3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблему, возникшую с введением ГОСТ ISO/IEC 17025–2019, точно охарактеризовал еще П.В. Новицкий: «Очень часто доверительные погрешности рассчитывают, вводя ничем не обоснованное предположение о том, что вид закона распределения погрешностей будто бы точно известен. Такой прием является некорректным вне зависимости от того, допускается он *сознательно* или *неосознанно*» [9].

«Байесовский анализ» и метод Монте-Карло составляют основу «Руководства по выражению неопределенности измерения», которое, как следует согласно ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011, для расчета вероятностей риска **не применимо**.

Однако согласно Р 50.2.004–2000 и МИ 2916–2005 по критериям МИ 187–86 с моделями ГОСТ 8.009–84 и МИ 1317–2004 расчет риска ошибочного решения при контрольных испытаниях на соответствие после нормализации данных тот же, что и расчет достоверности по данным протокола поверки любого средства измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин С.Ф. Неадекватность и достоверность в метрологии // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2020. № 2. С. 32.
2. Левин С.Ф. Погрешности измерений и вычислений как причина «катастрофического феномена 1985–1986 годов» в авиационной и ракетно-космической технике // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2000. № 3. С. 21–24.
3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Пер. с англ. Науч. ред. проф. Слаев В.А. СПб.: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999.
4. Подковый словарь русского языка. Под ред. Д.Н. Ушакова. М.: ОГИЗ, 1935.
5. Лебег Г. Об измерении величин. Пер. с фр. Кисловской-Карской О.И. под ред. и с предисловием А.Н. Колмогорова. М.: Госучпедгиз, 1938.
6. Леонтьев А.Н., Леонтьев А.А., Супрун А.Е. и др. Основы теории речевой деятельности. М.: Наука, 1974.
7. Эльясберг П.Е. Измерительная информация: Сколько ее нужно? Как ее обрабатывать? М.: Наука, 1983.
8. Хампель Ф. и др. Робастность в статистике. Пер. с англ. М.: Мир, 1989.
9. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1985.
10. ВК-94 Вопросы кибернетики. Статистические методы в теории обеспечения эксплуатации. М.: АН СССР, 1982.
11. Левин С.Ф., Блинов А.П. Научно-методическое обеспечение гарантированности решения метрологических

- задач вероятностно-статистическими методами // Измерительная техника. 1988. № 12. С. 5–8.
12. Левин С.Ф. Методические рекомендации. Гарантированность программ обеспечения эксплуатации техники. К.: «Знание», 1989.
13. Левин С.Ф. Метрологическое аттестование и сопровождение программ статистической обработки данных // Измерительная техника. 1991. № 12. С. 16–18.
14. Левин С.Ф. Методические рекомендации. Контроль технических объектов по аварийным и определяющим параметрам. К.: «Знание», 1992.
15. Левин С.Ф. Метод максимума компактности и комплексные измерительные задачи // Измерительная техника. 1995. № 7. С. 15–21.
16. Левин С.Ф. Об измерительных задачах косвенного функционального контроля технического состояния летательных аппаратов // Измерительная техника. 1996. № 5. С. 9–13.
17. Физическая энциклопедия. Том 3. М.: Большая Российская энциклопедия, 1992.
18. Физическая энциклопедия. Том 1. М.: Большая Российская энциклопедия, 1998.
19. Левин С.Ф. Легенда о неопределенности // Партнеры и конкуренты. 2001. № 1. С. 13–25.
20. Левин С.Ф. Чего на самом деле должны опасаться ведущие специалисты по внедрению неопределенности в отечественные измерения // Измерительная техника. 2008. № 12. С. 61–64.
21. Левин С.Ф. Нерешенные проблемы «прецизионности» // Главный метролог. 2003: № 3, с. 5–7; № 4, с. 44–54. 2004: № 1, с. 44–53; № 3, с. 52–56. 2005: № 1, с. 19–26; № 3, с. 20–28.
22. Внедрение стандартов ГОСТ Р ИСО 5725 в практику // Партнеры и конкуренты. 2002. № 9. С. 10–28.
23. Международный словарь по метрологии. СПб: Профстандарт, 2010.
24. Адлер Ю.П., Грановский Ю.В., Маркова Е.В. Теория эксперимента: прошлое, настоящее, будущее. М.: Знание, 1982.
25. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Можно ли применять «Руководство по выражению неопределенности измерения» в задачах обеспечения единства измерений? // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2012. № 2. С. 28–37.
26. Кокс М., Харрис П. Основные положения Приложения 1 к Руководству по выражению неопределенности в измерении // Измерительная техника. 2005. № 4. С. 17–24.
27. Эрлих Ч., Дибкайер Р., Вёгер В. Эволюция философии и трактовки понятия «измерение» // Главный метролог. 2016. № 1. С. 11–30.
28. Ehrlich C., Dybkaer R., Wöger W. Evolution of philosophy and descrip-

- tion of measurement // OIML Bulletin. April 2007. P. 23–35.
29. Левин С.Ф. Метрология: понятия и термины, фразеологизмы и катахрезы // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2017. № 1, с. 35–38; № 2, с. 35–38.
30. Левин С.Ф. Концепция неопределенности — Теория погрешностей: Философский спор и математические результаты // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 4. С. 32–36.
31. Левин С.Ф. Руководство по выражению неопределенности измерения: проблемы, нереализованные возможности и ревизия. Ч. 3. Приведение к общему терминологическому знаменателю // Измерительная техника. 2019. № 7. С. 14–22
32. Левин С.Ф. Можно ли «точно» пересчитать погрешность в неопределенность? // Законодательная и прикладная метрология. 2017. № 3. С. 18–25.
33. Развитие деятельности по калибровке средств измерений. Доклад рабочей группы. М.: РСПП, 2016.
34. Левин С.Ф. Руководство по выражению неопределенности измерения: ревизия — смена парадигмы или новая санкция? // Законодательная и прикладная метрология. 2016. № 5. С. 31–44.
35. Левин С.Ф. Метрология: понятия и термины, фразеологизмы и катахрезы // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2017. № 1, с. 35–38; № 2, с. 35–38.
36. Левин С.Ф. Дефинициальная неопределенность и погрешность неадекватности // Измерительная техника. 2019. № 11. С. 7–17.
37. Левин С.Ф. Статистические процедуры контроля при высокоточных измерениях // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 3. С. 8–11.
38. Левин С.Ф. Метрология. Математическая статистика. Легенды и мифы 20-го века: Легенда об аддитивности // Партнеры и конкуренты. 2003. № 11. С. 17–25.
39. Левин С.Ф. Измерительная задача идентификации функции погрешности // Законодательная и прикладная метрология. 2016. № 4. С. 27–33.
40. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач. Часть 10. Метод совместных измерений // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2006. № 3, с. 23–24; № 4, с. 32–36; № 5, с. 33–34. ☑

On September 1, 2019 ISO/IEC 17025–2019 came into force. This standard describes the general competence requirements for testing and calibration laboratories. In the present article professor S. Levin unites catastrophic historical facts, risk management analysis and this standard and considers whether this interconnection is actually possible and correct.

НОВЫЕ ПЛАНШЕТНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ СЕРИИ ADS-41XX



- ✓ 2 или 4 канала с полосой пропускания до 150 МГц
- ✓ Скорость захвата осциллограмм до 80000 осц/с
- ✓ Большой сенсорный дисплей и традиционные органы управления
- ✓ Декодирование протоколов последовательных шин
- ✓ Перезаряжаемая батарея для работы в «полевых» условиях
- ✓ Интерфейсы для подключения к ПК и периферийным устройствам

	ADS-4142	ADS-4144	ADS-4155
Количество каналов	2	4	2
Полоса пропускания	100 МГц		150 МГц
Макс. дискретизация	1 Гвыб/с		
Макс. память	28 М точек		
Гориз. развертка	2 нс/дел... 1000 с/дел		
Верт. отклонение	500 мкВ/дел... 5 В/дел		
Тип запуска	Фронт, импульс, видео, скорость нарастания, задержка, логический шаблон, N фронт, рант UART, I ² C, SPI, CAN, LIN, MIL-1553B, ARINC429		

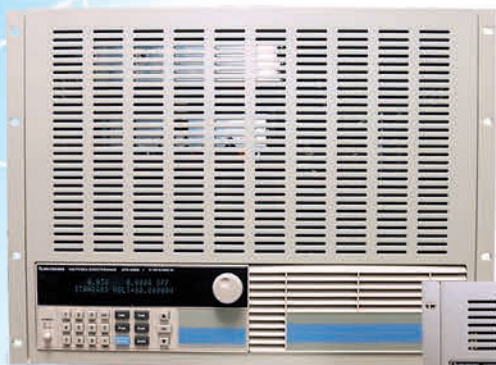


ЭЛИКС, 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
 Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный)
 Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru



БОЛЬШЕ
 ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru

Профессиональные программируемые нагрузки постоянного тока Актаком



ATH-8360 ATH-8365 ATH-8366
AEL-8600, AEL-8605, AEL-8608



ATH-8180 ATH-8185
ATH-8240 ATH-8245



ATH-8020
ATH-8030
ATH-8036



ATH-8060 ATH-8065
ATH-8120 ATH-8125

- Высокая точность установки / измерения параметров - 0,03% / 0,015%
- Четыре основных режима (CV, CC, CR, CW) и два комбинированных (CC+CV, CR+CV) режима стабилизации
- Статический, динамический, импульсный режимы работы
- Автоматическое тестирование
- Работа по пользовательскому списку
- Режим тестирования батарей
- Защита от перегрузки по напряжению, по току, по мощности, переплюсовки и перегрева
- Дистанционное управление от персонального компьютера
- Возможность поставки электронных нагрузок мощностью до 200 кВт

Модель	ATH-8020	ATH-8030	ATH-8036	ATH-8060	ATH-8065	ATH-8120	ATH-8125
Мощность	200 Вт	300 Вт	300 Вт	600 Вт	600 Вт	1200 Вт	1200 Вт
Входной ток	0...30 А	0...30 А	0...15 А	0...120 А	0...30 А	0...240 А	0...60 А
Входное напряжение	0...150 В	0...150 В	0...500 В	0...150 В	0...500 В	0...150 В	0...500 В
Модель	ATH-8180	ATH-8185	ATH-8240	ATH-8245	ATH-8360	ATH-8365	
Мощность	1800 Вт	1800 Вт	2400 Вт	2400 Вт	3600 Вт	3600 Вт	
Входной ток	0...240 А	0...120 А	0...240 А	0...120 А	0...240 А	0...120 А	
Входное напряжение	0...150 В	0...500 В	0...150 В	0...500 В	0...150 В	0...500 В	
Модель	ATH-8366	AEL-8600	AEL-8605	AEL-8608			
Мощность	3600 Вт	6000 Вт	6000 Вт	6000 Вт			
Входной ток	0...480 А	0...240 А	0...120 А	0...240 А			
Входное напряжение	0...150 В	0...150 В	0...500 В	0...500 В			

Оборудование включено в Государственный реестр средств измерений

БОЛЬШЕ ИНФОРМАЦИИ НА www.eliks.ru

ЭЛИКС, 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный);
Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru



Узнайте цену

МетролLIVE 2020 – НОВЫЙ ФОРМАТ КОНФЕРЕНЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

MetrolLIVE 2020 – NEW FORMAT OF METROLOGY CONFERENCE

Наверное, нет ни одного человека, не говоря уже об организациях и предприятиях, который бы не ощутил на себе всю силу влияния високосного 2020 года. События этого года, с самого начала, продиктовали свои правила абсолютно всему миру. Коронавирус, вспыхнувший в Китае, распространился по всему земному шару буквально за пару месяцев. Всем нам пришлось адаптироваться к совершенно новой жизни — в условиях самоизоляции, лишения привычных и любимых способов проведения досуга, выходу из дома по цифровым пропускам не более двух раз в неделю, ношению масок и перчаток, удаленной работе из дома. Общение с коллегами перешло исключительно в цифровой формат, и привычные встречи и переговоры превратились в видео-сессии по Skype.

Как обычно, на этот год планировалось множество интереснейших конференций, семинаров, промышленных выставок, в отношении подавляющего большинства которых было принято решение о переносе на 2021 год. Тем не менее, некоторые компании не отказались от встречи со своими клиентами и партнерами, также превратив обычные «живые» семинары, теперь уже в вебинары. Аналогично решили поступить Росстандарт и ряд других организаций в отношении конференции МетролЭкспо, приуроченной к празднованию Всемирного дня метрологии. Конференция впервые была проведена в новом онлайн-формате на YouTube-канале Росстандарта и получила название МетролLIVE.

Надо отметить, что это выглядело несколько необычно, так как мы, все же, привыкли видеть торжественное открытие конференции, обращение спикеров с трибуны в зале полном посетителей. Но, в какой-то степени, такой формат как нельзя лучше отражал сущность основного вопроса, стоящего на повестке дня — влияния цифровизации на все сферы деятельности, в том числе на метрологию.

Первая всероссийская онлайн-конференция МетролLIVE прошла 20 мая, во Всемирный день метрологии, и состояла из двух частей — онлайн-заседания и олимпиады по метрологии. Модератором дискуссии выступил Руководитель Росстандарта Алексей Абрамов.

Первым, слово было предоставлено Роберту Уразову, генеральному дирек-

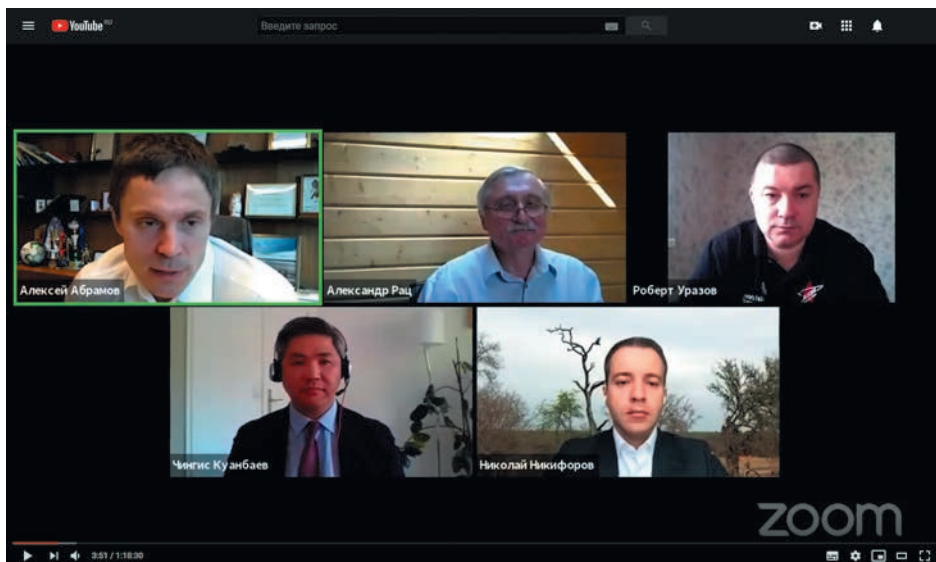


тору Союза «Молодые профессионалы (Ворлдскиллс Россия)». Данный Союз является официальным оператором международного некоммерческого движения WorldSkills International, миссия которого — повышение стандартов подготовки кадров. Поэтому было интересно послушать, какие трансформации ожидают рынок труда, к чему готовиться молодым кадрам.

«Метролог — одна из вечных профессий. Чтобы мы ни производили, требуется точность измерений, — отметил г-н Уразов. — Сейчас труд метролога (как и большинство отраслей) под влиянием цифровизации и

в части обеспечения единства измерений, сегодня в большой степени зависит от профильных сообществ, которые в той или иной степени определяют стандарты».

С этим согласился и Николай Никифоров, основатель и генеральный директор ООО «Развитие Иннополиса», основатель компании ООО «ДИГИНАВИС», показав на примере беспилотного транспорта, как сложно организовать безопасное и комфортное вхождение этой технологии в городскую среду, дорожное и воздушное движение. По его словам, для этого необходимы стандарты, которые ни одна компания не сможет выработать в одиночку. Положительной практикой для формирования единых правил в какой-либо области технологий, в том числе и в России, является тестирование в форме пилотных проектов. «Регулятор должен максимально опираться на то, что происходит в самом сообществе. И на основе выработанных рабочих вариантов стандартов создавать стандарты в традиционном смысле», — сказал Николай Никифоров.



автоматизации из ручного труда превращается в труд оператора. Он во многом определяется как знанием о том, как измерения производятся, так и умением программировать. И, в этой связи, метрология превращается в «сквозной навык», необходимый как предпринимателю, так и ученому. При этом регулирование высокотехнологичных отраслей, в том числе

Еще одним примером площадки для развития высоких технологий стала Особая экономическая зона «Дубна», о которой рассказал директор НП «Дубна» Александр Рац. ОЭЗ «Дубна» является крупнейшей в России по количеству резидентов — с 2006 года в ней работают 170 предприятий, главным образом, малых и средних. Там же, в Дубне, созданы необходимые ус-

ловия для образования, работы и жизни молодых ученых, разработчиков и предпринимателей, которые нацелены на производство уникальной и конкурентоспособной продукции.

При этом, одним из важнейших направлений развития метрологии, как неотъемлемого условия создания высокотехнологичной продукции, Александр Рац видит измерения в области больших данных: «Метрология сильно меняется. Измерять в аналоге сложнее, чем в цифре, потому что аналог нужно еще перевести в цифру. С другой стороны, цифр, информации очень много. Обработка больших данных — это черта новой метрологии».

Тема Всемирного дня метрологии — Измерения для глобальной торговли. Одним из самых интересных стало выступление Чингиза Куанбаева, специалистка по международным связям Международного бюро мер и весов. Он отметил: «Точность измерений — необходимое условие не только для создания высокотехнологичной продукции, роль метрологии высока и в глобальной торговле. Большое внимание стандартам и механизмам обеспечения единства измерений уделяет Всемирная торговая организация. Кроме того, в условиях пандемии метрология находится на передовой. Мы видим, как институты метрологии мобилизовали свои силы, чтобы оказать поддержку медицине».

Международное бюро мер и весов (МБМВ, BIPM) — межправительственная организация, задачей которой является обеспечение основы для единой, целостной системы измерений во всем мире, прослеживаемой к Международной Системе единиц (СИ). МБМВ играет ведущую роль в устранении технических барьеров в торговле путем предоставления открытой, прозрачной и всеобъемлющей системы для взаимного признания национальных эталонов и сертификатов о калибровке и измерениях, выдаваемых национальными метрологическими институтами. Эта система дает пользователям надежную количественную информацию о сравнимости национальных метрологических услуг и обеспечивает техническую основу для более широких соглашений, заключенных в области международной торговли, коммерции и законотворческой деятельности.

Совет директоров при Международном бюро мер и весов (МБМВ), который работает через Комитеты с целью продвижения международного единства измерений — Международный комитет мер и весов (МКМВ, CIPM). По материалам Энциклопедии измерений (www.kipis.ru/info/)



и будет носить лишь дополнительный информационный характер».

Касательно цифровой прослеживаемости всего измерительного парка, г-н Абрамов отметил: «Это первый шаг, дальше мы будем двигаться к цифровизации самой метрологии и модернизации используемых механизмов измерений. Мы должны идти в сторону более удобных метрологических услуг, снижения их стоимости и в целом затрат на метрологическое обеспечение. При том, что уровень концентрации метрологии в современных решениях увеличивается, это должно быть сбалансировано новыми метрологическими технологиями и методами регулирования и контроля. Это ключевой тренд, над которым Рос-

и управлению качеством, прошла встреча с молодыми учеными, руководителями промышленных предприятий. Организаторами мероприятия выступили ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП).

Антон Пронин, руководитель ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, отметил: «Олимпиада стала первым масштабным проектом Метрологического образовательного кластера, в который входят организаторы мероприятия. Метрология — это не только область инженерной деятельности, но и обширная научная дисциплина. Ресурсы Метрологического образовательного кластера открывают широкие возможности для ранней профориентации, выбора вуза и дальнейшего трудоустройства».

При использовании материала: Росстандарт, www.gost.ru ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, www.vniim.ru

**МЕТРОЛОГИЯ.
ИННОВАЦИИ.
ИНФРАСТРУКТУРА КАЧЕСТВА.**

МетролLive 2020

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОНЛАЙН-ОЛИМПИАДА

Завершил заседание конференции Алексей Абрамов, подведя итоги онлайн-встречи и рассказав о ближайших перспективах и планах Росстандарта: «В России на данный момент продолжается работа по цифровизации метрологии. В сентябре вступает в силу закон, устанавливающий приоритет электронной регистрации результатов оформления поверки и утверждения типов средств измерений. Она станет единственным юридически значимым подтверждением результатов метрологических работ, а выдача бумажных свидетельств останется возможной, но необязательной

стандарт будет работать в ближайшее время».

После заседания состоялась первая Всероссийская онлайн-олимпиада «Метрология. Инновации. Инфраструктура качества» для молодых специалистов, которая прошла с рекордным количеством участников — более 300 школьников и студентов из 42 регионов России, Казахстана и Белоруссии приняли участие в интеллектуальном турнире на знание основ метрологии. В программе мероприятия состоялась метрологическая викторина, обсуждались практические задачи по стандартизации

2020 has caused many changes in all spheres of live. The majority of events and conferences earlier planned for this year have to be postponed for 2021. Nevertheless Rosstandart and other organizations decided to hold MetrolExpo conference but in absolutely new online format. This event got name Metrol-LIVE and was held on May 20 when the whole world was celebrating World Metrology day. Digitalization and its influence on the metrology, possible results and future prospects connected therewith became the main topics. Also it was followed by the skills contest for students where they could share their knowledge and master their skills in metrology industry.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА АКТАКОМ APS-4215 И APS-4220

АКТАКОМ APS-4215 AND APS-4220 AC POWER SUPPLIES

Семейство лабораторных источников питания АКТАКОМ пополнилось двумя новыми высокотехнологичными источниками питания переменного тока. Несмотря на то, что линейка лабораторных источников питания АКТАКОМ насчитывает более 60 разнообразных моделей, это пополнение скорее качественное, чем количественное. Надо сказать, и ранее АКТАКОМ представлял два вида источников комбинированного питания — APS-4330 и APS-4331 (рис. 1), выполненные в корпусе для установки в 19" стойку. Эти модели совмещают, по сути, два независимых прибора — источники постоянного и переменного напряжения, имеющие разные органы управления, подключения и индикацию. И хотя источники питания APS-4330 и APS-4331 зарекомендовали себя весьма хорошо, появление новых источников было долгожданным, а расширенный функционал новых приборов явно показывает, какой эволюционный путь может быть пройден за 5-6 лет.



Рис. 1. Комбинированный источник питания АКТАКОМ APS-4331

Новые источники питания представляют собой совсем другой класс устройств, функциональные возможности которых значительно шире, чем просто обеспечение электропитания приборам или оборудованию.

APS-4215 И APS-4220

Итак, знакомимся — источники питания переменного тока АКТАКОМ



APS-4215 и APS-4220. Сразу скажем, оба источника практически одинаковые, одинаковые панели управления, дисплеи, интерфейсы и функции. Но их отличие сразу бросается в глаза — это размеры. Мощность приборов различается в 4 раза, и если у APS-4215 номинальная мощность составляет 500 Вт, то у APS-4220 мощность уже 2000 Вт, и, естественно, это отражается на размерах. Первый прибор имеет настольное исполнение и весит около 30 кг, а двухкиловаттник весит уже 75 кг и имеет напольное исполнение, на поворотных колесах для удобства перемещения (рис. 2). В задней части корпуса установлен внушительный блок вентиляторов. Кстати, сразу отметим «интеллектуальную» систему охлаждения — до 60 °С вентиляторы практически не слышно, после 60 °С вентиляторы начинают вращаться быстрее, а если температура достигает 130 °С, срабатывает защита от превышения температуры (ОТР) и источник отключается (рис. 3).

Источники питания APS-4215 и APS-4220 — это программируемые устройства с низким коэффициентом гармоник и широкими функциональными возможностями, предназначенные для питания тестируемого электронного оборудования напряжением переменного тока. Для проведения тестирования оборудования прибор позволяет моделировать разнообразные нестандартные ситуации, которые могут возникнуть в реальной сети электроснабжения: перенапряжение, уход частоты, различные аномалии в виде выбросов или провалов формы волны и другие искажения.

Помимо функций источника питания переменного тока устройство ис-



Рис. 2. Источники питания переменного тока АКТАКОМ APS-4215 и APS-4220

полняет роль измерительного прибора, позволяя измерять силу тока, напряжение и мощность без использования дополнительных приборов.

Источник питания позволяет подавать на выходные разъемы (универсальная розетка на передней панели или клеммная колодка на задней панели) напряжение переменного тока с разрешением установки 0,1 В в диапазоне от 0 до 300 В. Частота выходного сигнала может быть установлена с разрешением



Рис. 3. Система охлаждения источника питания АКТАКОМ APS-4220

0,1 Гц или 1 Гц в диапазоне от 45 до 500 Гц. При необходимости, можно установить начальную и конечную фазу, ограничить значение пикового тока, коэффициент мощности и некоторые другие параметры.

ВНЕШНИЙ ВИД

Передняя панель приборов и органы управления выполнены в ставшем уже традиционным для лабораторных приборов форм-факторе: в левой части — дисплей, справа от него — функциональные клавиши выбора опций, отображаемых на экране, многофункциональный поворотный переключатель, клавиши выбора режима и цифровые клавиши ввода числовых значений (рис. 4).

Прибор оснащен цветным 4,3" экраном с разрешением 480×270 точек, на

Таблица 1

КРАТКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ APS-4215 И APS-4220

Параметр	APS-4215	APS-4220
Количество каналов	1	1
Количество фаз	1 фаза / 2 провода	
Номинальная мощность	500 Вт	2000 Вт
Выходное переменное напряжение	0...300 В	
Частота выходного напряжения	45,0...500 Гц	
Максимальный выходной ток, $I_{\text{ср}}$ (RMS)	4,2	16,8
Максимальный пиковый ток, $I_{\text{пик-пик}}$	16,8	67,2
Коэффициент гармоник	≤0,5%	
Крест-фактор	≥4	
Коэффициент мощности	0,001	
Нестабильность по сети питания	0,1%+10% полного диапазона	
Нестабильность при изменении нагрузки	≤0,5% (резистивная нагрузка)	
Точность измерения напряжения	±(0,5% $U_{\text{вст.}}$ + 2 е.м.р.)	
Точность измерения тока, СКЗ	±(0,5% $I_{\text{вст.}}$ + 3 е.м.р.)	
Точность измерения мощности	±(0,6% + 5 е.м.р.) при коэффициенте >0,5	

котором отображаются значения устанавливаемых и измеряемых параметров.

Для управления прибором используются три клавиши: DISP, SETUP и SYSTEM, при нажатии на которые открываются соответствующие страницы меню — MeasDisp, Setup или SysSetup.

Так, находясь в меню MeasDisp, в процессе тестирования можно наблюдать изменение параметров напряжения и вносить изменения в некоторые установленные ранее значения. На этом экране одновременно отображаются и предустановленные, и измеряемые в ходе теста параметры (рис. 5). В правой стороне дисплея расположены экранные кнопки, которые позволяют



Рис. 4. Передняя панель источника питания АКТАКОМ APS-4215

включать отображение выходных параметров на экране (PARADISP), выбор режима автоматического или ручного выбора диапазона выходного напряжения (AUTO, в этом режиме прибор будет автоматически определять высокое или низкое напряжение на основе заданного значения, или, в случае установки HIGH, будет использовать весь диапазон 0...300 В) и включение режима удержания заданных параметров DATAHOLD.

При включении заданного напряжения на выходные разъемы клавишей ON/OFF в левом нижнем углу появится предупреждающая надпись ON на красном поле, а на экране будут отображаться значения выходных параметров.



Рис. 5. Экран прибора в режиме MeasDisp

Клавиша SETUP открывает обширное меню установок ручного и программного режимов. В режиме MANUALSETUP прибор представляет собой чистый источник питания. В меню MEMORY пользователь может установить последовательность памяти, напряжения, частоту, установить максимальное и минимальное значения тока, включить режим и установить параметры вносимого искажения SD (режим Surge/Drop), а на вкладке COMMON — установить общие параметры для всех последующих шагов, использующих ячейки памяти, и измерений, как в ручном, так и в программируемом режимах (рис. 6). Отметим, что количество возможных изменяемых параметров впечатляет — можно установить значения и



Рис. 6. Меню установки дополнительных параметров

границы диапазонов изменения напряжения, тока, частоты, фазы, параметры вносимых искажений, таймер проведения испытаний и другие.

Интерес представляет и использование встроенной памяти прибора. Память используется в обоих режимах — и в ручном, и в программируемом, но возможности применения существенно отличаются. В первом случае можно сохранить до 50 профилей настроек прибора для дальнейшего использования, а в программном режиме (иначе — «работа по списку» или «timing») можно запрограммировать 50 ячеек по 9 шагов в каждой и далее составлять последовательности, включая или выключая ячейки из программы, составляя нужные алгоритмы тестирования. Надо сказать, что в программируемом режиме, помимо упомянутых выше параметров, добавляется еще целый ряд возможных установок: верхние и нижние границы пиковых токов, мощности, коэффициента мощности, времени нарастания и спада (время изменения уровня напряжения от 0 В до заданного или от заданного до 0 В), время задержки или длительности тестирования в интервале от 0,1 до 999,9 с. Также здесь можно включить, выключить или установить параметры режима SD, но о нем расскажем ниже.

Отметим, что в части создания программируемых последовательностей в настройках есть две удобные опции — MemoryCycle и StepCycle (рис. 7), позволяющие повторять действия, запрограммированные в указанных ячейках или шагах, необходимое количество раз, а точнее, от 1 до 999 раз.

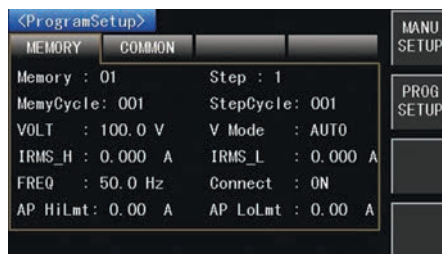


Рис. 7. Одна из страниц меню установок режима программирования

Клавиша SETUP не отличается от аналогичных клавиш в других приборах и отвечает только за системные настройки — дату, время, языковые настройки, подачу звуковых сигналов на разные события, конфигурацию портов связи, состоянию по включению и сбросу на заводские настройки.

Для быстрой установки значений напряжения, тока и мощности в режиме ручного управления на передней панели используются клавиши V-SET, I-SET и P-SET, в режиме просмотра или в программируемом режиме использовать эти клавиши и изменить значения этих параметров нельзя.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ

Получив общее представление о приборе, перейдем к тем функциям, которые вызывают отдельный интерес. Как уже говорилось ранее, помимо главной функции — обеспечения переменным напряжением питания подключаемые приборы — источник нагрузки искусственные искажения формы волны. Для таких испытаний в приборе предусмотрен режим, при котором форма волны искажается по заданным параметрам.

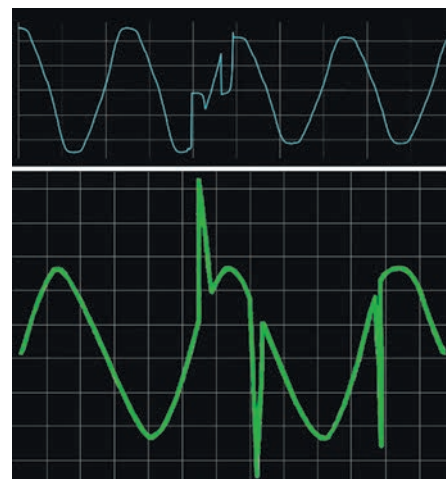


Рис. 8. Некоторые искажения формы волны питающего напряжения

Известно, что в последние годы с расширением большого количества радиоэлектронных устройств, в том числе и не лучшего качества, например дешевых зарядных устройств для мобильной техники, люминесцентных «энергосберегающих» ламп, источников питания и силовых устройств, имеющих реактивный характер нагрузки, сеть электроснабжения подвержена различного рода искажениям и кондуктивным помехам. Такие помехи могут выражаться искажениями или несимметричностью формы синусоиды, кратковременными (миллисекунды) падениями уровня напряжения, выбросами перенапряжения и высокочастотных импульсов, вызываемых, как правило, электромагнитными явлениями и электротехническими процессами, такими как разряды молнии или коммутации различного электрооборудования (рис. 8).

Для имитации подобных искажений и исследования влияния аномалий на нагрузку в источниках APS-4215 и APS-4220 реализован режим Surge/Drop. В этом режиме пользователь может сформировать искажение формы в виде выброса или провала в указанной точке полуволны (рис. 9), при этом возможна

НОВЫЕ МУЛЬТИМЕТРЫ С УНИКАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ!



Прецизионный TrueRMS мультиметр с функцией мегаомметра АММ-1179

- Высокая точность 0,06%
- ЖК индикатор 4³/₄ разряда (40000 отсчётов)
- Измерение сопротивления изоляции до 4 ГОм на тестовом напряжении до 1000 В
- Измерение постоянной и переменной составляющей (AC+DC)
- Рабочий диапазон частот от 50 Гц до 1 кГц
- Функция захвата пиков >1 мс
- Регистратор данных до 255 с
- Измерение токовой петли %4-20 мА
- Защита от пыли и влаги IP-67



Промышленный TrueRMS мультиметр АММ-1037

- ЖКИ 19999 отсчетов
- Частотный диапазон 40 Гц...1 кГц
- Базовая погрешность 0,1%
- Измерение пост. и перем. тока до 20 А
- Измерение емкости до 2000 мкФ



TrueRMS мультиметр со встроенным измерителем RLC АММ-3033

- ЖКИ 6000 отсчётов с подсветкой
- Базовая погрешность 0,5%
- Тестовая частота до 10 кГц
- Регистратор данных на SD карту
- Измерение индуктивности до 100 Гн
- Измерение емкости до 600 мкФ



Мультиметр с функцией мегаомметра АМ-1018В

- Базовая погрешность 0,2%
- Измерение сопротивления изоляции до 2 ГОм
- Тестовое напряжение 50 В/ 100 В/ 250 В/ 500 В/ 1000 В
- Измерение частоты синусоидального сигнала, прямоугольных импульсов и коэффициента заполнения
- Режим измерения емкости 1000 мкФ



Комбинированный мультиметр АМ-1016

- 3 прибора в 1 корпусе
- Частотный диапазон мультиметра 40 Гц... 400 Гц
- Тестовое гнездо телефонной линии RJ-11
- Тестовое гнездо кабеля «витая пара» RJ-45
- Тестирование батарей 1,5 В, 6 В, 9 В



Многофункциональный прибор «6 в 1» АММ-1062

- Классический мультиметр
- Измерение температуры окр. среды
- Измерение влажности
- Встроенный шумомер
- Измеритель освещенности — люксметр
- Контактный термометр (термопары типа К)



Мультиметр со встроенным фонариком АММ-1048

- ЖКИ 3 3/4 разрядов (4000 отсчётов)
- Широкий набор измерительных функций
- Бесконтактный индикатор напряжения
- Категория защиты: CAT III 1000V
- Эргономичный корпус



Бюджетный цифровой мультиметр АММ-1042

- Измерение токов с высоким разрешением 0,1 мкА
- Автоматический и ручной выбор диапазонов
- Компактные размеры



ЦИФРОВЫЕ RLC-МЕТРЫ

Контроль тестового уровня



Эконом-класс



Встроенный компаратор



0,05%
АММ-3044/3046

АММ-3148

АМ-3001

**Графический анализ
кривых резонанса**

**Встроенный
источник смещения**

Анализ трансформаторов



0,05%

1 МГц!

CV-метрия!

АМ-3028

АММ-3068/3088

АММ-3038/3058

Параметры	АММ-3148	АМ-3001	АММ-3044/3046	АММ-3038/3058	АММ-3068/3088	АМ-3028
Точность	0,1 %		0,05 %	0,05 %		0,05 %
Тестовая частота (макс.)	100 кГц		200 кГц	300 кГц/ 1 МГц		1 МГц
ЖК-дисплей	5 разрядов	6 разрядов LED	6 разрядов TFT	6 разрядов TFT (480x272)	6 разрядов TFT (800x480)	6 разрядов (320x240)
Ёмкость	0,001 пФ...10 мФ	0,0001 пФ...100 Ф		0,00001 пФ...10 Ф		
Индуктивность	0,001 мкГн...100 кГн	0,0001 мкГн...100 кГн		0,01 нГн...100 кГн		
Сопротивление	0,0001 Ом...100 МОм	0,0001 Ом...2000 МОм		0,01 МОм...100 МОм		

АМ-3055

АММ-3033

АММ-3035

АММ-3320

**АМ-3123
АМ-3125**



карманный



Регистратор

+ мультиметр



100 кГц

IP-67

+ графическая шкала



DCR

100 кГц

**Автоопределение
компонентов**



USB

DCR

10/100 кГц

Параметры	АМ-3055	АММ-3033	АММ-3035	АММ-3320	АМ-3123/АМ-3125
Точность	1,2 %	0,5 %	0,5 %	0,3 %	0,25 %
Тактовая частота (макс.)	3 Гц	10 кГц	100 кГц	100 кГц	10 кГц (АМ-3123) 100 кГц (АМ-3125)
ЖК-дисплей	3 1/2 разряда; однорядный	3 5/6 разрядов; однорядный	4 1/2 разряда; двухрядный	4 1/2 разряда; двухрядный	5 разрядов; двухрядный
Схемы измерения	2-х проводная	2-х проводная	4-х, 5-ти проводная	2-х проводная	3-х, 5-ти проводная
Ёмкость	1 пФ...60 мФ	0,1 пФ...600 мкФ	0,01 пФ...20 мФ	200 пФ/.../20 мФ	0,01 пФ/0,001 пФ...20 мФ
Индуктивность	—	0,1 мкГн...100 Гн	0,001 мкГн...20 кГн	20 мкГн/.../20 кГн	0,01 мкГн/0,001 мкГн...1 кГн
Сопротивление	0,1 Ом...60 МОм	0,1 Ом...60 МОм	0,001 Ом...200 МОм	20 Ом/.../2 МОм	0,1 Ом...10 МОм

Читайте об измерении паразитных параметров и сортировке RLC-компонентов на www.eliks.ru в разделе "Мне нужно измерить..."
ЭЛИКС, 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный)
Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru



**БОЛЬШЕ
ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru**



установка амплитуды и длительности аномалии. Запуск генерации искажения может производиться разово, в ручном режиме (рис. 9) или постоянно в режиме автоматического запуска.

Подавляющее большинство электронных приборов и бытовой техники, окружающей нас в повседневной жизни, предназначено для питания от сети переменного тока. В ряде случаев, например при ремонтных и исследовательских работах со

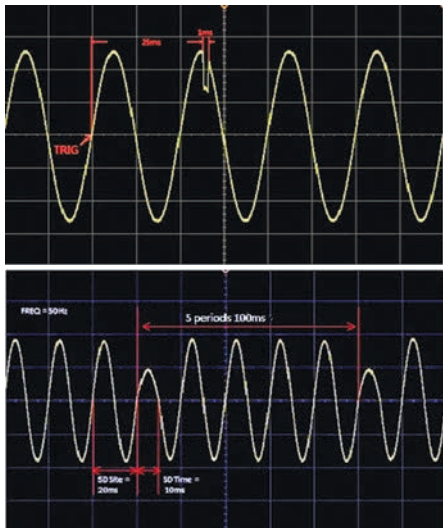


Рис. 9. Режим SD (Surge/Drop), ручной и автоматический запуск генерации аномалий

светотехническими системами, различными приводными моторами, возникает необходимость регулировать количество энергии, поступающей в нагрузку. При условии сохранения неизменной величины питающего напряжения такое регулирование можно осуществить, используя режим диммирования — изменения формы волны, в частности, метода «фазового выреза» — отсекая передний или задний фронт полуволны.

При использовании этого режима можно установить напряжение, частоту и «глубину» отсечки фронта — «напряжение SD». К сожалению, конструкция

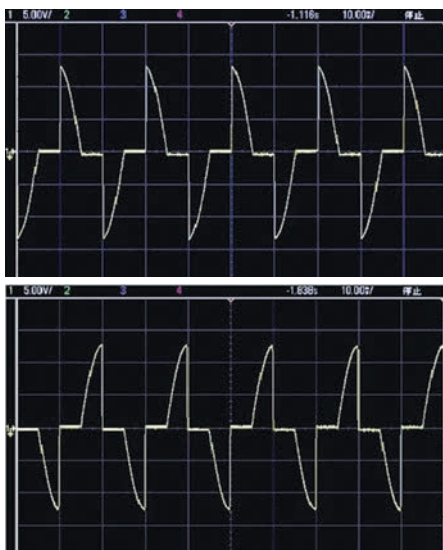


Рис. 10. Режим диммирования по переднему или заднему фронту полуволны

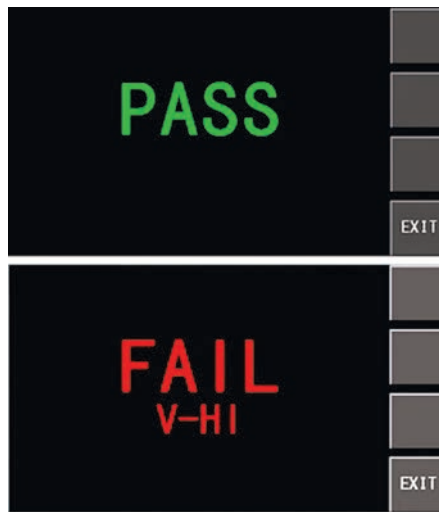


Рис. 11. Режим работы «годен-не годен»

экрана прибора не позволяет выводить графические изображения, поэтому изображения на рис. 9 и 10 сняты на выходе прибора с использованием осциллографа.

К «измерительным» способностям прибора можно также отнести и режим работы «годен — не годен». Когда включен этот режим, любое отклонение от установленных параметров будет сопровождаться звуковым сигналом и соответствующей надписью на дисплее, а на выходном разьеме будет сформирован сигнал «PASS» или «FAIL» (рис. 11), причем в случае результата «не годен» на экране отобразится название параметра, значение которого не соответствует установленному диапазону.

Прибор имеет полный спектр защитных функций: защиту от превышения выходного тока больше чем установленное значение HI-A, превышения напряжения выше установленного (OVP), понижения напряжения меньше установленного (LVP), превышение тока на 10% от максимального или короткое замыкание (OCP), превышение мощности выше максимальной (OPP), превышения температуры (OTP).

Как и большинство современных лабораторных приборов, источники питания APS-4215 и APS-4220 имеют разъем интерфейса USB для подключения внешнего запоминающего устройства. Для удобства работы прибор позволяет сохранять в памяти состояние прибора и значения всех установленных параметров в файлах с расширением *.STA. Сделать это можно как во внутренней энергонезависимой памяти, так и на внешнем запоминающем устройстве. При необходимости, можно скопировать файлы из внутренней памяти (обозначается как I:) на внешний носитель (обозначается как E:, «External») и наоборот (рис. 12).

Помимо сохранения файлов состояния *.STA можно также сохранить и результаты проведения тестов в файлах типа *.CSV, но поскольку файлы данных могут иметь значительные размеры, сохранить их можно только на внешнем запоминающем устройстве (E:).

В заключение подытожим основные особенности, которыми эти источники питания привлекают наше внимание:

- низкий коэффициент гармоник;
- можно регулировать практически все физические параметры формы волны выходного напряжения;
- одновременное отображение до 6 изменяющихся параметров на цветном 4,3" дисплее;
- режим имитации искажений (режим SD) и функция «затемнения» («dimming»);
- программируемый режим (режим работы по списку);
- использование памяти;
- поддержка функции «годен-негоден»;
- защита от повышенного тока, напряжения, пониженного напряжения, превышения мощности, перегрева;
- возможность подключения нагрузки с передней и задней панелей;
- «интеллектуальный» малошумный вентилятор;
- удаленное управление (SCPI).

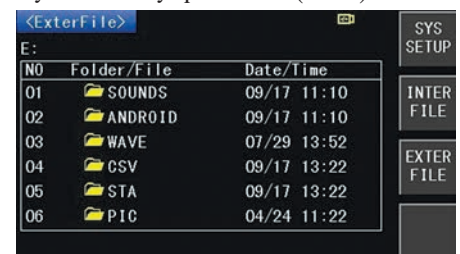


Рис. 12. Меню сохранения данных источников питания APS-4215 и APS-4220

Источники переменного тока АКТАКОМ APS-4215 и APS-4220, обладающие прекрасными характеристиками и широкими функциональными возможностями не только как источники питания, но и как измерительные приборы, займут достойное место и в научно-исследовательской лаборатории и на производственном участке.

Источники переменного тока APS-4215 и APS-4220 позволяют не только обеспечивать электропитание оборудования, но и одновременно проводить измерения и испытания, моделируя возможные негативные процессы, возникающие при сбоях или каких-либо иных искажениях в сетях электропитания. Применение подобных приборов выводит процесс восстановления или отладки оборудования на новый технологический уровень, позволяет сократить время испытания и оптимизировать состав используемого приборного парка. 📧

The present article introduces new AK-TAKOM APS-4215 and APS-4220 AC power supplies. Here you will find more details about the technical characteristics of these new devices as well as their functional capabilities which may significantly increase their popularity as multifunctional laboratory power supplies.

РЕШЕНИЯ АКТАКОМ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

AKTAKOM SOLUTIONS TO EQUIP ELECTROTECHNICAL LABORATORIES

Мы уже привыкли к тому, что практически все приборы, которые нас окружают, работают от электричества. Оно прочно вошло в нашу жизнь, и мы уже с трудом представляем, как обойтись без таких привычных вещей, как холодильник или утюг, телевизор, плита и т.п. Электричество стало настолько привычным для нас явлением, что мы воспринимаем его как важный, но обыденный элемент нашей жизни.

Вспоминаем мы об этом незримом элементе в моменты его отключения. Одно дело, когда электричество отключается в квартире и совсем другое, когда обесточенными оказываются дома, офисы, больницы, отели, магазины, предприятия... Достаточно вспомнить коллапс, который приключился в Москве 25 мая 2005 года в связи с аварией в энергосистеме...

Ничто не бывает вечным и даже электрическое оборудование, спустя время, устаревает и изнашивается, поэтому требует периодической профилактики и диагностики. И если во время обнаружить различные дефекты и устранить причину их возникновения, сбой энергооборудования не приведет к масштабным последствиям.

Проблемы также возникают и при неправильном распределении нагрузки между линиями электрической сети, что приводит к ее перегрузке. В большинстве жилых помещений монтаж проводки осуществлялся 20-30 лет назад, когда допустимые нагрузки рассчитывались по совершенно другим нормам. Но, со временем, владельцы покупают и устанавливают все больше мощных потребителей электроэнергии. Как результат, перегрузка сети, а иногда и возгорание изоляционного покрытия кабелей — пожар (рис. 1). Бывает такое и на промышленных объектах и даже на производствах, где давно не проводились профилактические работы. Достаточно вспомнить случаи, когда на южных курортах при наступлении внезапных холодов подключалось одновременно множество

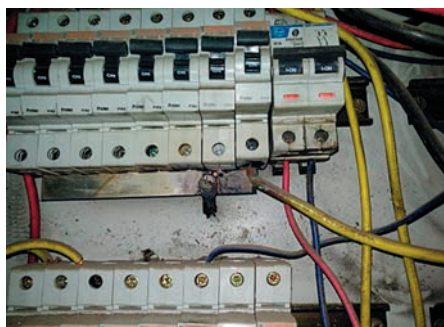


Рис. 1. Типичные неисправности в электрическом щитке

AKTAKOM

отопительных электрических приборов. Так как старая сеть не рассчитана на такие мощности, некоторые крупные санатории были обесточены на несколько дней.

К сожалению, ни владельцы квартир, ни руководители предприятий не понимают и не видят необходимости проведения периодических испытаний электрической сети, полагаясь на принцип «если что-то случится, то просто не будет работать». Поэтому аварии энергосистемы оборачиваются страшными трагедиями и выводом из строя дорогостоящего оборудования.

Чтобы этого не случилось, профилактикой электрических сетей занимаются специальные организации — электроизмерительные или электротехнические лаборатории (ЭТЛ). Если рассматривать обобщенно, то ЭТЛ — это организация, которая предоставляет услуги, связанные с электрическими измерениями сети как в частных домах и квартирах, так и на производствах. Кроме этого, лаборатория предпринимает различные действия, направленные на проверку приборов, питание которых осуществляется от сети.

ЭТЛ измеряет сопротивление заземления, обмоток, изоляции, переходных контактов, цепи «фаза-ноль», осуществляет замеры ёмкости различных элементов, высчитывает коэффициенты трансформации, проводит испытания повышенным напряжением, а также испытывает электрический инструмент, различные приборы и оборудование.

Мы не будем подробно рассказывать, чем занимаются ЭТЛ, но отметим что только эти организации, работающие по специальному разрешению Ростехнадзора, могут выдавать официальное свидетельство, подтверждающее, что электрооборудование и электрическая сеть находятся в исправном состоянии. Все проверки производятся согласно существующим нормативным документам и требованиям профессиональными и высококвалифицированными специалистами.

В нашем обзоре мы коснемся тех приборов, которыми комплектуется ЭТЛ при проведении испытательных и измерительных работ. Следует понимать, что все работы, проводимые ЭТЛ, являются «полевыми», то есть, осуществляются не в лаборатории, а непосредственно на участке заказчика. И требования к приборам предъявляются соответствующие: расширенная функциональность, точность измерений, надёжность, ударопрочность, и од-

но из самых главных требований — наличие в Госреестре СИ РФ, позволяющее применять оборудование в сфере метрологического контроля и надзора. Также, одной из востребованных функций является наличие регистратора с записью данных на карту памяти или с передачей данных в компьютер. Это необходимо в тех случаях, когда объект достаточно большой и требуется детальный анализ электрической сети. В таком случае все данные собираются и потом, при помощи компьютерного анализа, выявляются проблемные участки, которые требуют детального изучения. Рассмотрим все подробнее.

Как известно, в процессе доставки потребителю электрической энергии участвует множество разного электрооборудования — это силовые кабельные линии и провода, автоматические выключатели, счетчики, розетки, силовые щитки и многие другие устройства. Задача ЭТЛ состоит в том, чтобы проверить все звенья и составляющие электрической сети и выявить скрытые возможные дефекты. Особо пристальное внимание уделяется силовым линиям и проводам, им требуется не только визуальный осмотр, но и замер сопротивления изоляции и испытание повышенным напряжением.



Рис. 2. Проведение измерений токовыми клещами

В арсенале современной ЭТЛ множество различных приборов, и наиболее часто применяемыми являются токовые клещи. Этот инструмент способен решать большое количество разнообразных измерительных задач. В частности, модель токовых клещей-ваттметра АКТАКОМ АТК-2200 (рис. 3) позволяет измерять силу тока и напряжение, а также значение активной, реактивной и полной мощности в трех- и четырехпроводных трехфазных цепях, трехфазных цепях с симметричной нагрузкой, двух- и трехпроводных однофазных цепях, что делает его идеальным инструментом как для электрика, так и

для проведения контрольных замеров специализированными организациями.

Другая модель токовых клещей АКТАКОМ АТК-2103 совмещает в себе функциональность двух приборов: собственно токоизмерительных клещей и мультиметра (рис. 4). Уникальность этой модели состоит в том, что благодаря большому диаметру охвата магнитопровода (для плоских шин — 60 мм, для круглых проводников — 50 мм) бесконтактным способом прибор позволяет измерять ток до 2000 А, а при помощи встроенного мультиметра, аж с микроамперного диапазона! Комбинация двух приборов в одном корпусе делает АТК-2103 универсальным в применении инструментом и обеспечивает возможность измерения до 8 электрических величин. АТК-2200 и АТК-2103 — поистине уникальные приборы, порой даже не имеющие аналогов на российском рынке.



Рис. 3. Токовые клещи АКТАКОМ АТК-2200

Для работы в пучках и труднодоступных местах наиболее часто используются профессиональные токовые клещи АКТАКОМ АСМ-2311 (рис. 5), которые обладают функциями мультиметра (измерение постоянного и переменного напряжения, сопротивления, ёмкости, частоты, проверка диодов и др.).

Следует выделить токовые клещи АКТАКОМ АТК-2120. По своей функциональности — это классические токовые клещи постоянного и переменного тока (до 1200 А). А вот наличие встроенного аналогового выхода позволяет использовать их в качестве адаптера для подключения их, например, к осциллографу для наблюдения формы сигнала или другому внешнему устрой-



Рис. 4. Измерение переменного тока клещами АКТАКОМ АТК-2103



Рис. 5. Токоизмерительные клещи АКТАКОМ АСМ-2311

ству или даже использовать в составе измерительного комплекса для регистрации измеренных значений тока.

Даже простые и недорогие модели токовых клещей АКТАКОМ имеют профессиональный функционал. Не секрет, что при включении нагрузки возникает бросок тока, который может привести к негативным последствиям. Не все приборы, способные измерять ток, смогут или успеют отследить это мгновенное изменение тока. Помочь здесь смогут токовые клещи АКТАКОМ АСМ-2368, которые имеют не только встроенную функцию измерения пусковых токов, но и широкие возможности при измерении других электрических параметров (рис. 6).

Хотя многие модели токовых клещей и имеют встроенный мультиметр, разнообразные измерительные задачи требуют отдельного применения этого вида приборов. Поэтому, при комплектации ЭТЛ функционалу мультиметров уделяется пристальное внимание, поскольку для проведения измерений, согласно действующим нормативным документам, подходят только специализированные профессиональные модели.



Рис. 6. Токовые клещи АКТАКОМ АСМ-2368

В частности, к таким моделям относится профессиональный водонепроницаемый цифровой мультиметр АКТАКОМ АММ-1028 (рис. 7), сочетающий в себе высокую точность измерений напряжения и силы постоянного и переменного тока, сопротивления, ёмкости, частоты и температуры, широкий набор функций, а также простоту, надёжность и безопасность эксплуатации. Прибор рассчитан на применение в суровых климатических и производственных условиях (прочный водо- и пылезащищённый корпус, IP67), обеспечивает высокую скорость измерений и расширенные диапазоны ёмкости и частоты. Кроме того, предусмотрены режимы удержания минимальных и максимальных значений и регистрации пиковых значений.

Заслуженной популярностью не только у ЭТЛ, но и штатных электриков пользуется промышленный водонепроницаемый прецизионный мультиметр АММ-1139,

обеспечивающий безопасность и точность измерений в любых условиях, и предоставляющий максимум возможностей (рис. 8). Этот прибор имеет многофункциональный ЖКИ высокого разрешения с подсветкой и аналоговой шкалой, а также пик-детектор, функцию регистратора и режим измерения токовой петли. Возможность измерения истинных среднеквадратических значений (True RMS) позволяет корректно проводить измерения искажённых и несинусоидальных сигналов. Наличие быстродействующей графической шкалы даёт возможность наблюдать динамику изменения измеряемых величин.



Рис. 7. Цифровой мультиметр АКТАКОМ АММ-1028

Нередки случаи, когда электроприборы эксплуатируются в помещениях, не соответствующих требованиям эксплуатации. При сильном нагреве или охлаждении изоляция может начать терять свои свойства. Это, в свою очередь, может привести к повреждению кабеля, а также подключённых к нему приборов и механизмов. В таких случаях, при проведении электроизмерительных работ очень полезным оказывается цифровой мультиметр АКТАКОМ АМ-1019 (рис. 9) Это



Рис. 8. Водонепроницаемый мультиметр АКТАКОМ АММ-1139

комбинированный прибор «5 в 1», сочетающий в себе функции измерения как электрических, так и неэлектрических величин: температуры, влажности, уровня шума и освещённости. Встроенный люксметр поможет измерить освещённость в полевых условиях, и полностью адаптирован к учёту угловых лучей света. Шумомер в АМ-1019 может применяться на производстве, в образовательных учреждениях,

офисных и жилых помещениях, а также звукозаписывающих студиях, концертных залах, клубах и hi-fi инсталляциях.

Для безопасной работы всё электрическое оборудование должно иметь сопротивление изоляции, соответствующее определенным характеристикам. Из-за различных воздействий на оборудование качество изоляционных материалов со временем меняется, то есть снижается электрическое сопротивление изоляции, что приводит к увеличению тока утечки и, как следствие, к очень серьезным негативным последствиям.



Рис. 9. Комбинированный цифровой мультиметр АКТАКОМ AM-1019

Регулярная проверка изоляции, проводимая на установках и оборудовании, позволяет избежать подобных инцидентов. Для этих измерений применяется высоковольтный тестер сопротивления изоляции АКТАКОМ AM-2125, который предназначен для испытания сопротивления изоляции электрооборудования до 1,2 ТОМ тестовым напряжением до 5000 В (DC), а также проводит измерения токов утечки, напряжения и температуры (рис. 10). Возможности тестера сопротивления изоляции АКТАКОМ AM-2125 существенно расширяет наличие встроенного регистратора.

Еще один, пожалуй, самый популярный и востребованный цифровой многофункциональный мегаомметр АКТАКОМ AM-2002 (рис. 11) давно получил профессиональное признание специалистов. Как и модель AM-2125, мегаомметр AM-2002 предназначен для измерения сопротивления изоляции и высокоомных электрических цепей при различных рабочих, в том



Рис. 10. Высоковольтный тестер сопротивления изоляции АКТАКОМ AM-2125

числе и высоких, напряжениях. AM-2002 обеспечивает широкий диапазон и высокую точность измерений, а также возможность измерения переменного напряжения. Кроме того, мегаомметр AM-2002 предоставляет возможность контроля состояния цепей заземления.

Измерение сопротивления изоляции и высокоомных цепей осуществляется в диапазонах 200 МОм и 1000 МОм, при этом испытательное напряжение на диапазоне 200 МОм может составлять 100 В, 250 В и 500 В, а на диапазоне 1000 МОм — 1000 В. Ток короткого замыкания равен примерно 2 мА. В режиме вольтметра AM-2002 работает на частотах 50...500 Гц и имеет всего один диапазон измерения — 600 В. Входное сопротивление вольтметра — около 4,5 МОм. Прибор обеспечивает защиту от перегрузки до 1000 В. Для измерения сопротивления в низкоомных цепях используется диапазон 200 Ом. Конструктивно прибор выполнен в ударопрочном корпусе с крышкой, которые обеспечивают защиту индикатора и органов управления при хранении и транспортировке.



Рис. 11. Цифровой мегаомметр АКТАКОМ AM-2002

Ещё один прибор — цифровой миллиомметр AM-6000 — предназначен для измерения малых значений активного сопротивления цепей и их элементов в широком диапазоне и с высоким разрешением (рис. 12). Наиболее часто данный прибор применяется при измерении сопротивления обмоток электродвигателей и трансформаторов, а также используется при проведении наладочных и ремонтных работ, которые предлагают электротехнические лаборатории с соответствующим профилем предлагаемых услуг. Для проведения точных измерений малых значений сопротивления и избегания влияния паразитных сопротивлений или сопротивления измерительных проводов в приборе схемотехнически реализована четырехпроводная схема. AM-6000 также выполнен в ударопрочном корпусе.

В своей работе специалисты ЭТЛ нередко сталкиваются с проблемами, когда на предприятиях к электроустановкам прокладывается множество сетей различного назначения — силовые цепи, цепи измерительных устройств, релейной защиты и автоматики, при этом допускаются нарушения, которые вызывают нежелательные помехи и электрические наводки на различные типы оборудования. Проще говоря, не всегда учитывается, что при монтаже



Рис. 12. Цифровой миллиомметр АКТАКОМ AM-6000

большого количества оборудования, сложных систем, те или иные электропроводки могут взаимодействовать по-разному. Поэтому, при необходимости технического переоснащения предприятия, которое предусматривает замену различных цепей, необходимо соблюдать определенные требования к взаимной прокладке цепей различного напряжения. А в случае, если меняется тип оборудования или систем, применяются другие типы кабелей, то, по сути, создается новая система. При этом следует учитывать, что, к примеру, цепи вторичной коммутации устройств релейной защиты и автоматики, а также цепей приборов учета и измерительных приборов, которые могут создавать взаимные помехи, превышающие допустимые значения, и которые будут нарушать нормальную работу данных устройств, нельзя прокладывать вместе с силовыми кабелями.

Но, это все в теории, а на практике, такие случаи, к сожалению, встречаются достаточно часто. В основном ради экономии — при замене оборудования или реконструкции сетей, владельцу не хочется прокладывать отдельные линии, требующие значительных финансовых вложений. Поэтому, по уже имеющимся каналам, прокладываются различные виды сетей, негативно влияющие на работу конечных приборов и устройств.

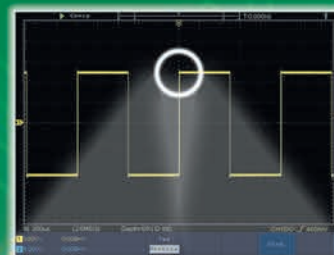
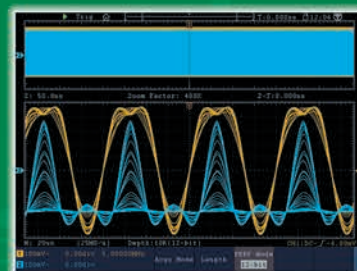
В этом случае недостаточно стандартных измерительных приборов, и поэтому специалисты электротехнических лабораторий используют портативные осциллографы АКТАКОМ, которые являются незаменимыми приборами для диагностики и настройки различных сетей и оборудования на производстве, а также для работы в полевых условиях. Часто используются портативные осциллографы-мультиметры-регистраторы серии ADS-4xxx с управлением как клавишами, так и с использованием сенсорного дисплея. Наиболее часто для диагностических и сертификационных испытаний применяются бюджетные модели осциллографов в пылевлагозащищенном ударопрочном корпусе АКТАКОМ ADS-4072, ADS-4112, ADS-4152 (рис. 13). Все приборы в этой серии имеют два канала, одинаковую максимальную частоту дискретизации 1 Гвыб/с, одинаковую глубину памяти 240 К (120 К на канал) и отличаются полосой пропускания (от 70 до 200 МГц) и некоторыми дополнительными опциями, среди которых — наличие в не-

ПЕРВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ АКТАКОМ С РАЗРЕШЕНИЕМ 12 И 14 БИТ!



@aktakom

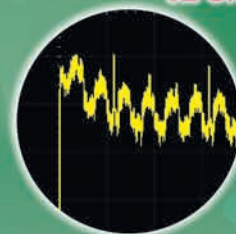
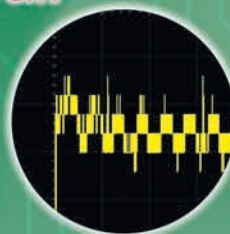
- ✓ До 4-х приборов в 1 корпусе :
 - Цифровой осциллограф с полосой 300 МГц
 - 1 или 2-х канальный генератор сигналов*
 - Цифровой мультиметр 3 ¼ разряда*
 - Анализатор протоколов I²C, SPI, RS-232, CAN*
- ✓ Большая глубина записи 40 миллионов точек
- ✓ Высокая скорость захвата осциллограмм 75000 осц/с
- ✓ 28 типов автоматических измерений
- ✓ Анализ спектров на основе БПФ
- ✓ Батарейное питание*
- ✓ Возможность установки сенсорного дисплея*
- ✓ Дружественный экранный интерфейс



Новинка!

8 бит

12 бит



Смотрите видео применения на сайте www.aktakom.ru

	ADS-6062H	ADS-6122	ADS-6122H	ADS-6142H	ADS-6222	ADS-6222H	ADS-6322
Количество каналов	2 + внешний запуск						
Полоса пропускания**	60 МГц	100 МГц			200 МГц		300 МГц
Максимальная дискретизация**	1 Гвыб/с				2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	2,5 Гвыб/с
Скорость захвата	75000 осц/с						
Максимальная глубина записи**	40 М точек						
Горизонтальная развертка**	2 нс/дел до 1000 с/дел				1 нс/дел до 1000 с/дел с		
Вертикальное разрешение	8 / 12 бит	8 бит	8 / 12 / 14 бит		8 бит	8 / 12 / 14 бит	
Вертикальное отклонение	1 мВ/дел...10 В/дел						
Тип запуска	фронт, импульс, видео, скорость нарастания, рант, окно, по истечению времени, N фронт, логический шаблон, сигналы последовательных шин						
Интерфейсы	Штатно: USB-device, USB-host, LAN; Опционально: VGA и AV выход						
Дисплей	Цветной 8", TFT, 800×600, 65535 цветов; опция сенсорный IPS дисплей 1024×768						

* - дополнительная опция при предварительном заказе; ** - параметры указаны для режима разрешения 8 бит



ЭЛИКС, 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный)
Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru



БОЛЬШЕ
ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПО ДОСТУПНОЙ ЦЕНЕ

APS-1602



- 1 канал
- Выходное напряжение до 60 В
- Выходной ток до 2 А
- 4-проводная схема
- Защита от перегрузок
- Режим стабилизации тока и напряжения
- Кнопочное управление током
- Двухстрочный ЖК-дисплей

APS-1306



- 1 канал
- Выходное напряжение до 30 В
- Выходной ток до 5 А
- Защита от перегрузки по току
- Режим стабилизации тока и напряжения
- 2 LED дисплея

APS-3310L



Дистанционное управление

- 1 канал
- Выходное напряжение до 30 В
- Выходной ток до 10 А
- 4-проводная схема
- Кнопка включения и отключения нагрузки
- Двухстрочный ЖК-дисплей
- Интерфейсы USB и LAN



APS-3020

- 1 канал
- Выходное напряжение до 30 В
- Выходной ток до 20 А
- Защита от перегрузки и перегрева
- Двухстрочный ЖК-дисплей



APS-2236

- 2 канала
- Выходное напряжение до 30 В
- Выходной ток до 5 А
- Последовательное/параллельное соединение каналов
- Режим стабилизации тока и напряжения
- Защита от короткого замыкания
- Четыре цветных LED дисплея



APS-2261

- 2 канала
- Выходное напряжение до 60 В
- Выходной ток до 10 А
- Последовательное/параллельное соединение каналов
- Трекинг-режим
- Кнопка включения и отключения нагрузки
- Режим стабилизации тока и напряжения
- Защита от короткого замыкания
- Четыре 3-разрядных LED дисплея



которых моделях изолированных каналов (каналов с гальванической развязкой).

Оциллографы этой серии имеют ударопрочные корпуса с защитой IP51, оснащены информативным сенсорным TFT дисплеем размером 5,7" и разрешением 640×480 точек, позволяющим отображать осциллограммы в мельчайших подробностях (рис. 14). Дисплей инверсный, т.е. оператор может в зависимости от внешних условий и освещения изменить схему отображения — цветные осциллограммы на черном или на белом фоне. Применение сенсорного дисплея позволило уменьшить размеры панели управления и перенести часть настроек в режим использования экранных кнопок. Особенно удобно применение экранных кнопок при необходимости ввода числовых значений.



Рис. 13. Осциллограф-мультиметр-регистратор ADS-4112

В приборах этой серии в одном корпусе совмещены три полноценных устройства — двухканальный осциллограф, цифровой мультиметр и регистратор сигналов. Эти осциллографы предоставляют широкие возможности по определению и анализу сигналов, имея оптимальный набор инструментов, в том числе: математические функции, более 30 видов различных автоматических измерений, построение трендов в трех режимах, покадровый регистратор и многое другое.

Полноценный инженерный калькулятор и приложение для пересчета электрических параметров, которые есть в этих осциллографах, часто используются сотрудниками ЭТЛ в работе (рис. 15). Осциллограф позволяет сохранять на внешнем USB носителе осциллограммы и текущие



Рис. 14. Сенсорный дисплей портативного осциллографа АКТАКОМ серии ADS-4xxx

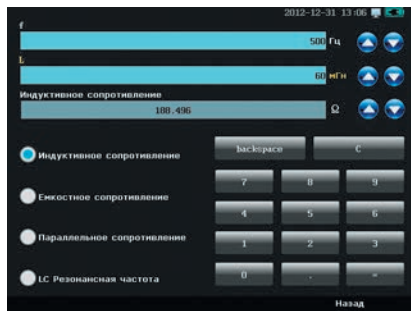


Рис. 15. Система расчёта электрических величин в портативных осциллографах АКТАКОМ ADS-4xxx

настройки прибора. Встроенный мультиметр имеет разрядность 6000 отсчётов, измеряет постоянное (до 1000 В) и переменное (до 750 В) напряжение, сопротивление до 50 МОм, ёмкость до 50 мкФ. Измерение тока мультиметр может производить с использованием специального подключаемого модуля или токовых клещей. Прибор фиксирует максимальное, минимальное или усредненное значения измеряемой величины, а также выполняет тест диодов и проверку целостности цепи (рис. 16).

Встроенный регистратор сигналов позволяет фиксировать результаты измерений осциллографа и мультиметра с разной временной шкалой (от 10 с/дел до 20 мин/дел), сохраняя при этом данные либо во внутреннюю память прибора, либо на внешний USB носитель.



Рис. 16. Дисплей мультиметра в портативных осциллографах АКТАКОМ ADS-4xxx

Портативные осциллографы АКТАКОМ являются незаменимым помощником многих электротехнических лабораторий, которые кроме услуг по измерению, испытаниям и техническим отчетам, предоставляют своим клиентам достаточно широкий спектр услуг, включающий ремонт электрооборудования, различные электромонтажные работы, в том числе и на производственных объектах.

Отдельного внимания заслуживает модель портативного двухканального осциллографа-мультиметра ADS-2029 (рис. 17), имеющая изолированные входы осциллографа, а также гальваническую развязку входов осциллографа и мультиметра, что позволяет проводить наблюдение и измерение сигнала в системах с плавающим потенциалом, т.е. когда «земляные» потенциалы измерительного прибора и объекта измерения отличаются друг от друга. Такая ситуация может возникнуть даже в пределах одного помещения, если электрические розетки подключены к разным

щиткам, не имеющим системы уравнивания потенциалов. Благодаря наличию гальванической развязки, а также наличию всех основных функций при очень демократичной стоимости, осциллограф ADS-2029 стал незаменимым помощником при проведении измерительных работ.

В нашей статье мы рассказали лишь о нескольких, наиболее важных приборах АКТАКОМ, используемых ЭТЛ при проведении диагностики электрических сетей. На самом деле, электротехнические лаборатории, предоставляя свои услуги, используют достаточно много самого разнообразного оборудования, которое, благодаря точным измерениям, помогает избежать таких проблем, как утечка тока,



Рис. 17. Портативный осциллограф-мультиметр АКТАКОМ ADS-2029

перебои электроснабжения и воспламенение изоляционного покрытия кабелей. Однако, профессиональные токовые клещи, мультиметры, измерители сопротивления изоляции и портативные осциллографы АКТАКОМ доступны не только специалистам ЭТЛ, но и штатным энергетическим службам любого предприятия или промышленного объекта. С помощью надежных и современных приборов АКТАКОМ можно самостоятельно проводить периодическую профилактику и диагностику сетей, заблаговременно обнаружить различного рода дефекты и устранить их возникновения. Грамотное обслуживание, периодические замеры показаний электроприборов и силовых линий с помощью приборов АКТАКОМ — залог бесперебойной, безопасной и безаварийной работы любого электрооборудования и систем электроснабжения. ✉

The present article describes the capabilities of devices necessary for electrical laboratories for testing and measuring work. It should be considered that all types of work proceeded by electrical laboratories are «in-the-field» ones. That means the devices used should meet the following requirements: enhanced functionality, high measurement accuracy, reliability, impact resistance, and one of the most important requirement is the availability of Type Approval Certificate in Russian Federation which allows using such equipment in the field of metrological control and supervision. The current article will provide the examples of devices, convenient and multifunctional, that meet all of the requirements of electrical laboratories.

ОБНАРУЖЕНИЕ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗАТОРА СПЕКТРА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

DETECTING DRONES USING A REAL-TIME SPECTRUM ANALYZER

Полет беспилотного летательного аппарата (БПЛА) — весьма увлекательное зрелище. Для любителей радиоуправляемых моделей запуск БПЛА является развлечением, для любителей фото- и видеосъемки — источником захватывающих дух видов с высоты птичьего полета.

За последние годы продажи беспилотных летательных аппаратов значительно выросли. По прогнозам Федерального агентства гражданской авиации только в США парк малых любительских моделей БПЛА должен увеличиться более чем в 2 раза — с 1,1 млн в 2017 году до 2,4 млн к 2022 году [1]. В 2018 году Teal Group прогнозировала, что объем производства БПЛА невоенного назначения — коммерческих, потребительских и гражданских — в следующем десятилетии во всем мире составит 88,3 млрд долл. США, то есть увеличится с 4,4 млрд долл. США в 2018 году до 13,1 млрд долл. США в 2027 году, что соответствует среднегодовому темпу роста 12,9% [2].

Большинство операторов управляют БПЛА, руководствуясь здравым смыслом, но, к сожалению, так делают не все, о чем свидетельствуют заголовки статей, посвященных беспилотным летательным аппаратам:

Декабрь 2018 г. — «Пассажирский самолет Боинг 737 поврежден из-за возможного столкновения в воздухе с беспилотным летательным аппаратом», агентство Bloomberg.

Декабрь 2018 г. — «Аэропорт Гатвик: беспилотные летательные аппараты мешают полетам», BBC News.

Январь 2019 г. — «Федеральное агентство гражданской авиации США заявило, что из-за беспилотных летательных аппаратов временно приостановлена работа аэропорта Ньюарк», агентство Рейтер.

В случае, когда БПЛА появляется в неподобающем месте, последствия могут быть катастрофическими. Поэтому организациям необходимы точные, простые в эксплуатации и экономичные решения для обнаружения в режиме реального времени беспилотных летательных аппаратов, совершающих полеты в запретной зоне воздушного пространства или вблизи нее. В этой публикации мы обсудим вопросы поиска решения для обнаружения БПЛА.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

При поиске решения для обнаружения беспилотных летательных аппаратов важно понимать принципы работы большинства любительских и коммерческих БПЛА.

Практически все любительские и коммерческие беспилотные летательные аппараты:

Tektronix

- управляются локально в пределах прямой видимости на расстоянии до 300 м;
- управляются дистанционно на расстоянии 3...5 км с использованием вида от первого лица (FPV);
- работают в нелицензируемом диапазоне частот 2,4 ГГц для управления (полоса пропускания прибл. 80 МГц);
- используют нелицензируемый диапазон частот 5,8 ГГц для получения видеопотоков (полоса 20 МГц и ниже) от первого лица (FPV);
- обеспечивают возврат в исходную точку (RTH) при низком уровне или отсутствии сигналов управления;
- используют технологии кодирования сигналов, предоставляемые всего несколькими поставщиками, что облегчает идентификацию БПЛА;
- используют сигналы управления со скачкообразной перестройкой частоты с полосой до 80 МГц;
- Федеральная комиссия связи США (FCC) ограничила работу БПЛА нелицензируемыми диапазонами частот 2,4 ГГц, 5,8 ГГц, 900 МГц и 433 МГц.

В следующих разделах мы обсудим два метода обнаружения беспилотных летательных аппаратов с использованием прочных, портативных и доступных по цене анализаторов спектра Tektronix серий RSA306B и RSA507A. Первый метод — это базовый ручной метод обнаружения БПЛА. Второй метод является расширенным и включает информацию о конфигурации автоматизированной системы обнаружения БПЛА.

БАЗОВЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Базовый метод обнаружения БПЛА может быть реализован с помощью анализатора спектра серии RSA306B или RSA500 и ПО DataVu-PC компании Tektronix.

Поскольку операторы отслеживают местоположение БПЛА, используя канал передачи видеоданных от первого лица (FPV), первым шагом поиска БПЛА является сканирование в диапазоне частот 5,8 ГГц для поиска импульсных



Рис. 1. Пакет видеоданных в диапазоне 5,8 ГГц

сигналов, которыми обмениваются БПЛА и контроллер.

Как упоминалось выше, любительские и коммерческие БПЛА передают видеоданные в нелицензируемом диапазоне частот 5,8 ГГц. Наличие сигналов управления или видеосигналов, передаваемых от БПЛА оператору, можно идентифицировать по характерным пакетам подтверждения получения данных.

Как показано на рис. 1, характеристики пакета видеоданных легко определяются даже по результатам измерения зависимости мощности от времени. В режиме реального времени можно добиться еще большей точности, анализируя захваченные данные I/Q. Это показано ниже на рисунках 2 и 3.

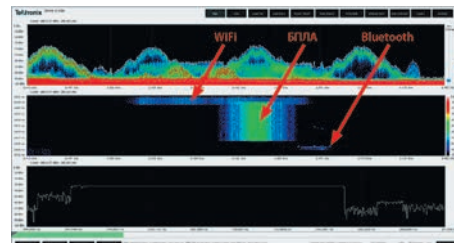


Рис. 2. Пакеты управления в диапазоне 2,4 ГГц



Рис. 3. Пакет видеоданных в диапазоне 5,8 ГГц, полученный после обработки сигнала I/Q

Второй метод обнаружения одного или нескольких БПЛА основан на сканировании в диапазоне частот 2,4 ГГц. Исключив из рассмотрения сигналы Wi-Fi и Bluetooth, можно проанализировать оставшиеся сигналы. В диапазоне 2,4 ГГц одновременно могут работать операторы нескольких беспилотных летательных аппаратов. Для того, чтобы управлять каждым БПЛА, не мешая другим, требуется применять сигналы со сложным кодированием. Формирование подобных сигналов поддерживается лишь ограниченным ассортиментом микросхем нескольких производителей. Используемые для этого уникальные сигнатуры сигнала могут быть легко идентифицированы.

Даже в весьма перегруженном диапазоне 2,4 ГГц сигналы управления легко идентифицируются на основе данных I/Q, захваченных в режиме реального времени, как показано на снимке экрана выше.

Если вероятное наличие БПЛА

определено первым или вторым методом, то следующим шагом является захват данных I/Q из сигнала. Полученные данные могут быть использованы для идентификации производителя беспилотного летательного аппарата.

Следует отметить, что несущая частота сигналов управления БПЛА обычно скачкообразно изменяется между несколькими значениями и занимает полосу до 80 МГц, в то время как анализаторы спектра реального времени Tektronix серий RSA306B и RSA507A имеют полосу анализа 40 МГц. Для сбора данных во всей необходимой полосе ПО DataVu-PC имеет специальный режим, в котором два анализатора спектра реального времени используются для анализа в полосе 80 МГц. В этом случае можно

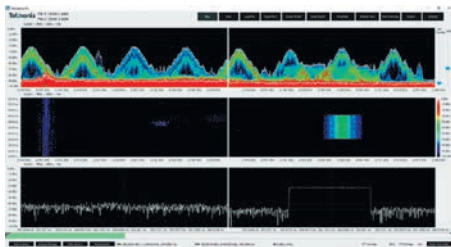


Рис. 4. Скачкообразное изменение частоты и кодовые последовательности контроллера БПЛА в режиме с двумя анализаторами спектра реального времени

анализировать всю последовательность скачкообразной перестройки частоты, чтобы точно определить изготовителя БПЛА или производителя микросхем и принять соответствующие меры противодействия. В режиме с двумя анализаторами спектра реального времени можно видеть скачкообразное изменение частоты и кодовые последовательности контроллера БПЛА в полосе 80 МГц, как показано ниже на рис. 4.

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БПЛА

Хотя наибольшую опасность БПЛА представляют для аэропортов, они также могут создавать проблемы, например, при проведении массовых мероприятий или проникновении в закрытое воздушное пространство военных баз. Автоматизированная система может контролировать большой периметр, что позволяет вести непрерывный мониторинг присутствия беспилотных летательных аппаратов.

Создание автоматизированной системы обнаружения БПЛА упрощается благодаря

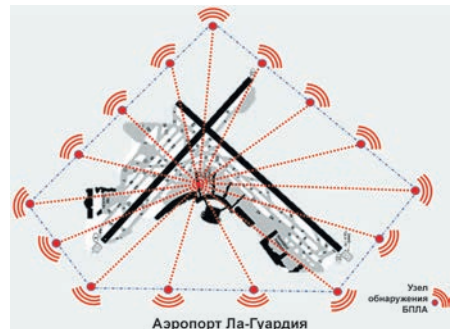


Рис. 5. Условная схема автоматизированной системы обнаружения (источник: сайт faa.gov)

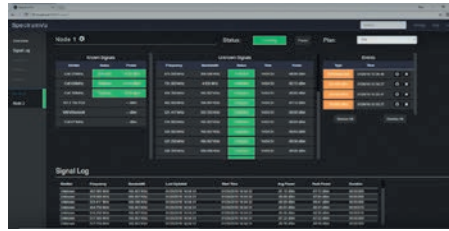


Рис. 6. ПО SpectrumVu автоматически передает оповещение сотрудникам службы безопасности при обнаружении подозрительного сигнала

объединению в сеть нескольких анализаторов спектра Tektronix серии RSA306B или RSA500 и использованию ПО SpectrumVu® для мониторинга РЧ спектра. ПО SpectrumVu — расширенное ПО для полностью автономного мониторинга РЧ спектра с возможностью записи неизвестных спектральных событий и выдачи оповещений при обнаружении неизвестных сигналов.

Для создания автоматизированной системы обнаружения БПЛА узлы, включающие в себя анализатор спектра, антенну и мини-ПК Intel NUC, устанавливаются по периметру, как показано на схематическом представлении аэропорта Ла-Гуардия (рис. 5). Узлы объединяются в сеть с оперативным центром для полного покрытия периметра и траекторий



Рис. 7. Технология всестороннего анализа спектральных данных [2]

полетов. Используя несколько узлов, можно определить местоположение БПЛА в системе координат XYZ.

С помощью этой системы РЧ спектр контролируется автономно и круглосуточно. Кроме того, при появлении неизвестных сигналов или сигналов с мощностью, превышающей заданный порог, выдаются оповещения. Известные и неизвестные сигналы захватываются анализатором спектра в режиме реального времени и отображаются на панели SpectrumVu, как показано на рис. 6.

Для автоматической идентификации вероятных сигналов БПЛА в ПО SpectrumVu используются последние инновации в технологии нейронных сетей. Режим StepNStare ПО SpectrumVu позволяет выполнять ступенчатую перестройку по фрагментам РЧ спектра шириной 40 МГц, записывать данные I/Q текущего фрагмента и затем перестраиваться на следующий фрагмент шириной 40 МГц. Этот процесс повторяется по всему нелицензируемому спектру БПЛА, что позволяет пользователю контролировать спектр путем непрерывной обработки небольших файлов данных I/Q, используя машинное обучение и шаблоны сигналов. Если характеристики принятого сигнала совпадают с характеристиками сохраненного и классифицированного нейронной сетью сигнала, ПО SpectrumVu выдает сигнал тревоги, указывающий на вероятное присутствие БПЛА.

Используя машинное обучение, уникальные РЧ характеристики как сигналов управления БПЛА, так и сигналов нисходящих видеоканалов (FPV), эти сигналы могут быть автоматически идентифицированы в пределах полосы пропускания анализатора спектра реального времени.

Неизвестные сигналы могут передаваться в базу данных SQL, чтобы ускорить идентификацию БПЛА и обеспечить возможность дополнительного анализа РЧ спектра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты доставляют нам удовольствие и решают множество полезных задач, но при неправильном использовании они могут создавать опасные ситуации. Мы рассмотрели основные характеристики любительских и коммерческих БПЛА, а также характеристики рекомендуемых анализаторов спектра. Были предложены как простой метод, так и усовершенствованное автоматизированное решение для обнаружения БПЛА.

Как показано выше, анализатор спектра реального времени может стать ценным автономным или сетевым устройством для мониторинга РЧ спектра и обнаружения присутствия БПЛА. Для организаций, занимающихся поиском БПЛА в местах, где они не должны появляться, важно инвестировать средства в решения, обеспечивающие информированность в режиме реально-

го времени, круглосуточный мониторинг и автоматическое оповещение.

Для получения дополнительной информации о решении Tektronix для обнаружения БПЛА обратитесь в местное представительство Tektronix (www.tek.ru).

ЛИТЕРАТУРА

1. «Прогноз развития аэрокосмической отрасли на 2018-2038 г., Федеральное агентство гражданской авиации США», 16 марта 2018 г., www.faa.gov/news/updates/?newsId=89870.
2. «Teal Group», 16 июля 2018 г., www.tealgroup.com/index.php/pages/press-releases/54-teal-group-predicts-worldwide-civil-drone-production-will-soar-over-the-next-decade.
3. «Всесторонний анализ спектральных данных: глубокое обучение идентификации сигналов беспроводной связи в приложениях мониторинга спектра», Merima Kulin, Tarik Kazaz, Ingrid Moerman и Eli de Poorter, 11 декабря 2017 г., arXiv:1712.03987v1.

When a drone is operating where it shouldn't, the potential ramifications can be catastrophic. As a result, organizations need real-time and accurate solutions for detecting drones flying in or near restricted airspace. In this article, we'll discuss considerations when looking for a drone detection solution.

ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ ШУМОВ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗАТОРОВ ФАЗОВОГО ШУМА R&S FSWP

PULSED PHASE NOISE MEASUREMENTS WITH R&S FSWP PHASE NOISE ANALYZER

Румянцев К.В. (K. Rumyantsev), ООО «Роде и Шварц РУС», Лемешко Н.В. (N. Lemeshko), д.т.н., в.н.с. АО «Корпорация «Комета»

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время методы цифровой обработки сигналов получили широкое распространение за счет своей универсальности и повышенной помехоустойчивости, а также широких возможностей формализации алгоритмов обработки. Эволюция современных беспроводных систем связи требует включения в их состав все большего количества цифровых узлов и наложения все более жестких требований по спектральной эффективности кодирования информации. В тоже время прогресс в создании широкополосных радиотрактов дал особое развитие радиолокации, причем современные радиолокационные системы стараются извлекать больше информации о целях и их траекториях, а также обеспечивать возможность отслеживания медленно движущихся целей, таких как автомобили и пешеходы, на фоне помех.

Как для систем связи, так и для радиолокационных систем, одним из основных параметров, ограничивающих производительность системы, является фазовый шум. Разработка современных и все более совершенных радиосистем, требует обязательного учета влияния фазовых шумов генераторов и передатчиков. Важно подчеркнуть, что в этом, также как и во многих других направлениях развития радиотехники, развитие средств измерений следует за потребностями практики.

Настоящая работа, основанная на материалах [1], направлена на освещение вопроса о способах измерения фазовых шумов импульсных сигналов, в первую очередь используемых в радиолокации, а также освещению функциональных возможностей и практики применения анализатора фазовых шумов R&S FSWP.

ИМПУЛЬСНЫЕ СИГНАЛЫ НА НЕСУЩЕЙ

Видеоимпульсы, которым соответствует нулевая несущая частота, мало применимы для целей радиолокации, и в первую очередь из-за необходимости использовать антенны больших габаритов и их крайне слабой направленности [2]. В общем случае для целей применения в радиолокационных станциях используются сигналы со специальными видами модуляции, например, с линейной частотной модуляцией, однако в



RONDE & SCHWARZ

контексте измерения фазовых шумов ниже будет рассмотрен только наиболее простой её вид.

Сигналы и, соответственно, излучения импульсного характера могут быть получены включением и выключением генератора несущей, но это не обеспечивает непрерывность фазы, и она становится случайной для каждого импульса. Это не позволяет использовать такое решение в доплеровских РЛС и проводить измерения фазового шума таких источников с помощью фазовых или синхронных детекторов. Так как для фазового детектора необходим стабильный опорный сигнал, с которым сравнивается измеряемый сигнал, то оказывается невозможным измерить фазовый шум при значительном изменении фазы каждого импульса.

При рассмотрении процесса модуляции необходимо помнить, что умножение импульсного сигнала и ВЧ-несущей во временной области соответствует свертке их спектров в частотной области. Спектр последовательности импульсов представляет собой последовательность гармоник, отстоящих друг от друга на частоту повторения импульсов (ЧПИ) F . При амплитудной модуляции несущей импульсным сигналом сформирован симметричный относительно частоты несущей спектр, спектральные линии которого разнесены на $n \cdot F$, где n — натуральное число. Амплитуда спектральных линий (рис. 1) будет иметь ожидаемую огибающую вида $\sin(x)/x$, нули которой возникают в точке $1/\tau$, где τ — длительность импульса.

При увеличении ЧПИ увеличивается расстояние между спектральными линиями. Если ЧПИ очень низкая, спектраль-

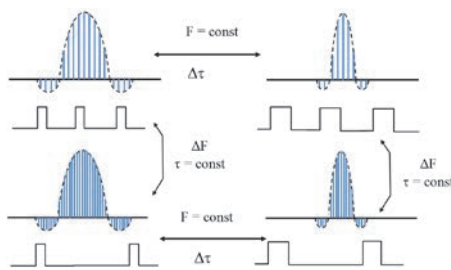


Рис. 1. Изменения спектра импульсного сигнала при изменении F и τ

ные линии будут расположены очень близко друг к другу и могут мешать доплеровской обработке. Также и при измерениях фазовых шумов, увеличение интервала между частотными линиями увеличивает возможности измерения фазового шума между спектральными линиями с точки зрения значения максимально доступной отстройки от несущей.

ФАЗОВЫЙ ШУМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

При амплитудной модуляции формируется спектр с симметричными относительно несущей частоты боковыми полосами, включающими спектральные линии с интервалом F . Дополнительно каждая линия в спектре также содержит фазовый шум несущей, наложенный в процессе свертки. Этот добавленный шум на каждой спектральной линии можно легко выделить, изучив импульсный спектр сигнала с импульсной модуляцией на анализаторе спектра при полосе разрешения $RBW \ll F$ и увеличив полосу обзора до отображения нескольких отдельных спектральных линий.



Рис. 2. Фрагмент спектра несущей с импульсной модуляцией

На рис. 2 показан фрагмент спектра несущей с частотой 1 ГГц, модулированной импульсным сигналом с длительностью импульса 10 мкс и $F = 10$ кГц. Здесь хорошо различимы боковые полосы фазового шума несущей, и можно заметить, что фазовый шум несущей накладывается на каждую спектральную линию спектра. Также видно, что U-образная кривая формируется между каждой линией спектра. Еще из рисунка можно увидеть, что для отстройки частоты больше, чем $F/2$, новая информация о фазовом шуме отсутствует, и его измерения проводятся, как правило, с отстройкой частоты от несущей, не пре-

Осциллографы смешанных сигналов

Tektronix®

Новинка!



MDO Серии 3



MSO Серии 4



Максимальная гибкость и наглядность представления исследуемой системы



Быстрый всесторонний анализ характеристик сигналов



Запуск по сигналам последовательных шин и их анализ



- Инновационный интерфейс пользователя с управлением сенсорными жестами на экране
- Самый большой в отрасли сенсорный дисплей с высоким разрешением (HD 1920x1080)
- Для MSO серии 4: 4 или 6 входов FlexChannel, каждый вход можно использовать для регистрации и отображения 1 аналогового сигнала или 8 цифровых логических сигналов путём простой замены пробника
- Расширенный анализ сигналов: декодирование и синхронизация по сигналам последовательных шин I²C, SPI, USB 2, Ethernet, CAN, LIN и др., расширенный анализ джиттера, автоматические измерения и анализ мощности

Параметр	MD032	MD034	MS044	MS046
Полоса	100 МГц, 200 МГц, 350 МГц, 500 МГц, 1 ГГц		200 МГц, 350 МГц, 500 МГц, 1 ГГц, 1,5 ГГц	
Максимальное число аналоговых каналов	2	4	4	6
Максимальное число цифровых каналов (опция – кратно 8 каналам)	16	16	32	48
Максимальная частота дискретизации (все аналоговые и цифровые каналы)	5 Гвыб/с		6,25 Гвыб/с	
Глубина записи (все аналоговые и цифровые каналы)	10 М		31,25 М / 62,5 М (опция)	
Максимальная скорость захвата осциллограмм	280000 осц./с		500000 осц./с	
Разрешение АЦП	8 бит		12 бит	
Анализатор спектра	1 ГГц / 3 ГГц (опция)		—	
Генератор сигналов	До 50 МГц (опция)			
Интерфейс пробника	TekVPI		FlexChannel / TekVPI	
Дисплей	Сенсорный, 11,6" HD		Сенсорный, 13,3" HD	



ЗАО «НПП ЭЛИКС» — официальный дистрибьютор Tektronix
 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
 Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный)
 Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru



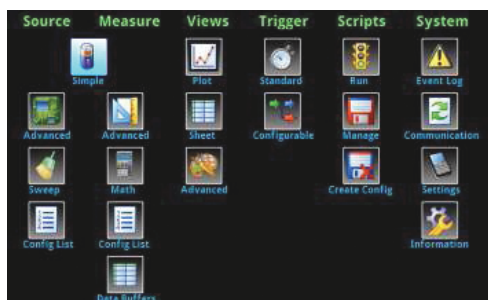
БОЛЬШЕ
ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru

Инновационный и компактный характериограф с сенсорным дисплеем



- Одновременная подача и измерение тока или напряжения
- Встроенный TCP-процессор позволяет расширять число каналов без шасси и поддерживает параллельное исполнение тестов
- Технология TSP-Link® упрощает объединение нескольких приборов в одну измерительную систему
- Расширенные возможности работы с малыми напряжениями, токами и сопротивлениями
- Интерактивный емкостной сенсорный экран обеспечивает превосходное восприятие отображаемой информации
- Графический интерфейс представляет функции построения вольт-амперных характеристик
- Работа в импульсном режиме с мощностью до 1000 Вт (для 2461)

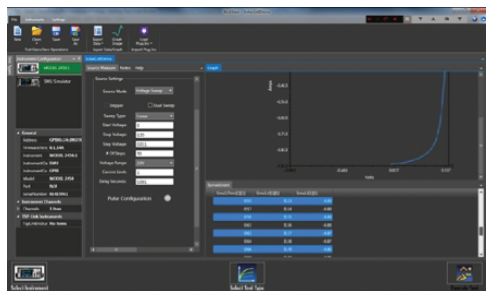
Параметр	2450	2460	2461	
Максимальная мощность	20 Вт	100 Вт	100 Вт / 1000 Вт (имп.)	
Напряжение (ист./изм.)	Макс. значение	200 В	100 В	
	Точность	±0,015% / ±0,012%		
	Разрешение	500 нВ / 10 нВ	5 мкВ / 100 нВ	5 мкВ / 100 нВ
Ток (ист./изм.)	Макс. значение	1 А	7 А	7 А ; 10 А (имп.)
	Точность	±0,02% / ±0,02%		
	Разрешение	500 фА / 10 фА	50 нА / 1 пА	50 нА / 1 пА



Система меню на основе пиктограмм может на 50% сократить число операций настройки и позволяет обойтись без сложных многоуровневых структур.

Источник-измеритель Keithley 24xx объединяет в одном корпусе:

- Высокостабильный малошумящий программируемый источник питания
- Электронную нагрузку
- Прецизионный 6½-разрядный мультиметр
- Генератор тока (TrueRMS)
- Новую систему синхронизации TriggerFlow



Измерительное ПО Kickstart позволяет и новичку, и опытному специалисту начать измерения в считанные минуты без какого-либо программирования.

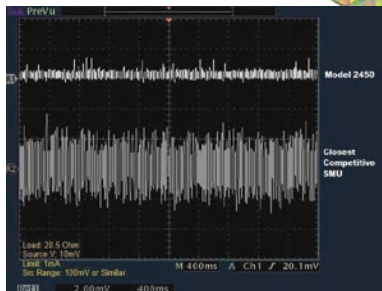
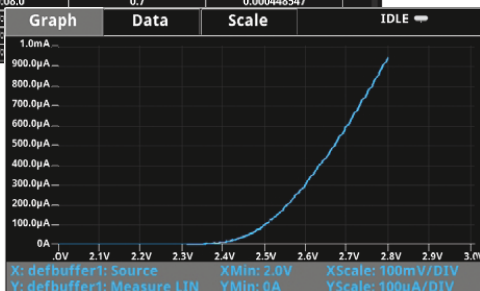


Начальная страница меню источника-измерителя содержит подробную информацию о состоянии прибора и позволяет изменять диапазоны, устанавливать выходные значения и выбирать пороги защиты, ускоряя проведение экспериментов.



DATA SHEET		
Time	Source	Measure
1 05:08 09:50	0	-2.51326e-07
2 09:50:02.6	0.1	6.38803e-05
3 09:50:05.3	0.2	0.000127991
4 09:50:05.8	0.3	0.00019225
5 09:50:06.4	0.4	0.000256259
6 09:50:06.9	0.5	0.000320488
7 09:50:07.5	0.6	0.000384533
8 09:50:08.0	0.7	0.000448547
9 09:50:		
10 09:50:		
11 09:50:		

Функции отображения данных, построения диаграмм и экспорта в электронные таблицы позволяют преобразовать необработанные результаты измерений в структурированную информацию.



Значительно меньший широкополосный шум по сравнению с аналогичными приборами других производителей делает модели 2450/2460 наилучшим выбором для измерения ВАХ новейших электронных устройств.



Официальный дистрибьютор KEITHLEY в Российской Федерации
 «ЭЛИКС»: Москва, 115211, Каширское шоссе, дом 57, корпус 5
 Телефоны: (495) 781-4969 (многоканальный), 344-9765, 344-9766
 Факс: (495) 344-9810 E-mail: eliks-tm@eliks.ru Internet: www.eliks.ru



вышающей указанного значения. В классическом случае при измерении фазовых шумов после фазового детектора ставят фильтр нижних частот. Частота среза этого фильтра меньше $F/2$, что гарантирует проведение измерений фазовых шумов в корректном диапазоне отстроек частоты.

РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ ФАЗОВЫМ ШУМОМ НЕПРЕРЫВНОГО И ИМПУЛЬСНОГО СИГНАЛОВ

При сравнении фазового шума для сигнала с импульсной модуляцией и без импульсной модуляции для одного и того же источника оказывается, что фазовый шум в первом случае выше, особенно при больших отстройках от несущей частоты. На рис. 3 представлен график, на котором построена зависимость фазового шума от частотной отстройки.

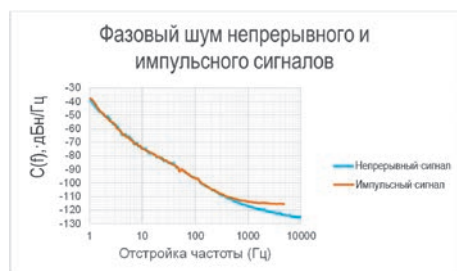


Рис. 3. Фазовый шум непрерывного и импульсного сигналов

Кривые на рис. 3 получены путем измерения фазового шума с помощью анализатора фазовых шумов FSWP компании Rohde & Schwarz. Использовалась импульсная модуляция с $\tau = 10$ мкс и с $F = 10$ кГц. Максимальная отстройка частоты для измерения импульсного сигнала равна $F/2 = 5$ кГц. Фазовый шум импульсного сигнала начинает отличаться от фазового шума непрерывного сигнала, начиная с отстройки частоты порядка 400 Гц, и он примерно на 8 дБ выше при отстройке $F/2$. Сравнивая рис. 2 и 3, можно заметить схожую форму кривой.

Как отмечалось выше, при амплитудной модуляции формируется две боковые полосы выше и ниже несущей. Свертка всех отдельных спектров приводит к появлению всех возможных сумм и разностей несущей частоты и всех гармоник модулирующего сигнала. Если боковые полосы фазового шума присутствуют в несущей, то спектр импульсного сигнала сворачивается со спектром несущей и ее шумовыми боковыми полосами.

В целом, процесс модуляции накладывает шумовые боковые полосы несущей на каждую спектральную линию импульса так, как это пояснено на рис. 4 и 5.

Для фиксированной длительности модулирующего импульса увеличение шума на несущей частоте F_c будет обратно пропорционально F . Низкое значение F соответствует высокой спектральной плотности и большему шуму;

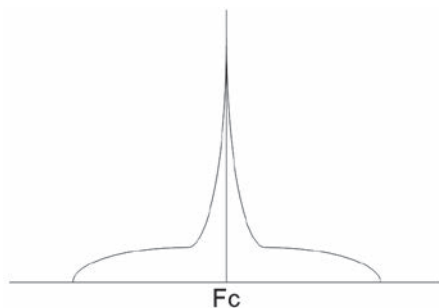


Рис. 4. Спектр несущей и ее боковые шумовые полосы

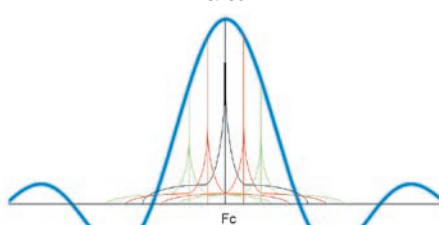


Рис. 5. Спектр шумовых боковых полос, наложенных на каждую спектральную линию

в то время как увеличение ЧПИ приведет к снижению шума на несущей.

Как правило, вблизи несущей уровень шума падает очень быстро, со скоростью порядка 20...40 дБ на декаду. Из-за формы огибающей спектра сигнала с импульсной модуляцией, соответствующей функции $\sin(x)/x$, наложенный шум на этих отстройках будет ниже уровня шума непрерывного сигнала. Но при больших отстройках, вплоть до $F/2$, отклонение будет более заметным, особенно если кривая спектра шума непрерывного сигнала имеет пьедестал. Так как пьедестал на кривой фазового шума означает относительно постоянный уровень энергии во всем диапазоне отстроек частоты, суммарная энергия наложенного шума будет больше, чем для области с постоянно уменьшающимся наклоном.

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ШУМА ОТ ХАРАКТЕРИСТИК МОДУЛИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ

На основе изложенного выше можно сделать вывод об изменении фазового шума импульсной несущей в зависимости от значения F и длительности импульса τ . Лучше всего это можно оценить по результатам реальных измерений фазового шума при различной длительности импульсов.

На рис. 6 приведены результаты трех измерений фазового шума импуль-

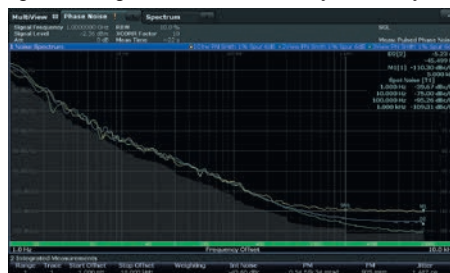


Рис. 6. Вариации фазового шума, вызванные изменением длительности импульса

сно модулированной несущей, показанные на одном графике. Все измерения проводились при постоянном значении $F = 10$ кГц. Первое измерение проводилось при длительности импульса 10 мкс, результаты показаны с помощью синей (средней) кривой. Для второго измерения длительность импульса была увеличена до 50 мкс, результаты показаны с помощью зеленой (нижней) кривой. Фазовый шум уменьшился примерно на 6 дБ. Для этого измерения длительность импульса была увеличена в 5 раз, что привело к кратному уменьшению ширины основного лепестка спектра и количества спектральных линий в основном лепестке. Ожидаемое снижение фазового шума для этого случая составляет $10 \lg_{10}(1/5) = -6,9$ дБ. Полученное значение является упрощенной аппроксимацией наихудшего случая изменения фазового шума.

Последнее измерение, результаты которого соответствуют желтой (верхней) кривой на рис. 6, проводилось при длительности импульса 1 мкс, что в 10 раз меньше, чем для первого измерения. Видно, что уменьшение длительности импульса привело к увеличению фазового шума несущей.

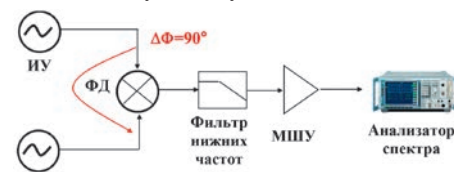


Рис. 7. Реализация метода фазового детектора для измерения фазового шума

Исходя из этого, в общем случае фазовый шум импульсной несущей не будет таким же, как фазовый шум непрерывной несущей, в особенности при больших отстройках. С учетом того, что фазовый шум является одним из важнейших и в то же время ограничивающих характеристик для радиосистем, его измерения становятся важной прикладной задачей.

МЕТОД ФАЗОВОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВОГО ШУМА

Как правило, высокоточные измерения фазового шума выполняются с помощью калиброванного фазового детектора, в котором величина отклонения фазы несущей пропорциональна напряжению на выходе фазового детектора. Сигнал с выхода фазового детектора проходит через фильтр нижних частот и усиливается до подачи на высокопроизводительный аналого-цифровой преобразователь или анализатор Фурье. Реализация метода фазового детектора для измерения фазового шума пояснена на рис. 7.

В большинстве случаев в качестве фазового детектора используется смеситель, к сигнальному входу которого подключено испытываемое устройство (ИУ), а к входу для гетеродина подключен опорный генератор. Последний настраивается на ту же частоту, что и ИУ,

со сдвигом фазы на 90 градусов. При наличии двух входных сигналов в квадратуре постоянное выходное напряжение смесителя равно нулю, а кратковременные отклонения фазы преобразуются в переменное напряжение. На основе преобразования Фурье рассчитывается спектральная плотность флуктуаций фазы, которую можно преобразовать в фазовый шум.

Описанный выше метод часто называют методом фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) опорного генератора, т.к. часто он используется для организации обратной связи с выхода фазового детектора на опорный генератор, для поддержания квадратурного соотношения фаз между ИУ и опорным генератором.

При измерении фазового шума импульсной несущей приведенная на рис. 7 схема имеет ограниченное применение. При подаче импульсного сигнала на вход фазового детектора и непрерывным опорным сигналом гетеродина выходное напряжение фазового детектора также становится импульсным и содержит среднее постоянное значение, которое способно вводить малошумящий усилитель в режим насыщения (рис. 8). Чтобы этого избежать, как правило, необходимо также использовать опорный сигнал с такой же импульсной модуляцией, как и у ИУ.

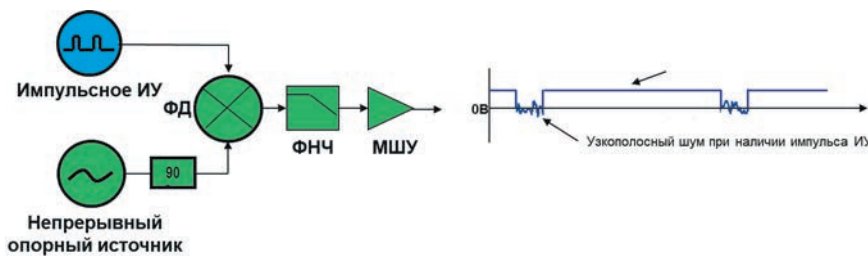


Рис. 8. Формирование сигнала на выходе фазового детектора для импульсного входного сигнала при постоянном опорном сигнале

Добавление импульсной модуляции к опорному источнику (гетеродину) приводит к дополнительным сложностям, т.к. пользователю, скорее всего, придется с помощью осциллографа контролировать выходной сигнал фазового детектора, чтобы убедиться в синхронности импульсной модуляции ИУ и опорного сигнала и отсутствии перегрузки малошумящего усилителя.

Кроме того, пользователь также должен подобрать подходящий фильтр нижних частот, чтобы устранить отстройку частоты, превышающие $F/2$. В большинстве систем для измерений фазовых шумов используются аналоговые фильтры, и во многих системах требуемый фильтр может быть недоступен. Для случаев, когда подходящий фильтр недоступен, пользователь вынужден использовать внешний фазовый детектор и внешний фильтр нижних частот, что значительно повышает вероятность воздействия внешнего шума на результаты измерения фазового шума и в целом затрудняет процесс измерений. Та-

кие недостатки в значительной степени устранены в анализаторах фазового шума с кросскорреляционной обработкой.

АНАЛИЗАТОРЫ ФАЗОВОГО ШУМА С КРОССКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Одним из ограничивающих факторов метода ФАПЧ опорного генератора является то, что чувствительность такой системы ограничена фазовым шумом опорного генератора. Практическим правилом здесь является выбор генератора, фазовый шум которого как минимум на порядок меньше, чем у измеряемого устройства. В большинстве случаев это серьезно ограничивает чувствительность измерительной установки. Одним из способов обойти это ограничение является использование двух одинаковых генераторов, предполагая, что итоговый фазовый шум на 3 дБ ниже, чем измеряемый. Часто предположение об идентичности двух источников оказывается неверно и требуется другое решение. Многие годы более подходящим решением было проведение трех измерений фазового шума с тремя похожими генераторами, во время которых каждый генератор являлся поочередно опорным и измеряемым источником. По результатам этих измерений фазовый шум каждого генератора можно было определить, решив три уравнения с тремя неизвестными. Такой подход проиллюстрирован на рис. 9.

В ходе совершенствования техники измерения фазового шума с понижением уровня собственного шума стало очевидно, что если разделить сигнал ИУ и подать на две независимые системы с АФПЧ, то собственный шум измерительной установки будет не коррелирован в обоих каналах за счет использования индивидуального источника сигнала гетеродина для каждой из систем, а шум от ИУ будет коррелирован в обоих каналах. При таком подходе

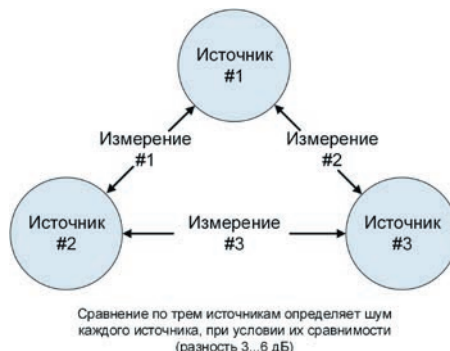


Рис. 9. Метод сравнения трех источников

можно использовать кросскорреляционную обработку для снижения шума, создаваемого измерительной установкой (прибором). Реализация такого подхода представлена на рис. 10.

В системе измерения фазового шума с кросскорреляционной обработкой, как показано на рис. 10, шум прибора в канале 1 не коррелирован с шумом, формируемым в канале 2; поэтому при кросскорреляционной обработке на выходах двух независимых каналов коррелированы будут только сигналы ИУ, а шум измерительной системы снижается на $5\lg_{10}(M)$, где M — число корреляций. Таким способом, можно снизить шум системы на 10 дБ, если провести 100 кросс-корреляций.

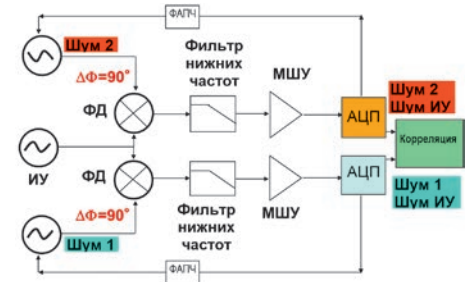


Рис. 10. Схема измерений фазового шума с кросскорреляционной обработкой

Системы на основе фазовых детекторов с кросскорреляционной обработкой занимали лидирующие позиции на рынке последнее десятилетие или около того, но они все еще обладали тем же недостатком, что и ранние системы: измерения фазового шума по-прежнему зависели от аналоговых компонентов и их возможностей по обработке сигналов. С целью повысить качество самых современных систем измерения фазового шума компания Rohde & Schwarz разработала новый анализатор фазовых шумов FSWP, в котором большая часть обработки сигналов перемещена в цифровую область, в которой характеристики системы обладают большей повторяемостью, а калибровку на уровне системы можно упростить.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗАТОРОВ R&S FSWP

Анализатор R&S FSWP [3] — это полнофункциональный и комплексный анализатор фазового шума с кросскорреляционной обработкой. FSWP позволяет проводить измерения фазового и амплитудного шума как непрерывных, так и импульсных сигналов на частотах до 50 ГГц. Помимо измерений фазового шума анализатор FSWP, оснащенный опцией В1, позволяет проводить полноценный анализ сигналов и спектра с полосой частот цифрового анализа до 320 МГц.

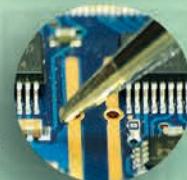
Анализатор R&S FSWP позволяет выполнить большинство измерений, просто подключив сигнал к анализатору и нажав на кнопку выбора режима измерений. После завершения измерений можно отобразить на экране кривые для фазового и амплитудного шума, это также верно и для случая измерения фазового

НОВОЕ ПАЯЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Монтажные паяльные станции



- Компактные размеры
- Диапазон температур от 100 до 480 °С
- Керамический нагреватель
- Низковольтный паяльник
- Мощность паяльника до 60 Вт
- 3 предустановленные температуры (ASE-1115)



Термовоздушные паяльные станции

- Мощность 700 Вт
- Цифровая индикация
- Температурный диапазон 100...480 °С
- Компактные размеры
- Бесщёточный вентилятор
- Антистатическое исполнение



ASE-4502

Индукционные паяльные станции

- Цифровой ЖК-дисплей
- Максимальная мощность 90 Вт
- Температурный диапазон 90...480 °С
- Возможность использования для бессвинцовой пайки
- Режим блокировки температуры паролем
- Быстрый нагрев жала



ASE-1202

Многофункциональные паяльные станции

- 3 канала: монтаж, демонтаж, пайка горячим воздухом
- Мощность до 520 Вт
- Термовоздушный паяльник: темп. нагрева до 500 °С / поток до 24 л/мин
- Низковольт. монтажный паяльник (до 480 °С)
- Демонтажный вакуумный паяльник (до 480 °С)
- Большой выбор наконечников для всех видов плат
- Простое управление
- 2 канала в 1 корпусе (монтаж/демонтаж)
- Цифровая индикация температуры
- Диапазон температур (монтажный канал) 200...500 °С
- Диапазон температур (демонтажный канал) 300...500 °С
- Мощность паяльников 60 Вт
- Эргономичная конструкция паяльников
- Схема контроля температуры

ATP-4302



ATP-3101



УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ СЕРИИ AWG-41XX

- ✓ Прямой цифровой синтез (DDS)
- ✓ Вертикальное разрешение 14 бит
- ✓ Режимы модуляции: АМ, ЧМ, ФМ, ЧМн, ШИМ
- ✓ Режим свипирования по частоте
- ✓ Режим формирования пачек импульсов
- ✓ Форма вых. сигнала: 5 стандартных и до 45 пользовательских
- ✓ Встроенный частотомер до 200 МГц
- ✓ Входы/выходы внешней синхронизации и тактирования
- ✓ Дисплей: 3,9" ЖК TFT (480x232) поддержка графического отображения формы
- ✓ Интерфейсы USB-device/host; LAN*, RS-232*



Новинка!



	AWG-4112	AWG-4124	AWG-4152	AWG-4164	AWG-4151
Количество каналов	2	2	2	2	1
Частотный диапазон (синус)	1 мкГц...10 МГц	1 мкГц...25 МГц	1 мкГц...50 МГц	1 мкГц...60 МГц	1 мкГц...150 МГц
Разрешение по частоте	1 мкГц				
Амплитуда (50 Ом)	1 мВ _{п-п} ...10 В _{п-п}				10 мВ _{п-п} ...10 В _{п-п} (≤10 МГц)
Разрешение по амплитуде	1 мВ _{п-п} или 14 бит				
Формирование сигнала	125 Мвыб/с, 14 бит, 8 К точек		250 Мвыб/с, 14 бит, 1 М точек		400 Мвыб/с, 14 бит, 1 М точек

* только для AWG-4151



ЭЛИКС, 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный)
Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru

БОЛЬШЕ ИНФОРМАЦИИ
НА www.eliks.ru



шума в импульсном режиме. В случае импульсной модуляции несущей, анализатор автоматически измеряет частоту несущей, длительность импульса и частоту повторения импульсов, а затем конфигурирует анализатор для проведения измерений без вмешательства пользователя.

Как и другие системы с кросс-корреляцией, анализатор R&S FSWP разделяет входной сигнал и подает его на два независимых измерительных канала обработки, однако дальнейшая обработка выполняется по существенно отличающимся принципам.

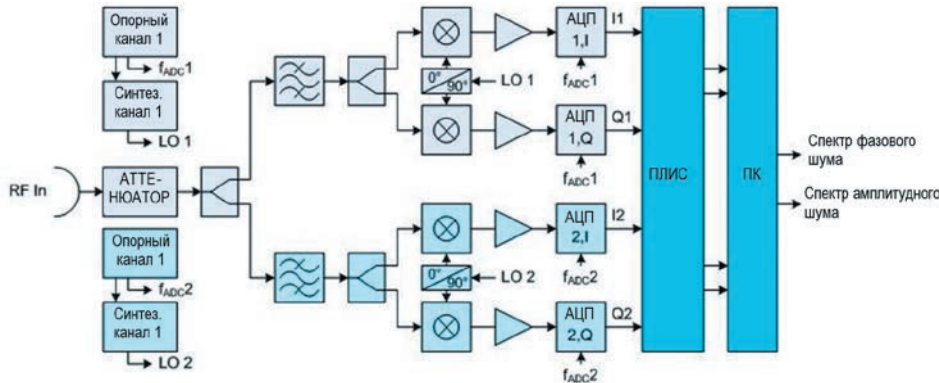


Рис. 11. Блок-схема радиотракта анализатора R&S FSWP

На рис. 11 показана упрощенная блок-схема анализатора R&S FSWP. На этой схеме можно четко различить два кросскорреляционных канала, с соответствующими гетеродинами и опорными генераторами, показанными слева. После разветвителя сигнал для каждого канала проходит через полосовой фильтр и подается на квадратурный смеситель. Аналоговый квадратурный смеситель с помощью сверхмаломощного опорного генератора переносит сигнал на низкую или нулевую промежуточную частоту, в зависимости от измеряемой отстройки частоты. Сигналы с выходов квадратурных смесителей канала 1 и 2 подаются либо на маломощный усилитель, либо на усилитель-ограничитель и затем на соответствующий АЦП с частотой дискретизации 100 млн. отсчетов/с. Сигналы с выходов всех четырех АЦП затем подаются на ПЛИС и программное обеспечение на ПК для дальнейшей обработки. Комплексные низкочастотные сигналы с каждого канала, I и Q, оцифровываются, затем на ПЛИС выполняется их цифровая обработка в реальном времени.

На рис. 12 показан принцип обработки сигнала на ПЛИС для одного канала. Сигналы I и Q после оцифровки и последующего выравнивания (эквализации) подаются на цифровой преобразователь с понижением частоты, который формирует поток I-Q данных для дальнейшей обработки. Комбинация аналогового квадратурного смесителя и цифрового эквалайзера обеспечивает подавление паразитной амплитудной модуляции более чем на 40 дБ, в отличие от 15...30 дБ, характерных для стандартных аналоговых систем ФАПЧ, таким образом, снижая вероятность коллапса взаимного спектра [4]. Кол-

лапс взаимного спектра может возникнуть, если амплитудный шум появляется на обоих входах анализатора кросс-корреляционного спектра, и оказывается инвертированным по фазе из-за неидеальности смесителей, которые используются в качестве фазовых детекторов.

Цифровой преобразователь с понижением частоты позволяет получить точные I и Q сигналы, которые не искажены типичными помехами I-Q демодулятора, такими как I-Q дисбаланс или квадратурные ошибки. После цифрового преобразователя с понижением частоты сигнал

проходит через фильтр низких частот, чтобы устранить высокочастотные гармоники, возникшие после смесителя. После этого сигнал подается на импульсный детектор и цепь шумоподавления, которые используются в случае измерения параметров импульсной несущей. Этот процесс будет более подробно описан в следующих параграфах. Для непрерывных несущих сигнал подается на цифровой частотный демодулятор, который заменяет традиционный фазовый детектор систем с ФАПЧ опорного генератора.

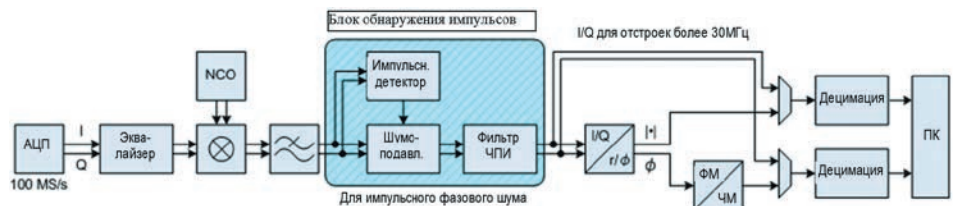


Рис. 12. Обработка сигнала на ПЛИС анализатора R&S FSWP

Цифровой демодулятор передает информацию о низкочастотном дрейфе цифровому преобразователю с понижением частоты для коррекции дрейфа сигнала ИУ и формирует кратковременные флуктуации частоты, обрабатываемые ПК посредством БПФ в спектральную плотность флуктуаций частот $S_c(f)$, которую можно преобразовать в спектральную плотность флуктуаций фазы $S_\phi(f)$ и фазовый однополосный шум. Кроме того, параллельно с ЧМ демодулятором работает цифровой АМ демодулятор, что позволяет проводить одновременные измерения амплитудного и фазового шума.

Стоит отдельно отметить, что упомянутая выше возможность одновременного измерения амплитудного и фазового шума ИУ без применения отдельных

или внешних амплитудных детекторов является очень важной и уникальной особенностью конструкции прибора R&S FSWP дающей возможность измерения таких шумовых параметров без дополнительной перекоммутации.

ИЗМЕРЕНИЕ ФАЗОВОГО ШУМА СИГНАЛА С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ С УЧЕТОМ ДЕСЕНСИБИЛИЗАЦИИ

Существует ряд проблем, усложняющих измерения фазового шума для импульсно модулированной несущей: отсутствие уникальной информации о фазовом шуме для отстроек частоты, превышающих $F/2$, необходимость использовать фильтра низких частот с частотой среза $F/2$. Имеются также проблемы, связанные с импульсной модуляцией опорного источника, необходимой для минимизации перегрузки маломощного усилителя. Дополнительной сложностью является десенсibilизация (просадка амплитуды импульса). Все эти факторы оказывают негативное влияние на точность измерения фазового шума.

На рис. 13 показан спектр непрерывной несущей (синяя кривая) и спектр той же самой несущей с импульсной модуляцией (желтая кривая). Следует обратить внимание, что центральная линия спектра импульсного сигнала на 20,07 дБ меньше, чем у непрерывного сигнала. Десенсibilизация импульса возникает из-за того, что импульсная модуляция несущей распределяет энергию несущей по широкой полосе частот. Разницу в мощностях несущей модулированной и непрерывной сигналов часто называют коэффициентом десенсibilизации импульса, который составляет $20\lg(\tau F)$. Для спектра импульсного сигнала, изо-

браженного на рис. 13, длительность импульса составляет 10 мкс, период повторения импульса 100 мкс, таким образом, десенсibilизация равна 20 дБ.

При измерениях фазового шума импульсная модуляция в данном примере снижает мощность несущей на 20 дБ, приближая её к уровню собственных шумов анализатора. Теоретически нижний порог измерения фазового шума ограничен тепловым шумом. Тепловой шум при комнатной температуре равен -174 дБмВт/Гц. Так как фазовый шум и шум амплитудной модуляции вносят равный вклад в тепловой шум, вклад фазового шума в тепловой шум составляет -177 дБмВт/Гц, т.е. он на 3 дБ меньше, чем полная мощность теплового шума. Если мощность сигнала несущей мала, например, -20 дБмВт, предел,

до которого можно измерить фазовый шум, это разница между мощностью сигнала несущей и вкладом фазового шума в тепловой шум, т.е. для рассматриваемого примера это -157 дБн/Гц. Повышение мощности сигнала позволяет измерить фазовый шум до более низкого уровня. Таким образом, десенсбилизация импульса снижает чувствительность измерения фазового шума.

ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ИМПУЛЬСНО МОДУЛИРОВАННОЙ НЕСУЩЕЙ НА АНАЛИЗАТОРЕ R&S FSWP

Приведенное описание десенсбилизации импульса необходимо для пояснения важного различия между анализатором R&S FSWP и классическими системами измерения фазового шума. После цифровой обработки, поясненной блок-схемой на рис. 12, отсчеты импульсного сигнала поступают в программное обеспечение анализатора R&S FSWP, в котором используются специальные алгоритмы обнаружения импульса для установки маркеров начала и конца каждого импульса.

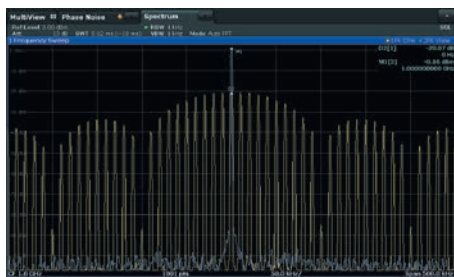


Рис. 13. К пояснению десенсбилизации при импульсной модуляции

Маркеры импульсов используются блоком обнаружения импульсов, показанном на рис. 12, для автоматического определения длительности и периода повторения импульсного модулирующего сигнала. Длительность импульса используется для установки параметров стробирования по импульсу, таким образом, анализатор R&S FSWP обрабатывает информацию о фазовом шуме только во время появления импульса. Так как для измерения фазового шума вблизи несущей необходимо очень высокое разрешение по частоте, анализатор должен использовать длительное время записи (во много раз больше, чем период повторения импульсов) для обработки сигнала. Используя стробирование по фронту, он выполняет точное стробирование во времени и вычисляет коэффициент заполнения на основе длительности строба и периода сигнала. Так как блок шумоподавления полностью обнуляет сигнал между импульсами, компенсируется половина потеря из-за десенсбилизации импульса. Кроме того, зная коэффициент заполнения импульсного сигнала, схема цифровой обработки сигналов анализатора R&S FSWP может использовать усиление для компенсации оставшейся части потерь из-за десенсбилизации импульса. Для получения оптимальной производительности измерений фазового шума импульсной не-

сушей, необходимо использовать запуск по фронту (Edge), как это видно на рис. 14. Здесь показан экран конфигурации измерения импульсных сигналов на анализаторе R&S FSWP.

В данном меню можно включить автоматическое или ручное обнаружение импульсов. По умолчанию используются автоматическое обнаружение. В этом режиме анализатор автоматически обнаруживает импульсы и центрирует временной строб в пределах 75% центральной части импульса. Временное стробирование можно отключить с помощью переключателей Gate Type или переключить в режим запуска по уровню (Level), в котором можно задать требуемый уровень стробирования. Наконец, в режиме ручного обнаружения импульсов можно задать задержку и длительность строба для измерения на конкретном участке импульса. На графике в верхней части меню задержка строба отображается синим маркером (линией) в нижней левой части импульса и помечена как GD. Область GL отображает время, в течение которого срабатывает строб, и анализатор R&S FSWP проводит измерения фазового шума.

Для измерения фазового шума обычно необходимо использовать сотни импульсов. Отсюда можно сделать вывод, что предпочтительнее использовать сигналы с постоянной частотой повторения импульсов. Опытные пользователи могут, при желании, вручную изменить задержку и длительность строба для измерения фазового шума в конкретной области импульса. Но если строб выйдет за пределы импульса, к результатам измерения будет добавлен дополнительный шум, что ограничит технические характеристики анализатора.



Рис. 14. Меню конфигурации «Pulse config» анализатора R&S FSWP

Еще один важный аспект — это требуемая для измерения фазового шума минимальная длительность импульса. Как следует из схемы на рис. 11, после квадратурного смесителя расположены четыре аналогово-цифровых преобразователя с частотой дискретизации 100 млн. отсчетов/с. Для измерения фазового шума с помощью анализатора FSWP необходимо по крайней мере десять отсчетов на импульс; таким образом, минимальная длительность импульса составляет 100 нс.

Большинство систем измерения фазового шума на основе ФАПЧ обладают достаточно серьезными ограничениями на минимальный коэффициент заполнения из-за десенсбилизации импульса. Анализатор R&S FSWP не настолько чувствителен к минимальному коэффи-

циенту заполнения и остается способным выполнять точные измерения с коэффициентом заполнения менее 1%.

На рис. 12 синим прямоугольником был выделен блок обработки сигналов, предназначенный для измерения импульсных несущих. На основе маркеров начала и конца импульсов, полученных в программном обеспечении, детектор импульсов формирует стробы для блока шумоподавления. Блок шумоподавления обнуляет сигнал за пределами длительности импульса, что позволяет полностью устранить весь широкополосный шум между импульсами, тем самым повысив динамический диапазон измерений.

Далее следует блок IQLP. Это цифровой ФНЧ, вычисляемый на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) для подавления частотных составляющих лежащих за пределами $F/2$, которые не содержат уникальной информации о фазовом шуме. Такой подход обеспечивает преимущество анализатора R&S FSWP по сравнению с большинством систем измерения фазового шума, в которых пользователь должен сам определить значение F и выбрать подходящий фильтр. Обычно, подходящий фильтр не реализован в измерительной системе, и приходится использовать внешний фильтр.

Анализатор FSWP позволяет значительно упростить этот процесс, благодаря автоматическому формированию подходящего фильтра цифровыми методами, что освобождает пользователя от необходимости проделывать всю эту работу самостоятельно. Кроме того, на результаты измерения не влияют внешние фильтры и фазовые детекторы, которые являются дополнительными источниками помеховых сигналов и шумов. Еще одним важным преимуществом анализатора R&S FSWP является основанное на цифровой обработке сигналов обнаружение импульсов и их обработка, которая позволяет стробировать импульсы и проводить измерения в центральной части импульса, без необходимости иметь дело с переходными процессами, а также компенсировать потери от десенсбилизации импульса, о чем уже говорилось ранее.

Наконец, можно привести пример измерения фазового шума импульсной несущей с помощью анализатора FSWP. Как и раньше, будет использоваться импульс длительностью 10 мкс, который уже упоминался в этой статье.

На рис. 15 показаны результаты одновременного измерения фазового и амплитудного шума на анализаторе R&S FSWP. Результаты полного измерения фазового шума импульсного сигнала получены менее чем за одну минуту после простой установки параметров.

АНАЛИЗ АМПЛИТУДНОЙ И ФАЗОВОЙ СТАБИЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Чем выше амплитудная и фазовая стабильность в рамках радиолокацион-

ного импульса, тем больше информации может извлечь РЛС при анализе принятого сигнала. При этом проведение измерений стабильности с требуемым уровнем чувствительности всегда было сложным и дорогостоящим процессом. Расширение R&S FSWP-K6P опции анализа импульсных сигналов FSWP-K6 [5], предназначенное для аппаратно-программной платформы анализатора R&S FSWP, делает эти измерения простыми, а интерпретацию и анализ данных более понятными и наглядными.

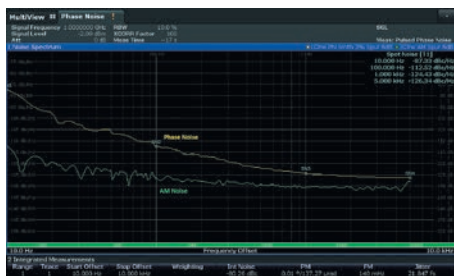


Рис. 15. Результаты измерения фазового и амплитудного шума импульсной несущей с помощью анализатора R&S FSWP

В рабочем режиме РЛС принимает отраженные сигналы не только от целей, которые должны быть обнаружены, но и от прочих окружающих объектов — деревьев, зданий и даже волн на водной поверхности. Эти случайные отраженные сигналы играют роль пассивных помех, не представляют интереса для операторов РЛС и ухудшают рабочие характеристики системы. Однако обработка сигналов в современных локаторах может обнаруживать и подавлять нежелательные отражения, сравнивая, например, фазы и амплитуды последовательных отраженных сигналов и отображая только движущиеся цели. Чем выше фазовая и амплитудная стабильность передаваемых импульсов, тем точнее будут результаты обработки сигнала. При наличии высокостабильного рабочего сигнала можно предполагать, что любые изменения фазы и амплитуды связаны с целью, а не с нестабильностью в передающей системе. Поэтому знание фазовой и амплитудной стабильности передаваемых импульсов

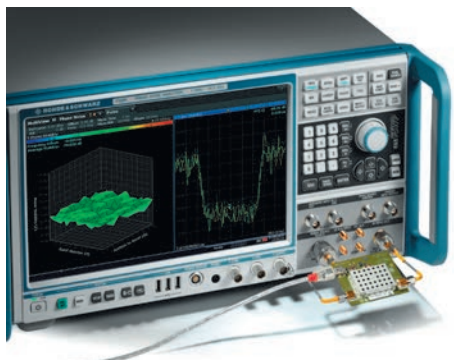


Рис. 16. Внешний вид установки для измерения амплитудной и фазовой стабильности импульсов и оценки уровня шума, вносимого усилителем мощности (с порта генератора прибора R&S FSWP подается импульсный сигнал, который анализируется на выходе усилителя, подключенном к входному порту)

имеет важнейшее значение при оценке чувствительности РЛС. Точное измерение их параметров необходимо для того, чтобы до максимума повысить общую чувствительность системы и обеспечить обнаружение целей с небольшим значением эффективной площади рассеяния (ЭПР), таких, например, как малоразмерные беспилотные летательные аппараты.

В сравнении с предшествовавшими реализациями систем оценки стабильности импульсных сигналов, современное решение, основанное на применении анализатора фазовых шумов FSWP, выглядит существенно проще (рис. 16). Опция FSWP-K6P специально предназначена для определения характеристик стабильности импульсов. Данное программное расширение использует преимущества аппаратного обеспечения анализатора R&S FSWP, которое имеет более низкий уровень собственного шума и измеряет стабильность фазы и амплитуды с более высокой чувствительностью, чем обычный анализатор спектра. Встроенный в анализатор источник сигналов (опция R&S FSWP-B64) может генерировать тестовые сигналы — периодические импульсы и импульсные последовательности с параметрами, определяемыми пользователем. Сигнал поступает на вход ИУ, например, усилителя, и измеряется на выходе, подключенном к приемному тракту прибора. Поскольку фазовый шум в импульсах, подаваемых со встроенного генератора и шум гетеродина в R&S FSWP идентичны, т.к. сигнал генерируется в обоих случаях одним источником, и коррелированы, данный фазовый шум может быть эффективно подавлен так, как это было описано выше, и останется только изменение фазы, вызванное ИУ. Такое изменение «вносимого» шума обеспечивает чувствительность более 80 дБ при анализе импульсной фазовой и амплитудной стабильности последовательности импульсов.

Мерой фазовой стабильности или фазовой стабильностью в общем случае считается отклонение фазы импульса от опорной фазы относительно 1 радиана. Опорная фаза рассчитывается, как среднее значение фазы в импульсе или усредненное значение по всем импульсам последовательности. Фазой импульса может считаться любой отсчет в импульсе, если производится анализ изменения фазы внутри импульса или усредненное значение фазы по всему импульсу, если сравнение идет с другими импульсами последовательности.

Данный параметр задается пользователем при измерении в настройках трассы. Схематичная иллюстрация

определения фазовой стабильности приведена на рис. 17.

Значение в дБ для фазовой стабильности рассчитывается по формуле

$$\text{Фазовая стабильность} = 10 \lg \left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (\theta_{i+1} - \theta_i)^2 \right)$$

где θ_i — фаза в точке измерения i -го импульса из N заданных импульсов. Среднее отклонение фазы между импульсами порядка 0,1 мрад соответствует значению -80 дБ. Аналогично характеризуется и амплитудная стабильность.

Возвращаясь к возможностям измерительной установки, стоит отметить, что R&S FSWP позволяет использовать в качестве рабочего сигнала и гетеродина как внутренний, так и внешний источник. Внешний источник удобно использовать в тех случаях, когда встроенный генератор не подходит для конкретной задачи, например, когда требуется использование специальной формы сигнала или более высокого уровня мощности на входе усилителя. Тогда пользователь может подключить к R&S FSWP свой собственный генератор, используя входы для внешнего гетеродина на передней панели (рис. 18).

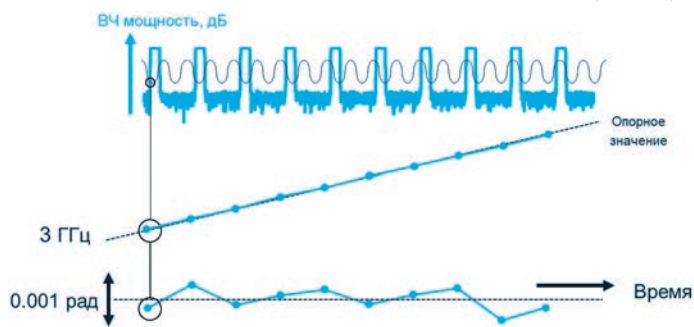


Рис. 17. Пример анализа отклонения фазы от импульса к импульсу относительно опорного значения

На панели прибора имеются два входа. Они предназначены для подачи сигнала на оба тракта кросс-корреляционной обработки. Здесь важно подчеркнуть, что при измерении вносимых фазовых шумов сигнала тракта ИУ и тракта гетеродина исходит от одного источника, и кросс-корреляционная обработка обеспечивает дополнительное подавление внутренних шумов прибора, не связанных с сигналом гетеродина. Это шумы внутренних усилителей и аналого-цифровых преобразователей.

Вместе с тем, поскольку в задаче измерения импульсной стабильности фактически происходит сравнение фазы импульса до ИУ и после него, то кросс-корреляционная обработка не применима. Поэтому используется только один вход — А. Высокая же чувствительность установки обеспечивается квадратурным преобразованием, как было упомянуто выше.

В реальных задачах тестирования РЛС редко используются периодические импульсы. В основном работа ведется с импульсными последовательностями (рис. 19) и сложными импульсами. Исходя из этого, возможность создания последова-

тельностью импульсов (пачек) так же должна присутствовать в измерительной установке. Встроенный в анализатор R&S FSWP источник сигнала позволяет создавать пачки импульсов в различной последовательности и с различным заполнением. При этом здесь также может быть востребована возможность использования пользовательского (внешнего) источника сигнала.



Рис. 18. Вид передней панели прибора R&S FSWP оснащенного входами для внешнего гетеродина (входы типа SMA обозначены символами А и Б)

Во время практических испытаний, помимо выбора типа тестового сигнала, пользователь может использовать различные тракты прибора R&S FSWP. По умолчанию, опция FSWP-K6 использует тракт встроенного анализатора спектра (опция R&S FSWP-B1). В данном случае пользователю будет доступна ширина рабочей полосы захвата до 320 МГц, при наличии опции FSWP-B320. Однако для получения максимальной чувствительности установки целесообразно использовать аппаратное оснащение именно измерителя фазовых шумов, где реализован режим с самыми низкими шумами при оцифровке сигнала. Тогда появляется возможность выбора типа измерений — источника (абсолютные) или измерения вносимого шума (относительные). Переключение между двумя трактами осуществляется из меню настройки сбора данных (рис. 20).

В конечном итоге, результаты измерения могут быть представлены для каждого из захваченных (записанных в память) импульсов индивидуально. Диаграмма стабильности импульса отображает отклонение амплитуды и/или фазы от среднего значения для каждого отсчета внутри импульса. Так же в меню настройки трассы пользователь может выбрать иной режим отображения стабильности, соответствующий его индивидуальной задаче. Это может быть отображение отклонения

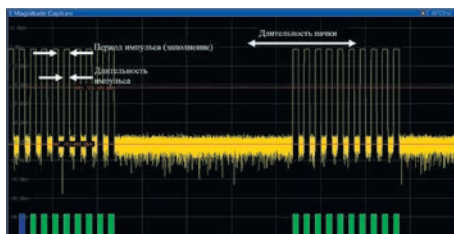


Рис. 19. Пример анализируемого сигнала, представленного последовательностью из 10 импульсов, с длительной паузой перед следующей аналогичной последовательностью (используется встроенный источник сигнала)

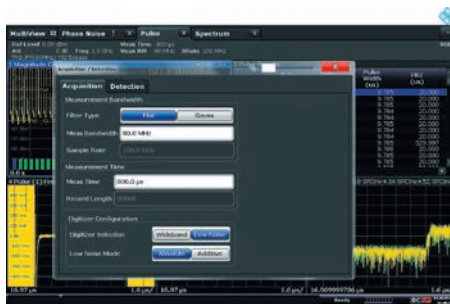


Рис. 20. Меню выбора режима измерения и тракта. Здесь — Wideband — широкополосный тракт, Low noise — тракт с низким уровнем шума; Absolute — измерения источника (абсолютные), Additive — измерения вносимого шума (относительные)

от среднего по всей последовательности (пачке), между двумя соседними импульсами относительно среднего по последовательности или трехмерная картина отклонений каждого импульса пачки в привязке к полному количеству таких пачек (рис. 21). Такое многообразие статистической обработки позволит пользователю взглянуть на картину стабильности под различными углами.

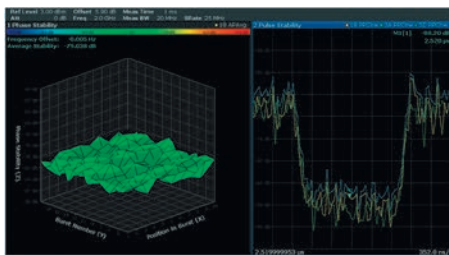


Рис. 21. Измерение стабильности от импульса к импульсу при работе в режиме импульсной последовательности

На рис. 21 приведен пример результатов измерения стабильности импульсного сигнала, где в качестве исследуемого устройства используется пассивный аттенюатор. Слева — трехмерное отображение отклонения фазы от среднего значения для каждого импульса для всех записанных в память последовательностей (ось X — позиция импульса в последовательности, ось Y — номер последовательности, ось Z — номинал отклонения фазы относительно 1 рад в дБ). Наблюдаемые отклонения характерны для нестабильностей, вызванных температурными эффектами. Справа — наблюдение фазовых отклонений внутри импульса, рассчитанное от импульса к импульсу относительно среднего по всей выборке (синяя кривая). Аналогичным образом показаны амплитудные отклонения (желтая кривая). Суммарные отклонения амплитуда плюс фаза (голубая кривая). Различия в номиналах абсолютных значений графика слева и справа связаны с различиями в статистической обработке и расчете средних значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных задачах разработки РЛС и систем связи требуется глубокий уровень понимания всех этапов работы устройства наряду с возможностью прецизионной оценки параметров как всего

модуля в целом, так и отдельных его элементов. Именно при выполнении столь сложных задач на помощь инженерам приходит R&S FSWP. Разработчики R&S за счет перехода к полностью цифровой обработке сигналов максимально упростили процедуру предварительной настройки и управления прибором, предоставляя при этом возможность проводить такие нетривиальные измерения, как анализ фазовых шумов в импульсном режиме или анализ амплитудной и фазовой стабильности импульсных сигналов.

В дополнение к описанному выше следует отметить, что анализатор R&S FSWP работает примерно в 100 раз быстрее предыдущего поколения анализаторов фазового шума, построенных на методике фазового детектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kay Gheen. Pulsed phase noise measurements. — 1EF94, 05.2016. Интернет-ресурс https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ef94_1EF94_1e_Pulsed_Phase_Noise_Meas.pdf.
2. Ширман Я.Д., Багдасарян С.Т., Мальяренко А.С. и др. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. — Под ред. Ширмана Я.Д., — М.: Радиотехника, 2007. — 512 с.
3. Руководство по эксплуатации анализатора фазовых шумов R&S FSWP (англ.) — Интернет-ресурс https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_manuals/user_manual/1177_5633_01/FSWP_UserManual_en_11.pdf.
4. Nelson, C.W.; Hati, A.; Howe, D.A.A collapse of the cross-spectral function in phase noise metrology. — Rev. Sci. Instrum., vol. 85, 2014.
5. Руководство по эксплуатации опции FSWP-K6 (англ.) — Интернет-ресурс https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_manuals/user_manual/1177_5662_01/FSWP_K6_PulseMeasurements_UserManual_en_05.pdf.

The current article describes the issues of the phase noise measurements of pulsed modulation signals that are widely used in radio detection and location. The authors analyze the spectral features of such signals and theoretical limitations determined by the pulse operation mode; estimate the dependence of the noise parameters on the modulating pulses characteristics; consider the digital phase demodulation method with cross-correlation processing; describe the functional features of R&S FSWP analyzers. Also they describe the principle and example of pulse-modulated carrier signal processing in R&S FSWP analyzer as well as the example of measuring the amplitude and phase stability of pulsed-modulated signals.

ВАША ЛАБОРАТОРИЯ

В АНТИСТАТИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ ОТ

АКТАКОМ[®]

www.aktakom.ru

ИНСТРУМЕНТ **TRONEX**

- Высококачественная легированная сталь
- Твердость режущих кромок до 63-65 единиц по шкале Роквелла С

СТОЛ С АНТИСТАТИЧЕСКОЙ СТОЛЕШНИЦЕЙ

АРМ-4XXX-ESD

- Столешница из токопроводящей ДСП толщиной 25 мм
- Разъем и кабель заземления
- Надежное заземление
- Использование современных материалов
- Соответствие требованиям международных стандартов
- Универсальность и эргономичность
- Высокое качество продукции



ИЗМЕРИТЕЛЬ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

АТР-9365

- Диапазон измерений 0...19,990 В
- Точность измерения $\pm 5\%$
- Напряжение питания 9 В
- Габаритные размеры 145 x 90 x 33 мм
- Масса 220 г



АНТИСТАТИЧЕСКИЙ БРАСЛЕТ

АНТ-5163

- Предназначен для снятия статического электричества
- Имеет удобный эластичный обхват
- Регулировка по обхвату запястья руки
- Длина провода заземления в вытянутом состоянии 150 см



ESD-защищенная зона от АКТАКОМ - это, прежде всего, рабочий стол с антистатической столешницей высокого качества, соответствующего международному стандарту IEC 61340-5-1/2.

АНТИСТАТИЧЕСКИЕ ЩЕТКИ

АТР-940Х

- Выполнены из специального эластичного пластика, не наносящего повреждений структуре компонентов
- Предназначены для очистки плат и удаления с них пыли
- Сопротивление $10^3 \dots 10^6 \text{ Ом}$



АНТИСТАТИЧЕСКИЕ КРЕСЛА АРМ-350Х

- Комплект колес входит в базовую комплектацию
- Поверхностное сопротивление к земле 0,5...1 МОм
- Поверхностное сопротивление обивочной ткани 0,5...0,8 МОм
- Антистатическое покрытие
- Диаметр 50 мм



АНТИСТАТИЧЕСКИЕ ПИНЦЕТЫ

АТР-941Х

- Предназначены для работы со статически чувствительными компонентами
- Выполнены из высокоэластичного специального пластика, нейтрального к статическому электричеству



ВЫБОР ЗА ВАМИ!



ЭЛИКС, 115211, г. Москва, Каширское шоссе, д. 57, к. 5.
Тел./факс: (495) 781-49-69 (многоканальный)
Web: www.eliks.ru; E-mail: eliks@eliks.ru





Генераторы сигналов

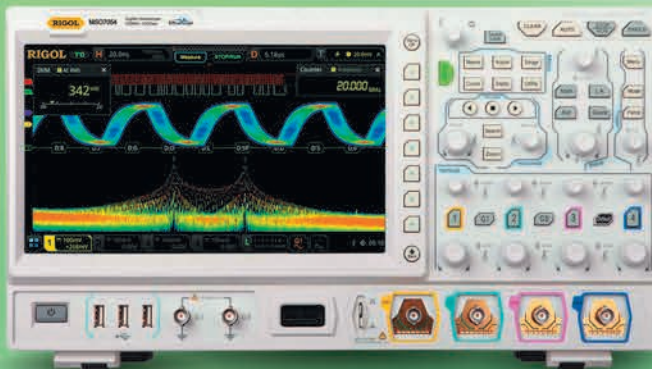


Источники питания



Анализаторы спектра

Новые комбинированные цифровые осциллографы



Система коммутации и сбора данных

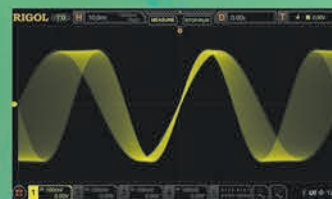


Цифровые мультиметры



Генераторы СВЧ-сигналов

- До семи приборов в одном корпусе
- Полоса пропускания до 2 ГГц
- Количество аналоговых каналов 2 или 4
- Количество цифровых каналов – 16 (для моделей с индексом MSO)
- Процессор собственного производства Phoenix
- Уникальная технология UltraVision 2
 - дискретизация до 10 Гвыб/с в реальном времени
 - большая глубина записи (до 500 М точек)
 - высокая скорость захвата осциллограмм (до 600000 осц/с)
 - регистрация сигналов в реальном времени с возможностью анализа записанных сигналов
- Расширенная система синхронизации, включая запуск по сигналам последовательных шин и зональный триггер
- Функция восстановления тактовой частоты и измерение джиттера (для MSO8000)



	MSO5000	DS/MSO7000	MSO8000
Полоса	70 МГц, 100 МГц, 200 МГц, 350 МГц + апгрейд	100 МГц, 200 МГц, 350 МГц, 500 МГц + апгрейд	600 МГц, 1 ГГц, 2 Гц + апгрейд
Аналоговые каналы	2 или 4 + апгрейд с 2 до 4	4	4
Цифровые каналы	16 (опция)	16 (MSO7000)	16 (опция)
Встроенный генератор сигналов	2 канала (опция)	2 канала (опция для MSO)	2 канала
Макс. дискретизация	8 Гвыб/с	10 Гвыб/с	10 Гвыб/с
Скорость захвата	500000 осц/с	600000 осц/с	600000 осц/с
Память (макс.)	100 М /200 М (опция)	100 М /250 М, 500 М (опции)	500 М
Анализ последовательных шин	I ² C, SPI, RS-232/ UART, LIN/CAN, FlexRay, I ² S, MIL — опции	I ² C, SPI, RS-232/ UART, LIN/CAN, FlexRay, I ² S, MIL — опции	I ² C, SPI, RS-232/ UART, LIN/CAN, FlexRay, I ² S, MIL — опции
Дисплей	9" сенсорный 1024x600	10,1" сенсорный 1024x600	10,1" сенсорный 1024x600



«ИРИТ»: Москва, 115211, Каширское шоссе, дом 57, корпус 5
Телефон/факс: (495) 344-97-65,
Телефон: (495) 781-79-97
E-mail: irit@irit.ru

Ознакомьтесь с «Руководством пользователя» и скачайте каталог продукции Rigol на сайте www.irit.ru

