

ЖУРНАЛУ
25 ЛЕТ

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Test & Measuring Instruments and Systems

декабрь 2021

ПОРТАТИВНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

АКТАКОМ



Серия ADS-44XX

Серия ADS-204X

ПРИБОРЫ, КОТОРЫЕ ВСЕГДА ПОД РУКОЙ



R&S® Scope Rider

3 года
гарантия

RTH1002 PLUS



СПЕЦИАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКТ

Оптимальный состав комплектов

- Портативный осциллограф RTH1002
- Опция полосы пропускания 200 МГц – RTH-B222
- Опция беспроводных WLAN сетей – RTH-K200
- Опция дистанционного управления через web-интерфейс – RTH-K201
- Жесткий пластиковый кейс для переноски – RTH-Z4

До 8 приборов в одном
компактном корпусе

Беспроводное и проводное
удалённое управление

Превосходные характеристики

- 2 изолированных канала
- Полоса пропускания 200 МГц (опционально до 350 или 500 МГц)
- Частота дискретизации до 5 млрд отсчетов/с
- Глубина памяти до 500 тыс. отсчетов
- Разрешение АЦП 10 бит
- Встроенный мультиметр / вольтметр
- Высокая скорость захвата осциллограмм

Интуитивно-понятное
управление
(сенсорное и кнопочное)

по уникальной цене



2 КАНАЛА
RTH1002PLUS
КОМПЛЕКТ

~~574 230 руб.~~
384 360 руб.

Бесплатная доставка по России!

Оформите заказ на www.eliks.ru

ЗАО «НПП ЭЛИКС» - официальный дистрибьютор компании Rohde & Schwarz
Россия, 115211, Москва, Каширское шоссе, д. 57, корп. 5. Телефон (495) 781-49-69
www.eliks.ru; E-mail: eliks-tm@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.

Подписные индексы по каталогу
Агентства «Урал-Пресс» — 80113, 81945.

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
«КИПиС» обязательна.

© «КИПиС», 2021 Цена свободная

Уважаемые читатели!

Как вам известно, нашему изданию исполнилось четверть века! И все это время вы были с нами, читали, спорили, делились мнениями и случаями из практики. Мы ценим это. И вот, сегодня, вы читаете последний номер журнала «Контрольно-Измерительные Приборы и Системы». Последний, не только в этом году, но и за всю 25-летнюю историю нашего журнала. Мы всеми силами старались сохранить его, но, век стремительной цифровизации диктует свои безжалостные условия. Из-за высокого темпа жизни, людям важно оперативно получать свежие новости на интересующую их тему без лишних затрат. О новинках компаний можно узнать уже через пару минут, благодаря многочисленным информационным порталам, да и любую информацию можно найти теперь в Интернете быстро и просто. Увы, прошли те времена, когда все мы с нетерпением ждали свежего выпуска журнала, чтобы открыть его и погрузиться в увлекательный мир измерительной техники, обсудить статьи и обзоры с коллегами. И хотя эпоха интернета полностью вытеснила бумажный журнал, мы не прощаемся, а лишь меняем форму подачи информации. Теперь новости, статьи, видео, полезные и интересные материалы будут выходить в онлайн-формате, уже привычном для многих читателей! Поэтому, сегодня мы говорим вам «До свидания и до новых встреч» на портале «Контрольно-Измерительные Приборы и Системы» www.kipis.ru.



«До свидания и до новых встреч» на портале «Контрольно-Измерительные Приборы и Системы» www.kipis.ru.

С уважением, Главный редактор Александр Афонский

Dear readers!

As you know our magazine is quarter-century old! And for all this time you have stayed with us, read, argued, shared your opinion and cases. We really appreciate it! And thus today you are reading the last issue of «Test and Measuring Instruments and Systems» magazine. The last one not only this year but in the entire 25-year-long history of our magazine. We did our best to save it but the age of rapid digitalization dictates its ruthless terms. Due to the fast pace of life for people it is important to promptly receive the latest news they are interested in with no extra cost. You can find out everything you need about new products of companies in a couple of minutes thanks to numerous information portals and now any information can be found on the Internet quickly and easily. It's a pity but those days when we all were looking forward to receiving the latest magazine issue, opening it and plunging into the fascinating world of measuring technology, discussing articles with colleagues are gone. Although the Internet era has completely replaced the paper magazine we do not say goodbye, we would like only to change the form of information presentation. Now news, articles, videos, useful and interesting materials will be published in online format that is already familiar to many readers! Therefore today we are saying see you soon on «Test and Measuring Instruments and Systems» portal www.kipis.ru.

Best regards, Alexander Afonskiy, Editor-in-Chief

Смотрите канал АКТАКОМ на YouTube! <https://www.youtube.com/user/AKTAKOM>

Обзоры контрольно-измерительных приборов и радиомонтажного оборудования, подробные видеоруководства по применению и дистанционному управлению приборами, установке ПО АКТАКОМ.

Содержание**Contents**

Новости от АКТАКОМ, Anritsu, Keysight Technologies и др.	4	News from AKTAKOM, Anritsu, Keysight Technologies and others
Поменьше осциллографа, побольше мультиметра	5	Less scope, more DMM
Будущее контрольно-измерительной техники АКТАКОМ	8	The future of AKTAKOM test and measuring instruments
Keysight объединяет усилия в области развития автомобильной электроники	13	Keysight joins forces in automotive electronics development
Измерения параметров широтно-импульсной модуляции с использованием автоматических измерений на осциллографах серии RTO6 компании Rohde&Schwarz	15	Measuring pulse width modulation with R&S RTO6 automatic measurements N. Lemeszko, M. Gorelkin, P. Strunin
Математическая теория измерительных задач: приложения. Две стороны одной неопределенности	27	Mathematical theory of measurement problems: applications. Two sides of the same uncertainty S. Levin

На первой странице обложки:

Совмещая многофункциональность и мобильность, осциллографы АКТАКОМ серий ADS-204x и ADS-44xx являются незаменимыми инструментами для работы в «полевых» условиях.

On the first page of the cover:

Combining multifunctionality and mobility AKTAKOM ADS-204x and ADS-44xx series oscilloscopes are considered indispensable for the work in the field.

НОВЫЕ МОДЕЛИ ЦИФРОВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ С СЕНСОРНЫМ ЭКРАНОМ

Модельный ряд цифровых осциллографов **АКТАКОМ** пополнился двумя двухканальными приборами: *ADS-6332* с полосой пропускания 350 МГц и *ADS-6352* с полосой пропускания 500 МГц. Уже в стандартной поставке *ADS-6332* и *ADS-6352* объединяют в одном корпусе несколько измерительных приборов: цифровой осциллограф, анализатор протоколов последовательных шин (I²C, SPI, RS-232, CAN), цифровой мультиметр с функцией регистрации данных, генератор сигналов, анализатор спектра на основе БПФ (4 окна: прямоугольное, Hanning, Blackman, Hamming), измеритель АЧХ (на основе диаграмм Бодэ с построением логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристик) и 6-разрядный частотомер с функцией статистической обработки результатов.



АКТАКОМ

Оба осциллографа обеспечивают частоту дискретизации до 5 Гвыб/с, глубину записи до 400 млн. точек и максимальную скорость захвата осциллограмм 600000 осц/с. Новые осциллографы *ADS-6332* и *ADS-6352* имеют расширенную систему синхронизации, включающую в себя запуск по сигналам последовательных шин I²C, SPI, RS-232/UART и CAN.

Встроенный одноканальный генератор сигналов с максимальной частотой 50 МГц и вертикальным разрешением 14 бит позволяет использовать 64 предустановленных формы сигнала.

Встроенный цифровой мультиметр с разрядностью 4¹/₂ способен выполнять измерение постоянного и переменного напряжения и тока, сопротивления, ёмкости, частоты, а также тестирование диодов и проверку целостности цепи. Кроме того, в приборе есть функция регистратора данных с максимальной длительностью регистрации до 3 дней (во внутреннюю память) и 10 дней (на USB накопитель).

В новых осциллографах *ADS-6332* и *ADS-6352* установлен цветной сенсорный дисплей с разрешением 1024×768 пикселей, что наряду с традиционными органами управления (ручки и кнопки) поднимает удобство пользования на новый уровень.

www.aktakom.ru

СИСТЕМА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Компания **Keysight Technologies** объявила о выпуске новой системы параллельного параметрического тестирования *Keysight P9002A*, позволяющей проводить высокопроизводительные и экономически эффективные испытания для контроля пластин, обеспечивая сокращение времени вывода продукта на рынок и снижение расходов на тестирование в процессе производства.

Глобальный дефицит полупроводников привел к росту спроса на полупроводники в автомобильной промышленности, в производстве цифровых устройств и бытовой техники. В настоящее время технологические инновации в индустрии полупроводников стремительно развиваются, и отрасль сталкивается с целым рядом технических сложностей, связанных с адаптацией новых материалов, а также с процессами миниатюризации и 3D-упаковки. Кроме того, сложная конструкция устройств, предназначенных для коммерческого применения, в том числе, для оборудования 5G сетей, центров обработки данных, систем искусственного интеллекта (ИИ) и автомобилей, приводит к увеличению количества параметров для тестирования.



**KEYSIGHT
TECHNOLOGIES**

Для решения этих вопросов и увеличения мощностей производителей оборудования компания Keysight разработала новую систему параллельного параметрического тестирования *P9002A*, которая обеспечивает экономичный контроль полупроводниковых пластин с высокой производительностью, а также гибкую структуру опций для получения до 100 каналов при параллельном тестировании, при этом доступны все возможности, необходимые для проведения параметрических тестов с помощью любого тестового ресурса. Серия Keysight *P9000* обеспечивает совместимость с программным обеспечением SPECS для устройств параметрического тестирования серии 4080 и позволяет заказчикам использовать существующие программы и планы тестирования с сопоставлением данных.

www.keysight.com

НОВЫЙ МОДЕЛЬНЫЙ РЯД ГЕНЕРАТОРОВ СИГНАЛОВ

Корпорация **Anritsu** объявила о выпуске модельного ряда генераторов сигналов «*Rubidium*™», благодаря которым достигается исключительная спектральная чистота сигнала и стабильность по частоте даже при высоких уровнях выходной мощности в широком диапазоне частот от 9 кГц до 43,5 ГГц. В сочетании со встроенной, простой в использовании возможностью калибровки частоты и мощности прямо на объекте, генераторы «*Rubidium*» обеспечивают исключительную функциональность и долгосрочную ценность для широкого применения в коммерческих, оборонных, аэрокосмических измерительных задачах.



Anritsu

Спектральная чистота сигнала имеет решающее значение для множества различных измерительных задач — от испытаний радаров до тестирования АЦП и ЦАП. «*Rubidium*» формирует сигнал с не имеющим аналогов в отрасли невероятно низким уровнем фазовых шумов (SSB) –136 дБн/Гц (типичное) и –140 дБн/Гц (измеренное) на несущей 10 ГГц со смещением 10 кГц. Обладая выдающимися характеристиками по гармоническим и негармоническим побочным составляющим спектра, генераторы сигналов «*Rubidium*» позволяют достичь большей точности измерений.

«*Rubidium*» обеспечивают большую стабильность по частоте по сравнению с другими генераторами сигналов, в которых применяется опорный источник на основе термостатированного генератора (OCXO). Эта исключительная стабильность достигается либо за счет опционального внутреннего рубидиевого опорного источника, либо за счет синхронизации от сигнала 1 PPS встроенного опционального приемника GNSS/GPS.

Возможности АМ, ЧМ/ФМ и импульсной модуляции «*Rubidium*» предоставляют широкий спектр сложных сигналов с аналоговой модуляцией. Внутренний генератор низкой частоты может формировать семь различных типов сигналов для модуляции несущей частоты. Кроме того, возможна одновременная модуляция АМ/ЧМ, АМ/ФМ или ЧМ/ИМ для генерации сигналов сложной формы, например ЛЧМ-импульсов. Генератор сигналов можно применять для тестирования радиолокационного оборудования благодаря наличию мощных встроенных средств моделирования сигналов с импульсной модуляцией.

www.anritsu.com

ПОМЕНЬШЕ ОСЦИЛЛОГРАФА, ПОБОЛЬШЕ МУЛЬТИМЕТРА

LESS SCOPE, MORE DMM

Ранее в журнале «Контрольно-измерительные приборы и системы» мы рассказывали о «почти» настольных приборах с возможностью автономной работы и батарейным питанием (статья «Новая серия осциллографов АКТАКОМ ADS-41xx») и о приборах, уже более приспособленных к «полевой жизни» — осциллографах АКТАКОМ серии ADS-44xx (статья «Один в поле не воин... Эволюция»).

Продолжая тему, теперь расскажем о самых компактных осциллографах АКТАКОМ серии ADS-204x, которые по своим размерам сравнимы с обычным мультиметром и могут с полным основанием считаться «карманными» осциллографами



Рис. 1. Осциллограф АКТАКОМ серии ADS-204x



(рис. 1). Несмотря на размеры, это полноценный 2-канальный осциллограф, немного уступающий по характеристикам аналогичным настольным моделям.

Сразу отметим, что все модели этой серии имеют встроенный True-RMS мультиметр с отдельными входами, а три модели дополнительно имеют встроенный генератор сигналов, который еще более повышает функциональность прибора. Но об этом позже.

Как это часто бывает в осциллографах одной серии, основное отличие заключается в значении полосы пропускания приборов и частоты дискретизации, но в данном случае помимо моделей с полосой 40, 70 и 100 МГц еще добавляются аналогичные модели, но со встроенным генератором сигналов.

Внешний вид прибора очень напоминает обычный мультиметр с кнопочным управлением (наподобие АКТАКОМ AM-1171), но сразу ощущается, что он несколько тяжелее, чем ожидаешь от мультиметра. Корпус комбинированный, серый приборный пластик совмещен с вставками голубого цвета с «soft-touch» покрытием, имитирующими надетый на корпус хольстер. Разъемы BNC для подключения осциллографических щупов расположены на верхней стороне прибора, на правом боку под резиновой заглушкой находятся контакты калибратора для компенсации пробников и разъем USB тип C для зарядки аккумулятора и подключения к компьютеру (рис. 2). Отметим, что в целях электробезопасности



Рис. 2. Разъем USB и контакты калибратора осциллографов серии ADS-204x

разъемы BNC прибора имеют изолированную конструкцию. В нижней части передней панели расположены стандартные гнезда (диаметр 4 мм) для подключения измерительных проводов мультиметра.

На задней панели прибора расположены крышка батарейного отсека и подставка для установки на столе.

ЖК-дисплей прибора представляет собой TFT матрицу с разрешением 320×240 точек, 9 см по диагонали. Дисплей достаточно контрастен, линии осциллограмм четкие, без размытости. Мнемоника полей экрана (рис. 3) привычная и полностью соответствует настольным приборам, прекрасно воспринимается и не вызывает необходимости обращаться к инструкции. Интересно, что при нажатии почти на любую кнопку на экране появляется подсказка (рис. 4).

Таблица 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЦИЛЛОГРАФОВ АКТАКОМ СЕРИИ ADS-204X

	ADS-2044	ADS-2045	ADS-2046	ADS-2047	ADS-2048	ADS-2049
Осциллограф						
Полоса пропускания, МГц	40	40	70	70	100	100
Количество каналов	2					
Максимальная частота дискретизации	250 Мвыб/с				500 Мвыб/с	
Скорость захвата	10000 осц/с					
Максимальная глубина записи	8 К точек					
Вертикальное разрешение	8 бит					
Горизонтальная развертка	5 нс/дел ... 1000 с/дел				2 нс/дел ... 1000 с/дел	
Коэффициент вертикального отклонения	10 мВ/дел ... 10 В/дел					
Измерения	курсорные, автоматические (7 типов)					
Мультиметр						
Разрядность дисплея	4½ разряда, 20000 отсчетов					
Измерения True RMS	да					
Функции	напряжение постоянного и переменного тока, постоянный и переменный ток, сопротивление, емкость, тестирование диодов, «прозвонка» цепи					
Генератор сигналов (только в моделях ADS-2045, ADS-2047 и ADS-2049)						
Количество каналов	1					
Полоса частот генерации	0,1 Гц...25 МГц					
Формы сигнала	4 основных (синусоидальная, прямоугольная, пилообразная, импульсная), 8 специальных					
Вертикальное разрешение	14 бит					
Амплитуда выходного сигнала	20 мВп-п ... 5 Вп-п (HighZ), 10 мВп-п ... 2,5 Вп-п (50 Ом)					
Общие характеристики						
Дисплей	3,5" (320×240)					
Питание	Li-ion батарея 2x2200 мА·ч					
Габаритные размеры и масса	198×96×38 мм, 600 г					

ОСЦИЛЛОГРАФ

Управляется прибор полностью кнопками на передней панели (рис. 5). При включении питания прибор по умолчанию устанавливает режим осциллографа, далее кнопкой Mode можно выбрать режим мультиметра или генератора. Несмотря на то, что управление такое же, как и в настольных приборах (на экране появляются значения и функции, а расположенными ниже кнопками F1...F4 выбирается нужное действие или значение), к управлению все-таки надо немного привыкнуть, в чем хорошо помогают всплывающие на экране подсказки.

Кнопки CH1/2 и HOR имеют двойную функциональную нагрузку: CH1/2 переключает каналы и включает настройки вертикальной системы, а HOR переключает навигационные кнопки в режим установок горизонтальной системы, но помимо этого каждая из этих кнопок вызывает свое экранное меню.

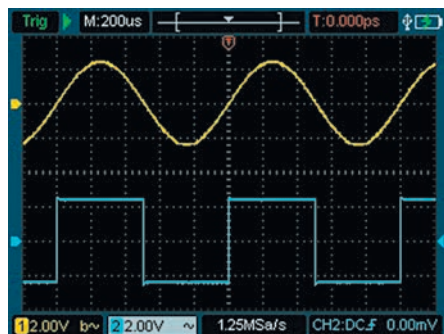


Рис. 3. Дисплей осциллографов серии ADS-204x

Так, нажатием кнопки CH1/2 вызывается меню настроек каналов, в котором можно включить или выключить канал, установить тип связи по входу, коэффициент ослабления пробника, ограничительные полосы пропускания (20 МГц) или переключиться на другой канал. При нажатии на кнопку HOR отображается меню установок режима работы осциллографа, где доступны следующие функции:

- выбор режима регистрации (обычный или пиковый детектор);
- установка размера памяти (8К или 4К);
- установка скорости обновления (высокая или низкая);
- включение режима XY;
- установка точки запуска в нулевое положение (по центру);
- включение встроенного частотомера.

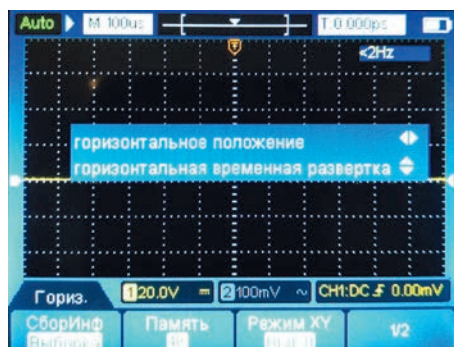


Рис. 4. Подсказки на дисплее при нажатии кнопок в осциллографах серии ADS-204x

В зависимости от того, какая из кнопок была нажата, навигационные кнопки либо устанавливают коэффициент отклонения по вертикали и положение осциллограммы по вертикали (при нажатии CH1/2), либо коэффициент развертки и точку запуска (если предварительно была нажата кнопка HOR).



Рис. 5. Органы управления осциллографов серии ADS-204x

Кнопкой Trig/Δ можно установить режим синхронизации запуска, который определяет порядок запуска регистрации (сбора данных) осциллографом. В зависимости от выбранного режима, регистрация возобновляется после каждого сбора данных автоматически, возобновляется только после выполнения установленных условий запуска, или производится однократно. Как и в большинстве осциллографов, в ADS-204x существуют следующие режимы запуска: автоматический, ждущий, однократный (рис. 6). В этом же меню можно установить срабатывание запуска по переднему или заднему фронту или установить уровень запуска в центральное положение (нулевую линию осциллограммы).



Рис. 6. Выбор типа запуска в осциллографах серии ADS-204x

В осциллографе также есть привычные функции измерения — курсорные и автоматические. Войти в режим установки параметров измерений можно кнопкой Measure/Range и далее выбрать тип измерений. Курсорные измерения типичны для всех осциллографов — вычисление разности значений между предварительно установленными курсорами (линии A и B голубого цвета на рис. 7) во временной или в

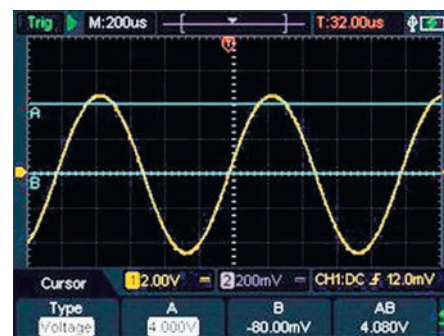


Рис. 7. Курсорные измерения в осциллографах серии ADS-204x

амплитудной области, а вот набор функций автоматической измерений в осциллографах отличается, и в приборах серии ADS-204x он не такой обширный, как в настольных моделях, но, тем не менее, позволяет измерить все основные параметры сигнала — частоту, период, максимальное, минимальное и усредненное значения напряжения, а также амплитуду напряжения и размах амплитуды (пик-пик). Измеренные значения отображаются в нижней части экрана (рис. 8).

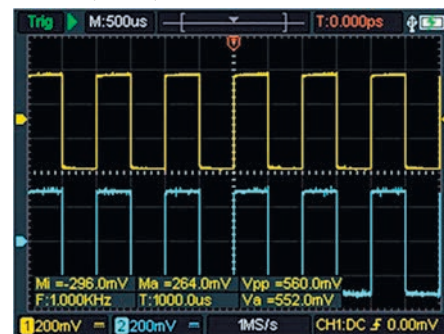


Рис. 8. Автоматические измерения в осциллографах серии ADS-204x



Рис. 9. Загруженная опорная осциллограмма в осциллографах серии ADS-204x

Особо отметим кнопку ▶/||. Обычно в осциллографах подобная кнопка служит для запуска и остановки сбора данных в режиме осциллографа, но в комбинированных приборах ADS-204x есть еще режимы мультиметра и генератора, в которых также задействована эта кнопка — в режиме мультиметра она включает и выключает режим удержания HOLD, а в режиме генератора (только у моделей ADS-2045, ADS-2047 и ADS-2049) — включает или отключает выход генератора.

Все приборы этой серии обладают развитой системой сохранения данных во встроенной памяти. Сохранить можно осциллограммы, измерения, настройки.

циллограммы сигналов и опорные осциллограммы, конфигурацию приборов, копию экрана в виде картинок BMP или осциллограмму в формате CSV. Структура меню хранения такова, что можно сохранить данные для дальнейшей загрузки или выгрузить данные в файл, который впоследствии можно открыть на компьютере. Для сохранения конфигурации прибора предлагается выбрать одну из ячеек S1...S4, а для сохранения опорных осциллограмм выбираем из ячеек R1...R4, загрузить впоследствии нужные данные можно, просто выбрав нужную ячейку (рис. 9).

Изображение экрана и сигнал в форматах BMP и CSV сохраняются в памяти с названием файлов image1...4 или wave1...4 соответственно. Просмотреть их можно, подключив прибор к компьютеру штатным кабелем USB, при этом компьютер определяет прибор как внешний USB носитель.

МУЛЬТИМЕТР

Встроенный мультиметр с разрядностью $4\frac{1}{2}$ (20000 отсчетов) производит очень приятное впечатление простотой интерфейса и удобством пользования, в том числе и полноценными измерительными проводами и удобными расположением гнезд, как в классических мультиметрах. В режиме мультиметра прибор каждое нажатие на кнопку также сопровождается подсказкой на экране (рис. 10).

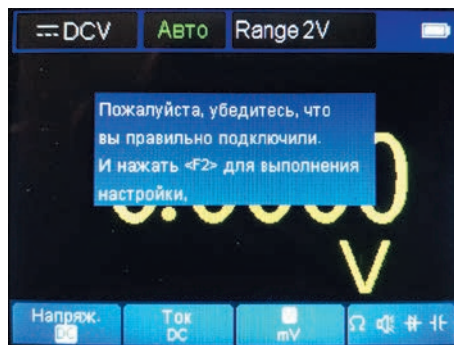


Рис. 10. Подсказка на дисплее в режиме мультиметра в осциллографах серии ADS-204x

Все режимы указаны в нижнем меню и выбираются кнопками F1...F4, текущие установки отображаются в верхнем меню. Набор измерительных функций прибора типичен для большинства цифровых мультиметров: напряжение постоянное / переменное до 1000 В / 750 В, ток до 10 А, сопротивление до 100 МОм, емкость до 2 мФ, тестирование диодов и проверка целостности цепи. Базовая погрешность мульти-



Рис. 11. Дисплей ADS-204x в режиме мультиметра



Рис. 12. Дисплей ADS-204x в режиме установки параметров генератора

метра 0,5%, а измерения TrueRMS возможны при частоте переменного тока от 40 до 1000 Гц. Из дополнительных функций — режим удержания показаний (кнопка $\blacktriangleright/|$) и режим относительных измерений, вызываемый кнопкой Trig Δ (рис. 11).

ГЕНЕРАТОР СИГНАЛОВ

Как мы уже писали выше, модели ADS-2045, ADS-2047 и ADS-2049 имеют встроенный 1-канальный генератор сигналов. Максимальная частота сигнала синусоидальной формы составляет 25 МГц при разрешении установки частоты 0,1 Гц. Конечно, возможности по генерации сигналов этого «малыша» несколько скромнее, чем у его стационарных собратьев, но тем не менее, разрешение по вертикали 14 бит и частота дискретизации 125 Мвыб/с позволяют использовать не только стандартные сигналы (синусоидальный, прямоугольный, треугольный и импульсный), но и сгенерировать сигнал, максимально приближенный к решению текущей задачи. Дополнительно в генераторе предустановлены 8 распространённых форм сигнала: Sinc (кардинальный синус), функция Бесселя первого рода (Bessely), функция Бесселя (Besselj), ступенчатая вверх (StairUp), ступенчатая вверх-вниз (StairUD), ступенчатая вниз (Stair-down), усиливающиеся колебания (AttALT), ослабевающие колебания (AmpALT).



Рис. 13. Выходной разъем генератора в осциллографах ADS-2045, ADS-2047, ADS-2049

Амплитудные характеристики генератора также вполне «уверенные» для прибора с батарейным питанием — 5 В на высокоимпедансном выходе и 2,5 В на выходе 50 Ом. Следует отметить, что в меню задания выходного импеданса прибор позволяет выбрать не только высокий импеданс, но и установить значение нагрузки в диапазоне от 1 Ом до 10 кОм.

Как и у мультиметра, интерфейс встроенного генератора притягивает своей логичностью и простотой, управление кнопками F1...F4 и навигационными клавишами наглядно и понятно.

Выходной разъем BNC генератора расположен в верхней части прибора (рис. 13) рядом с разъемами каналов осциллографа, а подключить или отключить выход генератора можно все той же многофункциональной кнопкой $\blacktriangleright/|$.

Питание прибора осуществляется от двух аккумуляторов типа 18650 емкостью 2200 мА·ч, при полном заряде прибор способен работать более 5 часов. Зарядка батареи производится через разъем USB тип C, расположенный под резиновой крышкой (рис. 2), с использованием обычного зарядного устройства с разъемом USB.

Сам прибор и все принадлежности упакованы в мягкий кейс, который предохранит прибор от повреждений и позволит всегда иметь под рукой необходимые аксессуары (рис. 14).



Рис. 14. Стандартная комплектация осциллографов серии ADS-204x

Представляя новую серию компактных осциллографов АКТАКОМ, мы попытались сформулировать, какими основными свойствами должен обладать прибор, созданный для работы «на ходу», в «полевых» условиях или стесненных технических помещениях. Безусловно, прибор должен быть компактным и легким, иметь хорошие энергетические показатели и длительное время автономной работы. Прекрасно, когда прибор многофункциональный и может облегчить ношу и заменить собой сразу несколько других приборов. Но не менее важно, чтобы прибор был простым в использовании, имел узнаваемые интерфейсы и меню, чтобы при выполнении работ по наладке или ремонту оборудования специалист не испытывал проблем при переходе с настольного прибора к его компактному аналогу и не тратил время на изучение функций и кнопку компактного прибора. Всем перечисленным выше пожеланиям новая серия компактных осциллографов АКТАКОМ ADS-204x соответствует в полной мере — компактные, легкие, функциональные, с дружественным интерфейсом. \square

The following article presents new ADS-204x series of compact combined oscilloscopes under АКТАКОМ trademark. There is one table containing the technical characteristics of the new devices, demonstrating their differences and features, describing functionality and capabilities of «3-in-1» devices which are oscilloscope, multimeter and signal generator. This article will be interesting for a wide range of engineers and radio amateurs.

БУДУЩЕЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ АКТАКОМ

THE FUTURE OF АКТАКОМ TEST AND MEASURING INSTRUMENTS

Впереди новый 2022 год и хотя, по традиции, принято подводить итоги уходящего года, мы не станем этого делать, а попробуем порассуждать, что ждёт рынок контрольно-измерительных приборов в будущем. Это очень актуальная тема, именно сейчас, с учетом того, что развитие новых технологий во всём мире стремительно ускоряется. Впрочем, этому никто уже не удивляется. Да, к сожалению, ушли в прошлое те времена, когда на выставках собирались толпы людей вокруг только одного стенда, чтобы посмотреть на супер-мультиметр, который может измерять сразу несколько параметров. Да и сами выставки уходят в прошлое, оставаясь в памяти преимущественно старшего поколения, а те мероприятия, которые сейчас проводятся, трудно оценить по степени их значимости.

С другой стороны, те возможности измерений, которые ещё 5-10 лет назад казались недостижимыми, сейчас стали возможными. Это обычная закономерность. Что ждёт нас в будущем, хотя бы через десять лет, предугадать сложно, но некоторые прогнозы всё-таки можно сделать.

Очевидно, что развитие технологий в сфере измерений будет направлено на расширение в первую очередь multifunctionality приборов. Это подтверждается постоянным ростом спроса на так называемые «комбайны» — комбинированные приборы. Причём нередки случаи, когда



потребитель выбирает прибор, отталкиваясь от реализованных в нём функций, которые могут пригодиться не только для текущих задач, но и в перспективе. Это достаточно практичный выбор, ведь ценность прибора как измерительного инструмента в этом случае возрастает, при этом уменьшается вероятность покупки отдельного устройства, когда возникает потребность в функциях, которые уже заложены в имеющемся.



Рис. 2. Анализатор спектра серии ASA-40XX

Вместе с тем, форм-фактор самих приборов будет стремиться к мобильности, как это видно, например, на портативном осциллографе-мультиметре-регистраторе АКТАКОМ серии ADS-204x (рис. 1), о котором подробнее рассказано в статье этого номера «Поменьше осциллографа, побольше мультиметра». При работе в ограниченном пространстве такой формат приборов является наиболее предпочтительным, также, это лучший выбор для сервисных служб при проведении оперативной диагностики. Кроме того, уже сейчас можно увидеть в портативном исполнении и более серьёзные приборы, например, анализаторы спектра АКТАКОМ серии ASA-40XX (рис. 2). Эта модель обладает всеми измерительными возможностями настольных приборов при достаточно скромных размерах и массе, при этом у анализатора спектра штатно имеется предусилитель, который позволяет легко выявлять даже небольшие по уровню сигналы на фоне шумов, а также функция анализа модуляций, режим спектрограммы, квазипиковые детекторы и ЭМИ-фильтры. Кроме того, этот анализатор спектра имеет ударопрочный чехол, батарейное питание и сенсорный экран, что сделало его отличным инструментом для

работы в «полевых» условиях, особенно в IT-индустрии. И это оправданно во многих случаях, например, когда компания поддерживает штат выездных специалистов или предоставляет услуги круглосуточного обслуживания объектов. Понятно, что эти и другие приборы покупаются исходя из задач, которые потребуются решать специалисту. При этом, как правило, приборы передаются работнику под его постоянную ответственность, ведь те времена, когда надо было «съездить за прибором в офис» давно прошли.

Мультиметры, имеющие и так небольшие габариты, скорее всего в будущем могут приобрести форм-фактор смартфона, при этом количество функций мультиметра будет несравнимо больше, чем сейчас. Но это вероятно произойдет очень и очень не скоро. Конечно, и сейчас на восточно-азиатских торговых площадках можно найти нечто подобное, но это больше имитация прибора, и не может идти речи о его профессиональном применении. В целом мультиметры, вероятно, сохранят свой прежний облик, хотя и будут скорее всего инте-



Рис. 1. Осциллограф-мультиметр серии ADS-204X



Рис. 3. Мультиметр АКТАКОМ АММ-1014

грированы во все возможные устройства, как штатная функция. Тем не менее, классический облик мультиметра сохранится и будет также востребован, в основном, благодаря его специализированному назначению и применению как отдельного инструмента, с использованием приложения для смартфона или другого мобильного устройства (рис. 3).

Кроме того, по статистике сервисных центров мультиметры являются наиболее часто ремонтируемым измерительным прибором, в основном из-за человеческого фактора — упал, ударили и т.п. Поэтому сейчас растёт спрос на приборы именно в защитном чехле (рис. 4), с высокой точностью и широким диапазоном измерений, наличием интерфейса USB для наблюдения за трендом изменения сигнала и сохранения данных для дальнейшей обработки статистики.



Рис. 4. Мультиметр AM-1083 в защитном чехле

Скорее всего, изменения размеров не коснутся только приборов, содержащих конструкционно не уменьшаемые элементы (например, трансформаторы, стабилизаторы). Но, опять же кто знает, какие новые технологии появятся через десять лет. Например, уже сейчас учёные из Стэнфордского университета представили новую технологию производства транзисторов, которая позволит уменьшить толщину устройств. Это было достигнуто благодаря решению формировать гибкие электронные схемы без использования тепла, что препятствовало уменьшению размеров из-за применения пластмассовой основы. То есть в будущем, можно полагать, размеры электронного блока уменьшатся в несколько раз, что также приведёт к уменьшению веса и габаритов прибора. Правда и сейчас появляются такие приборы, например, импульсный источник питания АКТАКОМ APS-5310, который, по сравнению с аналоговыми источниками питания той же выходной мощности, имеет существенно меньшие массогабаритные параметры — всего 1,5 кг (рис. 5). А теперь сравните аналоговый источник питания весом в 20 кг, который отлично подходит для стационарного использования, но совершенно не удобен для выездных работ, и легкий источник питания, который не занимает много места и решает те же задачи.

В чём же такое стремление к пор-

тативности? Конечно же, в первую очередь дело в экономической выгоде, ведь при производстве приборов используется достаточно много материалов, стоимость которых постоянно растёт. Из-за этого повышается и стоимость самого прибора, но чтобы компенсировать высокую стоимость, его возможности также должны быть на порядок выше, а это уже не всегда под силу производителю или нецелесообразно с точки зрения экономической выгоды при выпуске серии приборов с различными характеристиками.

Вместе с тем, широкая функциональность прибора экономически выгодна и потребителю. В этом случае отпадает необходимость приобретать несколько приборов. Нынешняя экономика сильно изменила приоритеты и схемы работы многих компаний. Если раньше компания могла заниматься только одним видом деятельности, например анализом неисправности, то теперь клиент хочет, чтобы все работы были выполнены в полном объёме — и диагностика, и устранение неисправности или наладка оборудования. На самом деле это правильно. Например, производственному предприятию некогда заниматься поиском тех, кто определит неполадки, а затем, тех, кто сможет наладить оборудование. Производству нужно выпускать продукцию, причём с минимальными задержками на отладку технологических процессов.



Рис. 5. Источник питания APS-5310

Поэтому, теперь в приоритете специалисты, которые имеют все необходимые инструменты и решения, позволяющие выполнить поставленный им объём задач. В свою очередь, такие компании, как правило, имеют широкую специализацию, ведь разновидностей производственного оборудования достаточно много. При

этом далеко не всегда, например, электронный узел можно забрать с собой в лабораторию и там произвести его ремонт. Наоборот, большинство работ приходится выполнять именно на выезде, в «полевых» условиях. Понятно, что везти с собой абсолютно все приборы, которые могут понадобиться, нецелесообразно, причём нередки случаи, когда нет доступного электропитания, и полагаться можно только на приборы, имеющие автономный источник питания. Кроме того, оборудование может понадобиться и на другом объекте, значит, нужно иметь несколько устройств, что также экономически нецелесообразно.



Рис. 6. Планшетные осциллографы серии ADS-44xx

Здесь и встаёт вопрос о портативной и многофункциональной технике, которая позволяет решать большинство задач. И с каждым годом спрос на такие приборы растёт, как он мгновенно вырос на мультиметры-осциллографы АКТАКОМ серии ADS-44xx (рис. 6). Удачное сочетание сразу трёх приборов в одном, небольшой вес и размеры сделали эту серию одной из самых популярных в своём сегменте.

Стремясь к сокращению размеров и производители осциллографов. Можно, конечно, привести в пример всю линейку моделей, начиная от настольных и заканчивая современными планшетными, но всё же следует понимать, что и те и другие модели, как правило, используются для различных задач. Поэтому в ближайшем будущем вряд ли произойдут какие-то изменения. Тем не менее, планшетные осциллографы приобретают такую же популярность, как и гибридные модели мультиметров-осциллографов. Почему? Если рассматривать модели осциллографов серии ADS-44xx, то видим, что форм-фактор прибора очень компактный, при этом вес осциллографа всего 1,7 кг. А функциональность этих осциллографов полностью аналогична настольным моделям и даже больше, например эта серия приборов имеет до 4 каналов с полосой пропускания до 120 МГц, а максимальное разрешение по вертикали составляет 14 бит. Это

уже серьёзный прибор для тех, кто использует его как осциллограф. Мало того, в некоторых моделях встроен полноценный мультиметр, что позволяет ещё больше расширить область его применения. А вот цена таких моделей может быть существенно ниже, чем обычные настольные осциллографы, кроме того у планшетных осциллографов также есть независимый источник питания, что позволяет использовать его для сервисных и наладочных работ.

А что же в России? Какие возможности развития отечественной линейки измерительных приборов следует ожидать в ближайшие годы? Как известно, Россия собирается создавать своё оборудование для производства электронной компонентной базы, причём уже начались работы по определению потребностей электронной промышленности в создании отечественного оборудования электронного машиностроения и его компонентов для предприятий электронной промышленности, необходимого для производства электронной компонентной базы и модулей. В рамках этих работ предполагается создание оборудования для производства микроэлектроники, контрольно-измерительного оборудования, оборудования для производства силовой электроники, электронных модулей и много чего другого.

Это позитивная тенденция, однако не стоит ждать результат слишком быстро, ведь при создании такого оборудования, в частности для производства контрольно-измерительных приборов, нужны не только технологии, но и определённый опыт, который, как известно, нарабатывается годами. Поэтому вероятно, что производство контрольно-измерительных приборов, если и будет налажено, то сначала пройдёт все этапы создания от простых к более сложным решениям и лет через десять подберётся к реализации портативных измерительных приборов. Более того, развития отечественной микроэлектроники за счёт наращивания присутствия российских приборов на внутреннем рынке мало для того, чтобы полноценно возродить этот сектор. Довольно продолжительное время востребованность приборов на внутреннем рынке будет зависеть от конкурентоспособности на мировом рынке.

Сейчас на долю России приходится всего лишь 1% на мировом рынке радиоэлектроники, при этом та доля электроники, которая идёт на экспорт, приходится в основном на военную продукцию. Поэтому лидерами мирового рынка микроэлектронных компонентов и основным поставщиком контрольно-измерительных решений останутся Китай, Тайвань, Юж-

ная Корея, Сингапур, Малайзия и США. Кстати, о некоторых них. Сегодня стало очевидно, что в мировой экономике ситуация достаточно нестабильная. А когда нет стабильности, то даже самые стойкие поставщики могут потерять свои позиции. Разумеется, на их место приходят другие, которые предлагают свои более прогрессивные технологии. Сможет ли Россия воспользоваться этим шансом? Нет, в обозримом будущем не сможет. Уровень китайских, тайваньских, японских производителей сейчас превышает многократно возможности отечественной микроэлектроники. Мировой экономический кризис, который пошёл бы на пользу наращиванию российского экспорта при сопоставимых уровнях, мог бы сыграть свою роль. Однако этого нет, и на данном этапе темпы развития отрасли могут пойти на спад. При этом надо понимать, что отечественной промышленности, кроме разработки и наладки производственных мощностей, которые могли бы позволить выпускать собственную микроэлектронику, нужно действовать на опережение в развитии современных технологий. Например, чипы 14 нм выпускаются с 2015 года, а к 2029 году США планирует завершить строительство фабрики, ориентированной на чипы 5 нм. Увы, отечественной электронной промышленностью этап создания чипов 14 нм ещё даже не начат, но если Россия и наладит их производство, то они будут уже сильно устаревшими.

Однако вернёмся к восточно-азиатским лидерам микроэлектронной индустрии. Здесь тоже не обходится без определённых нюансов, отрицательных, в основном, для конечного потребителя. Несомненно, что функциональность прибора — это существенный показатель для его успешного продвижения, но есть и другие важные критерии, например, надёжность. Действительно, сейчас на различных торговых площадках можно приобрести большое количество измерительных приборов по цене существенно меньшей, чем предлагают профильные организации. И здесь кроется та опасность, которую часто не учитывают пользователи. Мы уже неоднократно поднимали эту тему, но в погоне за сомнительной выгодой совершаются одни и те же ошибки. Если прибор приобретается для собственных нужд через такую торговую площадку, то конечно, это личное дело только самого потребителя. Другое дело, если прибор планируется использовать для профессиональной деятельности. Вот здесь следует обратить внимание, что на такие приборы, как правило, нет никакой российской гарантии, или же доступный сервисный центр может оказаться в

другой стране, но не в России. Это, кстати, один самых часто встречающихся случаев в сервисных центрах, куда обращаются владельцы прибора при его неисправности. «А, ерунда» — думают они, «здесь дешевле, а осциллограф не сломается, чему там ломаться?» И жестоко ошибаются. Приборы ломаются, выявляются неисправности... Куда бежать? Разумеется, всё это влечёт за собой дополнительные финансовые расходы. К тому же, не всегда для таких приборов есть запасные части или их надо ждать несколько месяцев. Неизвестно и качество самих приборов — сколько лет они будут работать, насколько они точны в измерениях. Ну и конечно, использовать такие приборы в профессиональной деятельности нельзя! Мало того, что любая проверка Ростехнадзора сразу определит нарушения, так и последствия применения таких приборов могут привести к фатальным ошибкам. Также следует учитывать, что в странах восточно-азиатского региона достаточно много мелких компаний, производящих электронику низкого качества и не брезгающих под видом известной марки всучить, по сути, одноразовое изделие, которое, кроме ряда проблем, ничего хорошего своему владельцу не даст.

Поэтому, не стоит вестись на представленные «современные» технологии по низкой цене. Время новых технологий ещё наступит, как когда-то оно пришло для АКТАКОМ. Кстати, стоит упомянуть, что многие приборы АКТАКОМ на протяжении долгих лет до сих пор исправно служат своим владельцам, и даже сейчас в сервисные центры поступают на поверку приборы, купленные много лет назад. Но как и мир, который не стоит на месте, АКТАКОМ идёт в ногу со временем, создавая новые профессиональные решения, основанные на самом важном принципе современной электроники — ТОЧНО. НАДЕЖНО. ДОСТУПНО. ☑

The present article considers the future development of test and measuring instruments in practical and economic terms basing on modern solutions aimed to increase the devices capabilities with a simultaneous transition to reduced form factor.

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-3103L



Дистанционное управление

- 1 канал
- Выходное напряжение до 120 В
- Выходной ток до 3 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-5235

Программируемый

- Канал 1: 0...60 В / 0...6 А
- Канал 2: 0...6 В / 0...3 А
- Максимальная мощность 378 Вт
- Разрешение 1 мВ / 1 мА
- Режим тайминга 100 групп
- Регистратор 10 К групп
- Дисплей: 4" ЖК цветной (480×320)

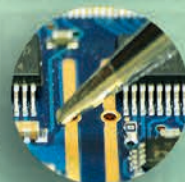




Монтажные паяльные станции



- 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

- 2 канала: монтаж, пайка горячим воздухом
- Мощность до 760 Вт
- Термовоздушный паяльник: темп. нагрева до 450 °С / поток 24 л/мин
- Низковольт. монтажный паяльник (до 480 °С)
- Большой выбор наконечников
- Цифровой индикатор
- Простое управление



ASE-4205

- 3 канала в 1 корпусе: термовоздушный, монтажный, демонтирующий
- Индукционный монтажный канал
- Диапазон температур от 200 до 480 °С (монтажный/демонтирующий каналы)
- Диапазон температур от 100 до 500 °С (термовоздушный канал)
- Мощность паяльников 60 Вт
- Встроенный мощный вакуумный насос до 120 л/мин



ASE-4313



KEYSIGHT ОБЪЕДИНЯЕТ УСИЛИЯ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

KEYSIGHT JOINS FORCES IN AUTOMOTIVE ELECTRONICS DEVELOPMENT

В ноябре 2021 г. компания Keysight как лидер в области контрольно-измерительных технологий значительно продвинулась в области разработок автомобильной электроники, объединившись сразу с несколькими компаниями.

Объединив усилия с международной финской технологической компанией Proventia Oy, предоставляющей решения для борьбы с изменением климата в отраслях двигателестроения, машиностроения и автомобилестроения, компания Keysight представила решения в области оптимизации систем испытания аккумуляторов электромобилей. Создаваемые решения обеспечивают возможность быстрого развертывания в любой точке мира, позволяя сократить время выпуска продукта на рынок и соответствующие расходы.

У автопроизводителей, поставщиков и испытательных центров есть необходимость в увеличении пробега ЭМ без дозаправки, повышении их динамических характеристик и безопасности, а также в снижении затрат. Экономия времени приобретает решающее значение при разработке и тестировании высоковольтных аккумуляторов на этом конкурентном рынке. Сотрудничество между компаниями Keysight и Proventia обеспечивает возможность быстрого развертывания безопасной испытательной лаборатории независимо от местоположения.

В рамках испытательной лаборатории реализуется ряд ключевых решений.

Решения Keysight Scienlab для испытания аккумуляторов, в том числе испытательная система SL1700A для тестирования уровня заряда высоковольтных аккумуляторов напряжением до 1500 В. В данной системе большое внимание уделено вопросам безопасности с дублированием измерений, а также используется новая технология силовых полупроводников из карбида кремния (SiC) для высоковольт-



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

ных аккумуляторов, обеспечивающая возможность рекуперации 96% энергии.

Программное обеспечение Keysight Scienlab Energy Storage Discover, которое осуществляет управление и контроль тестовых систем и лабораторных компонентов с испытуемого устройства (ИУ), в том числе контроль системы управления аккумулятором и климатической камеры.

Программное обеспечение Keysight PathWave Lab Operations для испытания аккумуляторов позволяет управлять всей лабораторией и оптимизировать рабочий процесс, сбор и обработку данных.



Рис. 1. Лаборатория тестирования аккумуляторов Proventia, оснащенная тестовым оборудованием и программным обеспечением Keysight

Стандартизированные модульные испытательные станции Proventia позволяют клиентам выбирать испытательные камеры подходящего размера для быстрого развертывания, обеспечивая сокращение времени и затрат благодаря своей масштабируемости.

Испытательные лаборатории Proventia предоставляют возможности интеграции и контроля климатических камер, систем кондиционирования жидкости и кондиционирования воздуха, диспетчерских и по-

мещений для подготовки ИУ. Для предотвращения опасных ситуаций и защиты здоровья сотрудников при испытании аккумуляторов предусмотрены функции обнаружения газа и пожара, а также системы сигнализации и контроля доступа.

«Объединение нашего опыта и знаний с возможностями компании Keysight позволило Proventia быстро создать оптимизированную лабораторию для испытаний аккумуляторов, отвечающую конкретным потребностям наших клиентов», — отмечает Яри Лотвонен (Jari Lotvonen), президент и генеральный директор компании Proventia.

«Сотрудничество с Proventia позволило нам предложить клиентам модульную, безопасную и быструю в развертывании инфраструктуру испытательной лаборатории, оснащенную современными решениями Keysight для тестирования аккумуляторов», — говорит Томас Гетцль (Thomas Goetzl), вице-президент и генеральный директор подразделения Keysight по решениям для автомобильной промышленности и энергетики. «Это позволит нашим клиентам ускорить вывод аккумуляторов на рынок без ущерба для производительности, качества и возможностей испытаний».



Рис. 2. Осциллограф Infiniium серии UXR

Чуть ранее компания Keysight представила новые программные приложения для тестирования современных автомобилей, которые обеспечивают возможность точной проверки интерфейсов высокоскоростных автомобильных сериализаторов/десериализаторов на физическом уровне и соответствия их стандартам Mobile Industry Processor Interface (MIPI) A-PHY и Automotive SerDes Alliance (ASA). Эти решения были разработаны в сотрудничестве с компаниями Sony Semiconductor Solutions Corporation и Rosenberger.

Высокоскоростные интерфейсы автомобильных SerDes поддерживают потоки данных для передачи видео- и аудиосигналов, а также для обеспечения связи в автомобиле. Широкая полоса пропускания, надежность и высокая производительность линий последовательной передачи данных

Векторный анализатор цепей с шиной USB P937xA серии Streamline

Серия Keysight P937xA — это доступный полнофункциональный двухпортовый векторный анализатор цепей (ВАЦ), который значительно сокращает размер теста.

- Частотный диапазон от 300 кГц до 26,5 ГГц;
- Простое использование компактного векторного анализатора цепей между тестовыми точками;
- Расширение количества тестовых портов за счет каскадирования приборов;
- Быстрая калибровка благодаря поддержке всех модулей электронной калибровки (ECal) Keysight.



Программные инструменты сетевого анализатора позволяют исследовать, определять характеристики и устранять неисправности в проектах в различных измерительных приложениях. Благодаря анализатору упрощаются сложные измерения, такие как автоматическое удаление приспособлений, измерения с калибровкой скалярного смесителя / преобразователя и измерения во временной области на P937xA с помощью программных приложений.

SerDes являются ключевыми требованиями для автомобильных приложений, которые обеспечивают работу передовых информационно-развлекательных систем и систем содействия водителю (ADAS), устанавливаемых в современных автомобилях.

Поскольку скорость и ширина полосы пропускания автомобильных систем связи постоянно увеличиваются, поставщики испытательного оборудования должны адаптировать свои решения к изменяющимся стандартам. Тестирование автомобильных передатчиков SerDes, выполняемое приложением Keysight AE2010T, позволяет автоматически настраивать конфигурацию по каждому результату с помощью осциллографа серии Keysight Infiniium UXR. Тестирование каналов SerDes в автомобилях, выполняемое приложением Keysight AE2010L, позволяет автоматизировать процессы тестирования сетевых анализаторов. Оба этих приложения предоставляют важную информацию для поддержания целостности данных и снижения потерь в сетях, а также гарантируют соответствие текущим спецификациям автомобильных сериализаторов/десериализаторов.



Рис. 3. E5080B ENA — универсальный и гибкий анализатор цепей серии ENA

Совместная работа Keysight и Sony Semiconductor Solutions Corporation направлена на коммерческое внедрение отраслевой концепции стандартизированных автомобильных систем, которая обеспечит унификацию результатов испытаний и требований для поставщиков чипсетов и производителей оригинального оборудования (ОЕМ-производителей).

«Стандартизация автомобильных сериализаторов/десериализаторов имеет важное значение в рамках нашей стратегии встраивания сериализаторов в преобразователи сигналов изображения. Мы рады сотрудничать с Keysight в области



Рис. 4. Векторный анализатор цепей в формате PXI

Векторные анализаторы цепей в формате PXI

Векторные анализаторы цепей (VNA) в формате PXI выполняют быстрые и точные измерения и снижают стоимость тестирования за счет одновременного определения характеристик множества устройств — двух- или многопортовых — с использованием одного шасси PXI. Каждый модуль представляет собой полностью независимый двухпортовый анализатор, и можно добавить до 16 модулей в шасси для многопортовых приложений. Все порты полностью синхронны для одновременного измерения с применением многопортовой коррекции ошибок.

- Количество встроенных портов: 2, 4 или 6;
- Динамический диапазон до 160 дБ;
- Максимальная частота до 53 ГГц;
- Выходная мощность до 17 дБм;
- Зашумленность графика до 0,0015 дБ скз.



валидации соответствия нашего проекта новым спецификациям SerDes», — отметил Кендзи Ониси (Kenji Onishi), генеральный директор отдела коммерческих решений для автомобильной промышленности корпорации Sony Semiconductor Solutions. «Решение Keysight для тестирования соответствия автомобильных сериализаторов/десериализаторов требованиям стандартов позволит нам с уверенностью предоставлять нашим клиентам новые возможности».

Кроме того, Keysight в сотрудничестве с компанией Rosenberger предлагает клиентам признанные в отрасли адаптеры для автомобильных систем и высокоскоростных каналов передачи данных. «Наши клиенты могут воспользоваться решениями для тестирования всех автомобильных интерфейсных разъемов, которые либо уже стандартизированы, либо в ближайшее время будут приняты в качестве мировых стандартов для высокоскоростной передачи данных в автомобилях. Речь идет о самых современных инновационных решениях в области разъемов для коаксиальных и дифференциальных каналов передачи данных, таких как HFM®, HSD или H-MTD®», — отметил Хауке Шютт (Hauke Schütt), исполнительный вице-президент подразделения тестирования и измерений компании Rosenberger. «Компания Rosenberger рада возможности предоставлять клиентам автомобильные тестовые адаптеры Keysight, которые помогают производителю устройств обеспечивать поддержку новых автомобильных сетей».

Приложения Keysight для тестирования передатчиков и каналов SerDes обеспечивают следующие ключевые преимущества для клиентов:

- автоматическая настройка и калибровка всего необходимого испытательного оборудования для сокращения общего времени тестирования;
- широкий ассортимент тестов на соответствие стандартам MIPI A-PHY и ASA, позволяющий снизить затраты, а также сократить количество установок и покупок лицензий;
- тестовая платформа для представления результатов нескольких испытаний с полным набором статистических данных по каждому измерению;
- быстрое получение точных и воспроизводимых результатов тестирования для валидационной проверки и отладки оборудования;

для валидационной проверки и отладки оборудования;

- программное обеспечение для тестирования каналов работает на векторном анализаторе цепей E5080B ENA, векторных анализаторах цепей PXI или векторных анализаторах цепей USB серии Streamline, позволяя управлять разъемами, кабелями и жгутами с целью быстрого тестирования автомобильных соединений SerDes.

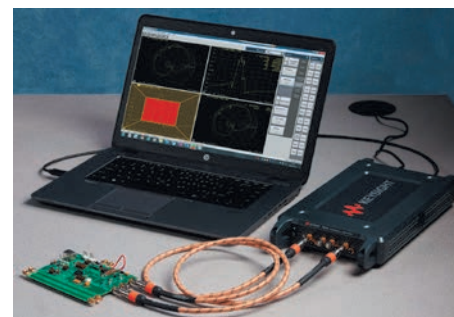


Рис. 5. Векторный анализатор цепей с шиной USB серии Keysight Streamline

«Возможности сетевого взаимодействия в автомобиле являются важной технологией для наших клиентов, и мы наблюдаем значительное повышение динамики рынка, а также постоянный рост требований к скорости передачи данных. Keysight стремится поддерживать широкий спектр соответствующих сетевых интерфейсов, начиная с автомобильного Ethernet и заканчивая MIPI A-PHY и ASA», — отметил Томас Гетцль (Thomas Goetzl), вице-президент и генеральный директор бизнес-подразделения Keysight по решениям для автомобильной и энергетической промышленности. «Мы рады сотрудничеству с лидерами отрасли, которое позволяет нашим клиентам производить точную проверку проектов существующих и будущих высокоскоростных интерфейсов автомобильных SerDes».

Keysight in collaboration with several automotive electronics developers announced electric vehicle battery test solutions, as well as software solutions for high-speed automotive serializer/deserializer verification.

ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСЦИЛЛОГРАФАХ СЕРИИ RTO6 КОМПАНИИ ROHDE&SCHWARZ

MEASURING PULSE WIDTH MODULATION WITH R&S RTO6 AUTOMATIC MEASUREMENTS

Лемешко Н.В. (N. Lemeshko), д.т.н., нач. отдела АО «Корпорация «Комета», Горелкин М.В. (M. Gorelkin), инженер по продукту «Осциллографы» ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС», Струнин П.А. (P. Strunin), директор департамента продаж ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС»

ВВЕДЕНИЕ

Развитие цифровой электроники на текущем этапе в основном определяется двумя факторами. Первый из них состоит в совершенствовании компонентной базы, которая обеспечивает реализацию всё более широких потребительских функций. Второй фактор связан с развитием алгоритмов цифровой обработки информации и подходов к их аппаратно-программной реализации. Частным вопросом здесь является управление исполнительными устройствами (ИУ) на основе данных, представленных в цифровом формате [1]. Значительная часть ИУ требует использования непрерывных сигналов аналогового характера, и непосредственное применение двоичного кодирования здесь невозможно. Одно из решений такой проблемы состоит в применении цифроаналоговых преобразователей [2], но это значительно повышает стоимость конечного изделия, усложняет схемотехнику цифровых устройств и ухудшает массогабаритные показатели. Наиболее простой альтернативой является изменение рабочих параметров ИУ непосредственно за



ROHDE & SCHWARZ

счёт специальной импульсной последовательности, формируемой, например, контроллером. Именно с развитием микроконтроллеров появилась возможность широкого использования широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [3].

Управление ИУ обычно сводится к регулировке мощности, выделяемой для исполнения ими некоторого полезного действия. Важно отметить, что применение самой ШИМ не должно приводить к снижению качества исполнения их рабочих функций, т.е. должно быть незаметно для конечного потребителя. Это означает необходимость «совмещения» ШИМ как с особенностями функционирования ИУ, так и с психофизиологическими особенностями людей, если речь идет об отображении информации. Подходы к обеспечению такой совместимости зависят от характера ИУ.

Сигналы с ШИМ в настоящее время

применяются, например, для следующих целей.

1) Регулировка яркости свечения LED-панель и отдельных светодиодов. Здесь незаметность импульсного характера управления обеспечивается за счет частоты импульсов, превышающей воспринимаемую глазами человека. Известно [4], что наибольшая восприимчивость к пульсации светового потока у человека проявляется на частоте 8,8 Гц, и, учитывая почти полное отсутствие собственной инерционности у светодиодов, частота мерцания 100 Гц уже не будет незаметной для человеческого глаза.

2) Регулировка скорости вращения роторов двигателей. При выборе частоты управления здесь важнейшую роль играет инерционность приводимого в движение объекта.

3) Управление резистивными нагревателями. В этом применении ШИМ управление реализуется за счет тепловой инерции нагревателей.

4) Управление напряжением на нагрузке в зависимости от отбора мощности в импульсных блоках питания [5].

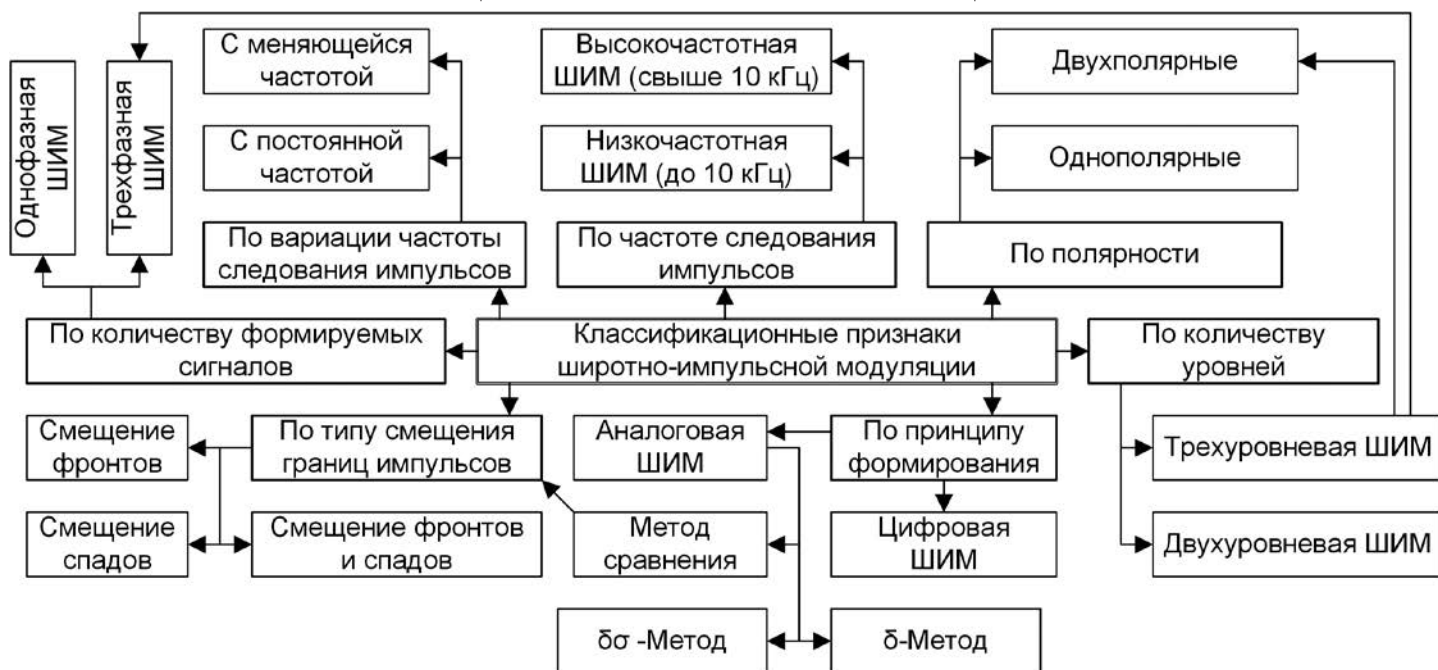


Рис. 1. Классификация сигналов ШИМ

Здесь посредством ШИМ коммутируется силовой ключ, через который питается накапливающий энергию элемент, т.е. реализуется своего рода следящая система управления выходным напряжением.

Для перечисленных применений сигнал с ШИМ обычно формируется при помощи специальных контроллеров, которые иногда входят в состав компонентов с более широкой функциональностью. Еще одной областью применения ШИМ является радиосвязь [6]. Здесь ШИМ применяется в телефонии с расширенной полосой передачи для повышения помехоустойчивости, однако это приложение в дальнейшем изложении рассматриваться не будет.

Как и для сигналов с другими видами модуляции, преимущества использования ШИМ в конкретном практическом применении могут быть достигнуты только тогда, когда формирование ШИМ реализовано с приемлемой точностью. Ввиду этого целесообразно рассмотреть возможности современных приборов в части измерений параметров сигналов с ШИМ, ориентируясь на осциллографы передового уровня.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ С ШИМ И ПРИНЦИПЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Как и для других видов модуляции, при ШИМ имеется некоторый модулирующий (информационный) сигнал, определяющий мгновенные параметры модуляции. В случае ШИМ под действием

информационного сигнала изменяется длительность импульсов, а их амплитуда и частота следования в подавляющем большинстве случаев остаются неизменными. Мощность, отдаваемая в ИУ на некотором периоде функционирования, будет обратно пропорциональна корню из средней скважности импульсов ШИМ.

Классификация ШИМ в виде схемы представлена на рис. 1 и включает в себя следующие признаки:

- по принципу формирования различают аналоговую и цифровую ШИМ;
- по типу смещения границ импульсов относительно условных тактовых точек выделяют ШИМ со смещением только фронтов, только спадов и с их одновременным смещением (для аналогового формирования ШИМ методом сравнения);
- по полярности ШИМ различают одно- и двухполярную модуляцию;
- по количеству уровней выделяют двух- и трехуровневую ШИМ;
- по частоте следования импульсов выделяют низкочастотную (до 10 кГц) и высокочастотную (свыше 10 кГц) ШИМ;
- по вариации частоты следования импульсов различают ШИМ с постоянной и изменяющейся частотой;
- по количеству формируемых сигналов выделяют однофазную и трехфазную ШИМ (последняя применяется для управления трехфазными двигателями в соответствии с принципами изменения мгновенной индукции, поясненными на рис. 4).

При аналоговом способе формирования ШИМ наиболее часто используют схемы на основе компараторов, причем тип смещения границ импульсов зависит от характера опорного сигнала, в качестве которого в типовом случае используется последовательность пилообразных или треугольных симметричных импульсов. Аналоговая ШИМ в наиболее простом случае может быть реализована методом сравнения, при котором уровень выходного напряжения определяется простым сопоставлением модулирующего и опорного сигналов. Принцип такого подхода к формированию ШИМ с использованием опорного сигнала разных форм пояснен на рис. 2, где красным цветом показан модулирующий сигнал, а синим — опорный с временными функциями $U_M(t)$ и $U_{OP}(t)$ соответственно, причем высокий уровень ШИМ-сигнала соответствует $U_M(t) > U_{OP}(t)$. Использование обратного условия также возможно. Во всех представленных случаях увеличение амплитуды модулирующего сигнала приводит к снижению длительности импульсов.

Альтернативой рассмотренному является формирование ШИМ δ - и $\delta\omega$ -методами [7]. Здесь критерием смены уровня на выходе ШИМ-модулятора является достижение какого-либо условия, обычно связанного с выходным сигналом устройства, включающего в свой состав ШИМ-модулятор. Этот же принцип положен в основу управления выходным

напряжением импульсных источников электропитания [5]. При формировании ШИМ δ -методом (рис. 3,а) для выходного сигнала, заданного вполне определенной функцией, устанавливаются границы допуска, и импульсы ШИМ меняют уровень при достижении этих границ. По этому принципу построены инверторные источники вторичного электропитания, осуществляющие DC/AC-преобразование с формированием синусоидального выходного сигнала. В представленном на рис. 3,а примере изменение выходного напряжения при высоком и низком уровнях сигнала ШИМ происходит с разной скоростью, что и наблюдается в общем случае. Поэтому даже при малых изменениях выходного сигнала сигнал ШИМ может быть не похож на меандр.

При формировании $\delta\omega$ -методом ШИМ-сигнал обычно представлен в двухполярном варианте, и здесь смена уровней происходит при достижении сигналом ошибки границ допуска (рис. 3,б). Функция ошибки рассчитывается как интеграл разности опорного и выходного ШИМ-сигнала, на рис. 3,б она условно показана линейной. В данном случае сигнал ШИМ является двухполярным. В отличие от показанного на рис. 2, здесь ШИМ может приобретать непериодический характер, поскольку условие смены уровня ШИМ-сигнала не связано с частотой опорного сигнала.

Формирование ШИМ цифровым способом обычно осуществляется микроконтроллерами, которые могут реализовывать любой из рассмотренных алгоритмов программным или аппаратным способом. В последнем случае сигнал ШИМ, как правило, формируется счетчиком, сбрасываемым микроконтроллером по заданному условию. Цифровые методы формирования ШИМ не позволяют генерировать импульсы произвольной длительности, минимально возможный шаг перестройки здесь определяется частотой тактирования.

Все способы ШИМ-модуляции, поясненные на рис. 2 и 3, дают двухуровневую ШИМ, которая, однако, непригодна для прямого управления электродвигателями [7]. Это связано с тем, что мгновенный вращающий момент определяется силой Лоренца, действующей на электроны, движущиеся в магнитном поле [8]. В свою очередь, она определяется индукцией, развиваемой током в обмотках машины переменного тока, которые всегда проектируются с учетом электропитания переменным синусоидальным током. При использовании ШИМ в таком приложении она должна быть трёхуровневой, как это показано на рис. 4, причем такой сигнал должен включать и нулевое значение. Тогда при достаточно высокой частоте повторения ШИМ индукция будет изменяться по квазисинусоидальному закону с необходимой частотой. При формировании трехфазного ШИМ-сигнала широко применяется метод опорных векторов

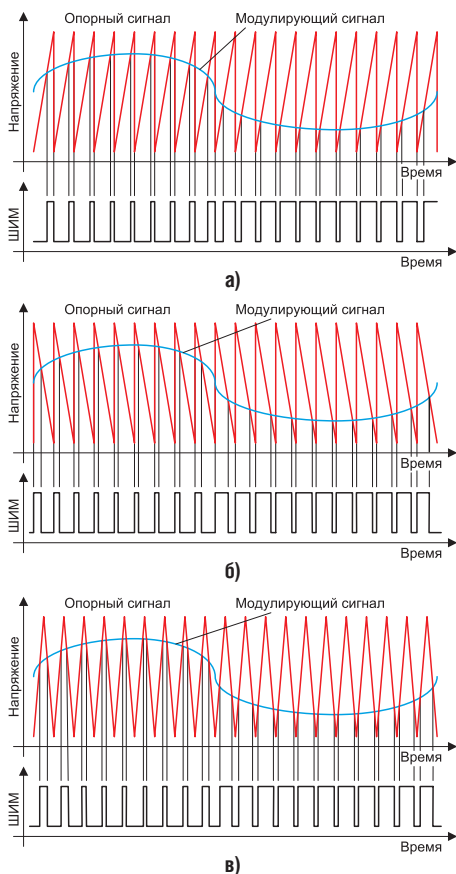
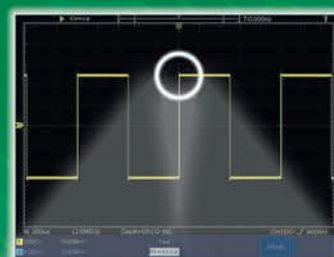
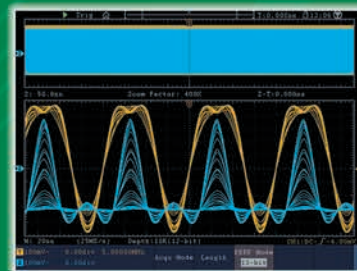


Рис. 2. Аналоговое формирование ШИМ методом сравнения, со смещением: а) только фронтов; б) только спадов; в) фронтов и спадов

ЦИФРОВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ С РАЗРЕШЕНИЕМ 12 И 14 БИТ!

АКТАКОМ
www.aktakom.ru

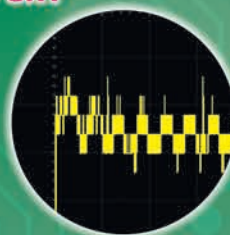
- ✓ До 4-х приборов в 1 корпусе :
 - Цифровой осциллограф с полосой до 500 МГц
 - 1- или 2-канальный генератор сигналов*
 - Цифровой мультиметр 3 3/4 разряда*
 - Анализатор протоколов I²C, SPI, RS-232, CAN*
- ✓ Большая глубина записи (до 400 миллионов точек)
- ✓ Высокая скорость захвата осциллограмм (до 600000 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



14 бит!

Смотрите видео применения на сайте www.aktakom.ru

	ADS-6062H	ADS-6122	ADS-6122H	ADS-6142H	ADS-6222	ADS-6222H	ADS-6322	ADS-6332	ADS-6352
Количество каналов	2 + внешний запуск								
Полоса пропускания**	60 МГц	100 МГц			200 МГц		300 МГц	350 МГц	500 МГц
Максимальная дискретизация**	1 Гвыб/с				2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	2,5 Гвыб/с	5 Гвыб/с	
Скорость захвата	75000 осц/с						600000 осц/с		
Максимальная глубина записи**	40 М точек						400 М точек		
Горизонтальная развертка**	2 нс/дел до 1000 с/дел				1 нс/дел до 1000 с/дел с			500 пс/дел до 1000 с/дел с	
Вертикальное разрешение	8 / 12 бит	8 бит	8 / 12 бит	8 / 12 / 14 бит	8 бит	8 / 12 / 14 бит	8 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						USB-device, USB-host, LAN, VGA		
Дисплей	Цветной 8" TFT 800×600, 65535 цветов; опционально: сенсорный IPS дисплей 1024×768						Цветной 10,4" сенсорный IPS 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

Подписывайтесь на каналы aktakom:



ТОКОВЫЕ КЛЕЩИ превосходный выбор

АКТАКОМ
www.aktakom.ru

@aktakom

AKTAKOM

YouTube



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



АТК-2250

Большой охват магнитопровода

- Измерение постоянного тока до 2500 А
- Измерение переменного тока до 2100 А
- Встроенный мультиметр
- Аналоговый выход



АСМ-2056

Бесконтактный датчик напряжения

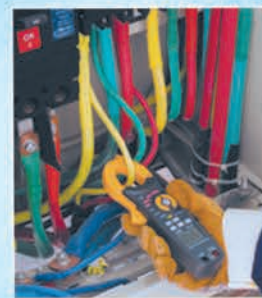
- Измерение постоянного/ переменного тока: 0,1...1000 А
- Измерение постоянного/ переменного напряжения: 0,1 мВ...600 В / 1 мВ...600 В
- Базовая погрешность: 0,8%
- Встроенный мультиметр



АТК-2104

Регистрация пиковых значений

- Измерение постоянного/ переменного тока: 0,1...1000 А
- Измерение активной (до 600 кВт) и полной мощности в одно- и трехфазных сетях
- TrueRMS (45...500 Гц)



АСМ-2209

Токосые клещи-ваттметр с функцией фиксации пусковых токов

- Измерение активной, реактивной и полной мощности до 600 кВт
- Измерение тока в 1- и 3-фазных сетях до 1000 А
- TrueRMS (40...400 Гц)



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-2159

Токосые клещи-мультиметр-регистратор

- Измерение постоянного и переменного тока до 2000 А
- Измерение напряжения, сопротивления, емкости, частоты
- TrueRMS (40 Гц...1 кГц)
- Регистратор на карту SD



АСМ-2036

Компактный прибор с функциями мультиметра

- Измерение постоянного и переменного тока до 200 А
- Измерение постоянного и переменного напряжения до 600 В
- Удержание пиков < 10 мс



АСМ-1803

Токосые клещи-адаптер

- Измерение постоянного/ переменного тока до 400 А
- Аналоговый выход 1 мВ/А и 10 мВ/А
- Диаметр обхвата 30 мм
- Бесконтактный детектор напряжения

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



[9], позволяющий приблизить временные функции индукции к соответствующим питанию двигателей классическим трехфазным напряжением.

С точки зрения практического использования ШИМ обладает следующими особенностями [10].

1. Чем выше частота, тем выше точность управления ИУ.

2. Частота ШИМ не должна быть ниже времени реакции управляемого устройства, иначе возникнут заметные пульсации регулируемого параметра.

3. Чем выше частота, тем выше коммутационные потери. Они возникают из-за ненулевого времени переключения силовых ключей. В запертом состоянии на ключевом элементе падает все напряжение питания, но ток почти отсутствует. В открытом состоянии через ключ протекает полный ток нагрузки, но падение напряжения невелико. Таким образом, каждый цикл ШИМ характеризуется практически одинаковыми потерями энергии, которые в совокупности пропорциональны частоте ШИМ.

4. Для некоторых приложений выбор частоты ШИМ не может и не должен осуществляться произвольно. Это относится в первую очередь к тем устройствам, в которых ШИМ-сигнал используется для формирования магнитных потоков. Например, при управлении электродвигателями частоту необходимо уводить за пределы слышимого звукового диапазона, т.е. задавать её на уровне не менее 25...30 кГц. В противном случае от блока или устройства может исходить свист, ухудшающий его эргономику.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ШИРотно-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Сигнал, получаемый в результате ШИМ, представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, характеризующуюся внутренними временными соотношениями. Погрешности ШИМ-сигналов могут быть разделены на следующие составляющие:

- погрешности формы ШИМ;
- амплитудные погрешности;
- погрешности временных соотношений в ШИМ-сигналах.

ШИМ-сигнал представляется как последовательность идеальных прямоугольных импульсов с предельной частотой следования до 1 МГц, что характерно, например, для DC/DC-преобразователей. Вне зависимости от способа формирования ШИМ погрешности формы в типовых случаях обусловлены резонансными явлениями в проводниках печатных узлов, а также перерегулированием [11], если для их проявления имеются условия. Первые из названных искажений проявляются в виде высокочастотного «звона» после фронтов и спадов импульсов. Если ШИМ используется для управления силовыми ключами, например, импульсного блока питания, то наличие таких колебаний увеличивает потери на переключение и повышает среднюю тем-

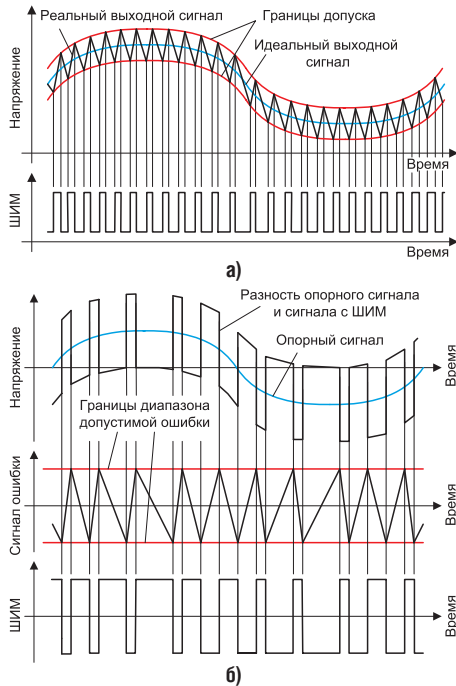


Рис. 3. Аналоговое формирование ШИМ: а) δ -методом; б) $\delta\sigma$ -методом

пературу ключа. Перерегулирование, проявляющееся в выбросах выше максимального и ниже минимального уровней ШИМ-сигнала, может возникать тогда, когда он формируется на основе обратной связи, например, δ -методом. Избежать таких нарушений формы ШИМ-сигналов позволяют рациональная топология печатных узлов [12] и настройка контуров обратной связи с добавлением приемлемой инерционности.

Амплитудные погрешности играют значимую роль тогда, когда сигнал с ШИМ применяется для прямого управления мощностью или вращающим моментом без использования ключей. Обратившись к рис. 4, нетрудно видеть, что изменение индукции пропорционально интегралу от импульсного воздействия. Если ШИМ имеет разброс по амплитуде, то для управляемого объекта это равносильно появлению высших гармоник в спектре питающего напряжения и на примере электродвигателя сопровождается повышенным тепловыделением, лишними механическими напряжениями, преждевременным износом. Основные причины амплитудных погрешностей состоят в изменении напряжения питания ШИМ-модулятора, а также в нелинейном характере его нагрузки, свойственном, например, некоторым типам полупроводниковых

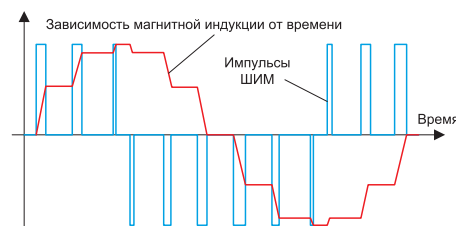


Рис. 4. Принцип управления вращающим моментом двигателя с использованием ШИМ

ключей. Снижение амплитудной погрешности для конкретного широтно-импульсного модулятора может быть достигнуто за счет стабилизации питающих напряжений и применения повторителей сигналов с достаточной полосой частот.

Что касается временных погрешностей, то их источники различны для аналоговых и цифровых методов формирования ШИМ. Метод на основе сравнения реализуется сопоставлением двух сигналов — опорного и модулирующего. Варьирование их частоты и формы приводит к нарушению требуемых временных соотношений в ШИМ-сигнале. Аналогичный эффект дают любые виды паразитной модуляции опорного сигнала, смещение нулевого уровня компаратора, нестабильность напряжения его электропитания. Для δ -модуляции к перечисленной номенклатуре факторов добавляется стабильность значения допуска для выходного сигнала, включая его зависимость от уровня выходного сигнала (рис. 3,а), а для $\delta\sigma$ -модуляции — погрешность расчета интегральной ошибки, которая может накапливаться от периода к периоду опорного сигнала.

Цифровые методы формирования ШИМ, например, на основе применения счетчиков, обычно реализуются на элементной базе, использующей тактирование. Здесь выдержка временных соотношений в ШИМ не может быть точнее, чем период единичного такта. Тактовые частоты микроконтроллеров обычно исчисляются десятками мегагерц и намного превосходят характерные частоты ШИМ, однако для смены уровня сигнала с широтно-импульсной модуляцией в отдельном тактовом цикле микроконтроллер должен обладать соответствующей готовностью. Таким образом, если ШИМ формируется программным способом, а контроллер работает с нагрузкой выше рекомендуемой, то в некоторых случаях может наблюдаться смещение переключений в сигнале с ШИМ на несколько тактов. Отсюда следует необходимость использования, где это возможно, аппаратных модулей формирования ШИМ, которые функционируют с малой зависимостью от текущей загрузки ядра микроконтроллера.

Для частот ШИМ, соизмеримых с тактовыми частотами микроконтроллера, будет наблюдаться явная дискретность длительностей высокого и низкого уровней ШИМ. В этом случае джиттер тактового сигнала будет транслироваться в ШИМ-сигнал, и для снижения связанных с ним случайных погрешностей необходимо использовать источники тактирования со стабилизированной частотой. Показано [13], что снизить уровень джиттера можно увеличением напряжения питания в границах допустимых значений.

На основе изложенного, а также анализа схемотехники конкретного ШИМ-модулятора можно определить ключевые направления снижения погрешности его

выходного сигнала. При этом погрешности ШИМ, вызванные случайными факторами, обычно имеют симметричное относительно нуля вероятностное распределение, и при статистическом усреднении взаимно компенсируются. Если ШИМ-сигнал формируется на основе обратной связи, например, δ -методом, а текущий его уровень лишь определяет направление изменения состояния объекта управления, то тогда «списание» почти любых ошибок ШИМ-сигнала происходит автоматически при достижении условия переключения.

ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ШИМ И ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ИЗМЕРЕНИЙ

Исходя из назначения и принципов формирования ШИМ-сигналов, для них необходимо измерять:

- амплитуду импульсов или минимальное и максимальное установившееся значение;
- среднеквадратическое значение сигнала ШИМ на периоде модулирующего сигнала (для приложений, в которых ШИМ применяется для прямого управления мощностью ИУ);
- частоту следования импульсов при её постоянстве или статистику её распределения;
- среднюю длительность импульсов, статистику их распределения;
- глубину ШИМ;
- частоту (период) модулирующего сигнала, по которому осуществляется ШИМ;
- соотношение периода ШИМ и модулирующего напряжения, которое определяет коэффициент модуляции в В/Гц.

Требования к средствам измерений параметров и к измерительной оснастке определяются структурой сигналов с широтно-импульсной модуляцией. В первую очередь, они должны обладать необходимой рабочей полосой. Поскольку любая ШИМ представлена последовательностью сменяющих друг

друга уровней сигнала, то, рассматривая длительности импульсов и пауз между ними, необходимо ориентироваться на наиболее короткие из них. Если обозначить наименьшую их длительность как τ , то для воспроизведения без существенных искажений средство измерений и оснастка должны обладать верхней граничной частотой не менее $3/\tau$. Практически все современные осциллографы и пробники отвечают этому требованию, если учесть, что частота ШИМ редко превосходит 1 МГц, а полоса такого сигнала в подавляющем большинстве случаев оказывается менее 30 МГц.

Вторая группа требований относится к измерительным функциям самого осциллографа. Лучшим вариантом здесь являются автоматические измерения, в особенности для статистических параметров, поскольку появляется возможность обрабатывать широкую и потому репрезентативную выборку импульсов. Такие функции являются базовыми для современных цифровых осциллографов. Рассмотрим реализацию измерений перечисленных параметров на осциллографах компании Rohde&Schwarz новой серии — RTO6.

ВОЗМОЖНОСТИ ОСЦИЛЛОГРАФОВ R&S RTO6 ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ШИМ

Согласно руководству пользователя [14], осциллографы серии R&S RTO6 имеют весьма широкие возможности по измерению амплитудных и временных параметров, которые перекрывают приведенную выше номенклатуру для сигналов ШИМ. Автоматические измерения в интерфейсе прибора разбиты на четыре категории:

- амплитудные измерения;
- измерения временных параметров;
- измерения электрической площади сигнала на периоде либо по заданному пользователем уровню;
- счет импульсов и/или перепадов.

Для определения параметров ШИМ-

сигналов следует использовать амплитудно-временные измерения, а также математическую обработку, к результатам которой также применимы автоматические измерения.

Максимальное и минимальное значения напряжения для ШИМ-сигнала измеряются как усредненные показатели по соответствующим частям сигнала — импульсам или паузе между ними, амплитуда измеряется как разность между ними. При измерении среднеквадратического значения ШИМ-сигнала на периоде необходимо помнить, что на этом интервале укладывается большое количество импульсов, а функция расчета среднеквадратичного значения обычно привязана к периоду импульсного сигнала. Ясно, что для ШИМ в смежных периодах среднеквадратичное значение меняется незначительно. Учитывая классическое определение среднеквадратического значения [15], а также математические свойства интегрирования, для его определения для ШИМ-сигналов следует использовать вероятностное распределение, гистограмма которого может быть построена на осциллографах R&S RTO6. Точка симметрии такой гистограммы будет характеризовать текущее среднеквадратичное значение, причем объем выборки, используемой для её построения, должен быть кратен отношению периодов модулирующего и ШИМ-сигнала.

Прочие параметры ШИМ из перечисленных в предыдущем разделе относятся к временным. Как было показано выше, в зависимости от способа формирования сигнал ШИМ может иметь постоянный период, либо он может меняться. В зависимости от этого и выбирается конкретный измеряемый параметр, причем в первом случае частота импульсов ШИМ измеряется непосредственно, а во втором строится статистическое распределение. Для длительности импульсов должны применяться только статистические измерения с построением гистограммы распределения, по которой, как правило, можно оценить среднее её значение. В некоторых случаях по такому распределению можно судить и о форме модулирующего сигнала.

Глубина ШИМ M определяется пределами изменения длительности импульсов в пределах периода модулирующего сигнала. Если считать, что она изменяется в интервале $[\tau_{min}, \tau_{max}]$, который определяется непосредственно по гистограмме вероятностного распределения, то $M = (\tau_{max} - \tau_{min})/T$, где T — период импульсов ШИМ. В предельном случае $M = 1$, и тогда $\tau_{max} = T$; $\tau_{min} = 0$. Соответственно, если модуляции нет, то $M = 0$, и тогда $\tau_{max} = \tau_{min}$, и любые колебания длительности импульсов обусловлены случайными факторами.

Измерения периода модулирующего сигнала T_M оказываются несколько сложнее, но и они могут быть реализованы на осциллографах серии R&S RTO6. Наиболее простым и очевидным вариантом являются прямые измерения частоты модулирующего сигнала, если к нему имеется

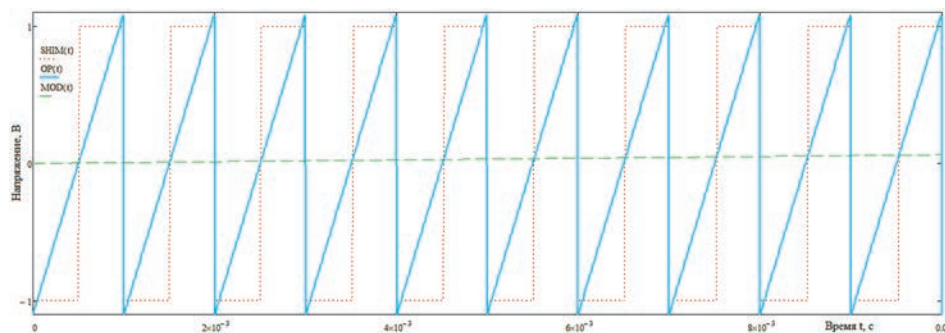


Рис. 5. Графики функций $OP(t)$, $MOD(t)$, $SHIM(t)$ в пределах десяти периодов опорного сигнала

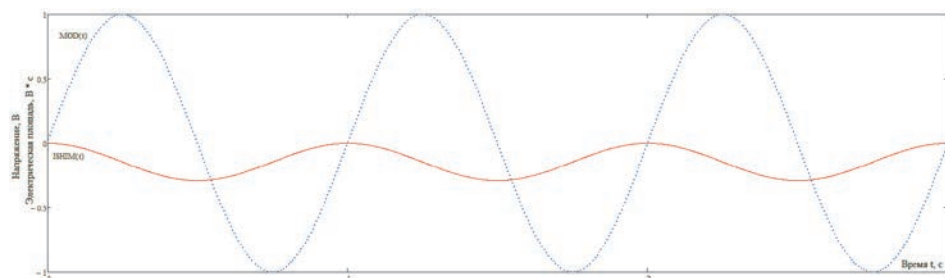


Рис. 6. Графики функций $MOD(t)$ и $ISHIM(t)$ в пределах трех периодов модулирующего сигнала

доступ. В противном случае о его периоде можно судить только по характеристикам сигнала ШИМ, и здесь оказывается полезным интегральный метод обработки, который лучше реализовывать в специальных математических пакетах. Для его применения сигнал ШИМ, представленный зависимостью $U(t)$, вначале должен быть нормирован в пределах значений ± 1 В путем перехода к функции

$$U_n(t) = \frac{2U(t)}{A_2 - A_1} - \frac{A_1 + A_2}{A_2 - A_1},$$

где A_1 и A_2 — низкий и высокий уровни ШИМ. На произвольном i -ом периоде формирования ШИМ интеграл от такой функции составит

$$ISHIM_i = \int_{(i-1)T}^{iT} U_n(t) dt = 2\tau_i - T,$$

где τ_i — длительность импульса в i -ом периоде. Таким образом, мы получаем парциальное интегральное значение, линейно связанное с τ_i . При этом значение $ISHIM_i < 0$ для импульса со скважностью $Q = T/\tau_i$ менее двух и больше нуля в противном случае.

Для определения периода модулирующего сигнала следует использовать функцию

$$ISHIM(t) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{trunc(t/T)} \int_{(i-1)T}^{iT} U_n(t) dt, & \text{если } trunc(t/T) \geq 1; \\ 0, & \text{если } trunc(t/T) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Формула справедлива для $t \geq 0$, в ней функция $trunc(*)$ отбрасывает дробную часть аргумента. Представленные соотношения могут показаться чрезмерно сложными, поскольку уравнение (1) может быть записано куда проще:

$$ISHIM(t) = \int_0^t U_n(t) dt,$$

и математически это будет верно. Однако, как показали численные эксперименты, прямое вычисление по такой формуле сопровождается накоплением погрешностей, что приводит к расхождению результатов при численном интегрировании. Чтобы избежать этого, приходится увеличивать допуск сходимости, что влечет за собой снижение точности определения периода модулирующего сигнала и появление выбросов на графике интегральной функции, не имеющих никакого отношения к свойствам обрабатываемого ШИМ-сигнала. В то же время уравнение (1) за счет интегрирования в малых интервалах обеспечивает сходимость практически при любых отношениях T_M/T , если первичные данные, полученные на средства измерений, обеспечивают достаточное количество выборок на периоде T .

Рассмотрим пример вычисления по уравнению (1) для ШИМ-сигнала, синтезированного методом сравнения для значений $T_M = 1$ с и $T = 1$ мс. Опорный сигнал с функцией $OP(t)$ представлял собой последовательность пилообразных импульсов с медленным нарастанием и быстрым спадом в интервале значений $-1, 1 \dots 1, 1$ В. Модулирующий сигнал описывался

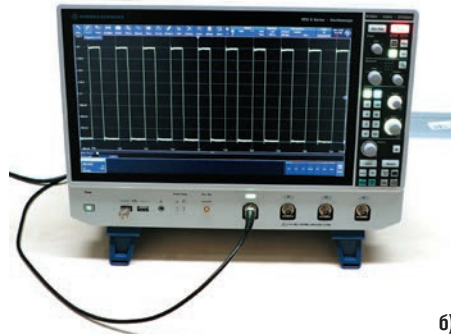
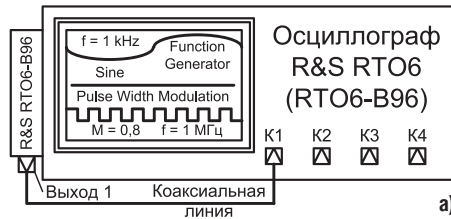


Рис. 7. Измерительная установка: а) схема; б) фотография

уравнением $MOD(t) = \sin(2\pi t/T_M)$. Функция ШИМ-сигнала рассчитывалась так:

$$SHIM(t) = \begin{cases} 1, B & \text{если } OP(t) \geq MOD(t); \\ -1, B & \text{если } OP(t) < MOD(t). \end{cases}$$

Таким образом, в результате синтеза получался сразу нормированный сигнал.

Графики функций $OP(t)$, $MOD(t)$, $SHIM(t)$ показаны на рис. 5 для интервала времени от 0 до 10T. На рис. 6 показаны представленные графики функций $MOD(t)$ и $ISHIM(t)$ в пределах трех периодов модулирующего сигнала. Как видим, функция $ISHIM(t)$ позволяет не только определить период модулирующего сигнала, но и определить его форму с точностью до масштаба и постоянной составляющей. Такой метод действует только для сигналов ШИМ с постоянным периодом управляющего сигнала.

Далее рассмотрим пример измерений параметров сигнала с широтно-импульсной модуляцией с использованием осциллографов серии R&S RTO6.

ПРИМЕР ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ С ШИМ-МОДУЛЯЦИЕЙ

Измерительное оборудование и оснастка. В качестве средства измерений, на котором были получены описываемые ниже результаты, использовался



Рис. 8. Фотография внешних интерфейсов генератора R&S RTO6-B6

осциллограф R&S RTO6 с опцией R&S RTO6-B96, соответствующей полосе рабочих частот до 4 ГГц при наличии четырех каналов. При измерениях, как следует из схемы на рис. 7, был задействован только один из них.

Многие современные осциллографы комплектуются модулями с дополнительными функциями, упрощающими проведение измерений за счет сокращения необходимой номенклатуры оборудования. Не стали исключением и приборы R&S RTO6, в которых двухканальный генератор аналоговых сигналов и восьмиканальный паттерн-генератор реализован как опция R&S RTO6-B6 (рис. 8). При этом ШИМ для R&S RTO6-B6 является одним из типовых видов модуляции и не требует пользовательского программирования. Учитывая, что при формировании аналоговых сигналов осуществляется прямой цифровой синтез, такая опция даёт возможность формировать ШИМ с любыми формами модулирующего сигнала, в т.ч. непериодического характера.

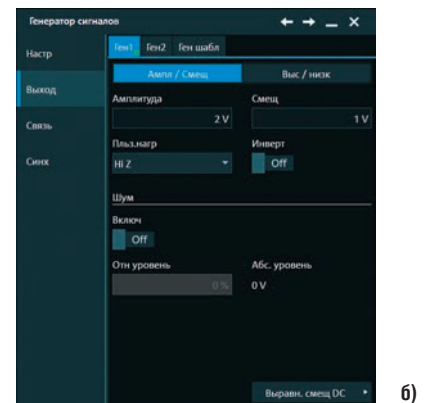
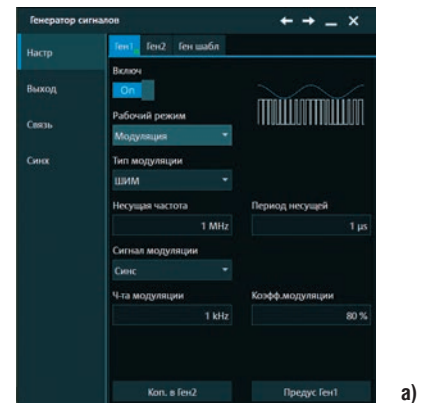


Рис. 9. Окна конфигурирования генератора R&S RTO6-B6: а) для задания вида и характеристик модуляции; б) для задания амплитудных параметров и нагрузки

В качестве объекта исследований был выбран ШИМ-сигнал с частотой следования импульсов 1 МГц, глубиной модуляции $M = 0,8$. Модуляция осуществлялась при помощи синусоидального сигнала с частотой 1 кГц. Амплитудные параметры сигнала выбирались в зависимости от текущей измерительной задачи так, как это описано ниже. Во всех случаях запуск развертки осуществлялся по уровню, соответствующему половине размаха сигнала ШИМ.

Настройка генератора R&S RTO6-B6 осуществлялась установкой параметров ШИМ-сигнала в окнах, показанных на рис. 9. В первом окне устанавливаются частота импульсов ШИМ, глубина и частота модуляции, тип модулирующего сигнала. Во втором окне задаются амплитудные параметры: размах импульсов ШИМ, смещение и значение нагрузки на выходе генератора. Выходной сигнал поступал на вход осциллографа с сопротивлением 1 МОм, однако при необходимости его можно установить равным 50 Ом. Поэтому в настройках генератора R&S RTO6-B6 пользовательская нагрузка была определена как Hi Z.

При проведении всех описываемых ниже измерений, за исключением определения периода модулирующего сигнала, амплитуда и смещение сигнала с ШИМ устанавливались равными 2 В и 1 В соответственно, что и показано на рис. 9,б.

Измерения амплитудных параметров сигнала ШИМ выполнялись с использованием функций автоматических измерений. На рис. 10 показан результат автоматического определения амплитуды, импульсов, которая составля-

ет 1,976 В. Следует обратить внимание на наличие выбросов на осциллограмме измеряемого сигнала, к которым, однако, алгоритм измерения амплитудного значения проявляет толерантность за счет использования усреднения.

Измерения среднеквадратичного значения и его статистического распределения на осциллографах серии R&S RTO6 выполняются для заданной области на осциллограмме. Среднеквадратичное значение ШИМ \bar{U}^2 должно определяться на периоде модулирующего сигнала, т.е. охватывать интервал времени около $T_M = 1$ мс. Согласно определению, среднеквадратичное значение сигнала $U(t)$ за время T_M рассчитывается как

$$\bar{U}^2 = \sqrt{\frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} U^2(t) dt}$$

Если импульсы ШИМ характеризуются уровнями A_1 и A_2 , причем $A_1 > A_2$, то

$$\begin{aligned} \bar{U}^2 &= \sqrt{\frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} U^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\frac{A_2^2}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i + \frac{A_1^2}{N} \sum_{i=1}^N (T - \tau_i) \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{T} (A_2^2 \bar{\tau} + A_1^2 (T - \bar{\tau}))}, \end{aligned}$$

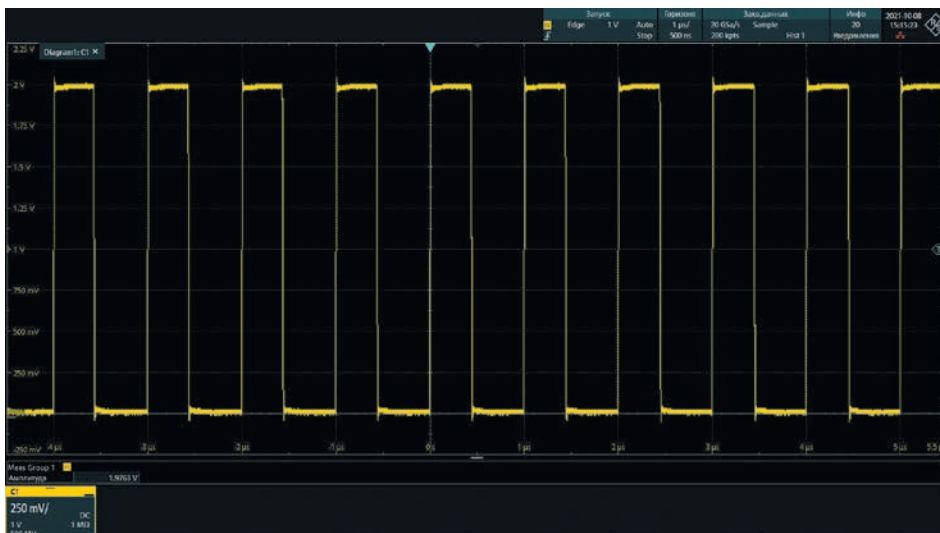


Рис. 10. Реализация автоматических измерений амплитуды сигнала с ШИМ



Рис. 11. Результат измерений среднеквадратичного значения напряжения ШИМ на периоде модулирующего сигнала

где $\bar{\tau}$ и $(T - \bar{\tau})$ — усредненные на периоде сигнала ШИМ длительности импульсов и пауз между ними. В представляемом примере измерений $A_2 = 0$, $T = 1$ мкс, а вероятностное распределение длительностей импульсов симметрично в силу формы модулирующего сигнала, и поэтому $\bar{\tau} = 0,5$ мкс. Учитывая это, расчетное значение $\bar{U}^2 = 1,4$ В. Этот же результат получается при измерениях (рис. 11).

На рис. 12 представлена гистограмма вероятностного распределения среднеквадратичных значений (СКЗ) отдельно взятых импульсов в составе ШИМ, построенная по результатам автоматических измерений. Учитывая свойства модулирующего сигнала, распределение среднеквадратичных значений должно быть симметричным, но, как видно из рисунка, это не так. Для проверки правильности построения вероятностного распределения необходимо вывести соответствующее соотношение. Общий подход к такому выводу изложен в [16], поэтому далее только приведем результаты его применения к рассматриваемой частной задаче. Длительность импульсов ШИМ меняется по закону $\tau(t) = 0,5T(1 + M \sin(2\pi f_M t))$, где $f_M = 1/T_M$. Пусть $A_2 = 0$, тогда с учетом малого изменения модулирующего сигнала на периоде ШИМ значение СКЗ проявляет следующую зависимость от частоты:

$$U_n^2(t) = A_1 \sqrt{0,5 \sqrt{1 + M \sin(2\pi f_M t)}}. \quad (2)$$

Ясно, что значение плотности вероятности будет обратно пропорционально скорости изменения СКЗ при вариации времени или эквивалентного влияющего параметра. Таким образом, оказывается, что $p(\bar{U}_n^2) \sim 1/(d\bar{U}_n^2(t)/dt)$. Расчет производной $d\bar{U}_n^2(t)/dt$ по времени даёт результат

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{U}_n^2(t)}{dt} &= \frac{2\pi \sqrt{0,5} f_M A_1 M \cos(2\pi f_M t)}{\sqrt{1 + M \sin(2\pi f_M t)}} = \\ &= \frac{\pi f_M A_1 M \cos(2\pi f_M t)}{\bar{U}_n^2(t)}. \end{aligned} \quad (3)$$

Функция плотности вероятности должна зависеть только от параметров модуляции и значения СКЗ как её аргумента. Для приведения уравнения (3) к приемлемому виду из уравнения (2) может быть получено, что

$$\cos(2\pi f_M t) = \sqrt{1 - \frac{1}{M^2} \left(\frac{(\bar{U}_n^2(t))^2}{0,5 A_1^2} - 1 \right)}.$$

Из этого следует, что с точностью до коэффициента пропорциональности

$$p(\bar{U}_n^2) \sim \bar{U}_n^2 \left/ \left(\sqrt{1 - \frac{1}{M^2} \left(\frac{(\bar{U}_n^2)^2}{0,5 A_1^2} - 1 \right)} \right) \right. \quad (4)$$

Выражение (4) уже достаточно для качественного построения вероятностного распределения СКЗ, но для обе-

Осциллографы смешанных сигналов

Tektronix®

Новинка!

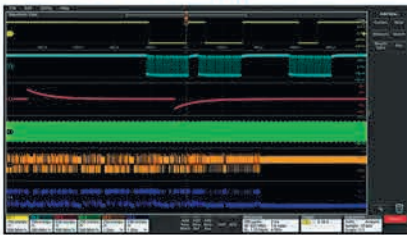


MDO Серии 3



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



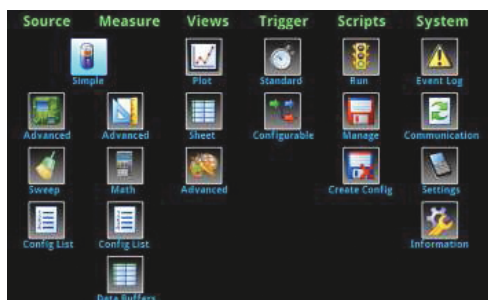
БОЛЬШЕ
ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru

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)

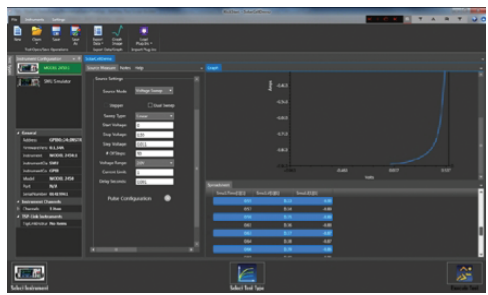
Параметр	2450	2460	2461	
Максимальная мощность	20 Вт	100 Вт	100 Вт / 1000 Вт (имп.)	
Напряжение (ист./изм.)	Макс. значение	200 В	100 В	
	Точность	±0,015% / ±0,012%		
	Разрешение	500 нВ / 10 нВ	5 мкВ / 100 нВ	5 мкВ / 100 нВ
Ток (ист./изм.)	Макс. значение	1 А	7 А	7 А ; 10 А (имп.)
	Точность	±0,02% / ±0,02%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

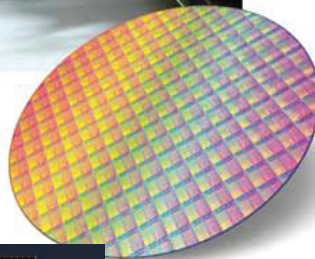
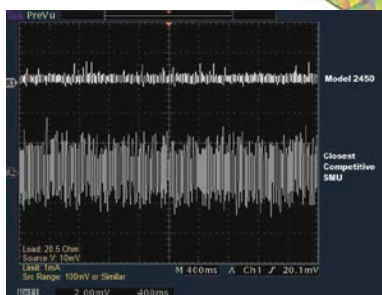
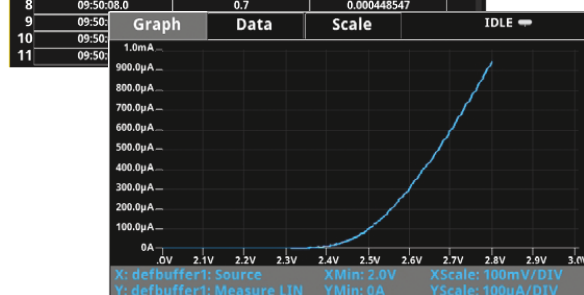


DATA SHEET

Buffer: defbuffer1

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



спечения окончательной математической строгости необходимо обеспечить выполнение условия нормировки вероятности, согласно которому СКЗ в любой произвольный момент времени гарантировано лежит в интервале значений $[A_1\sqrt{0,5\sqrt{1-M}}; A_1\sqrt{0,5\sqrt{1+M}}]$. Это определяется выражением

$$\int_{A_1\sqrt{0,5\sqrt{1-M}}}^{A_1\sqrt{0,5\sqrt{1+M}}} p(\overline{U}_n^2) d\overline{U}_n^2 = 1.$$

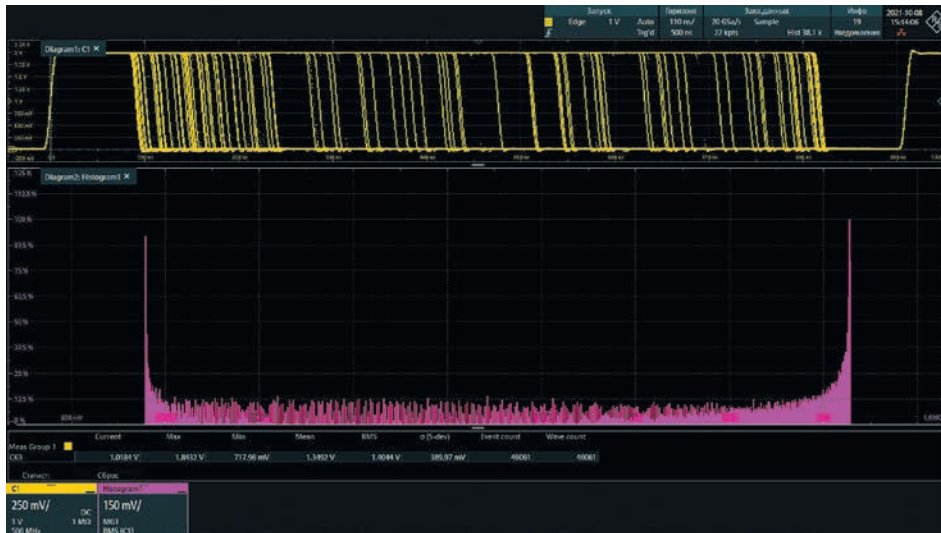


Рис. 12. Гистограмма вероятностного распределения среднеквадратичных значений отдельно взятых импульсов в составе ШИМ

Используя справочник [17], можно показать, что последнее равенство соблюдается, когда в уравнение (4) введен коэффициент пропорциональности $4/\pi M A_1^2$. Отсюда окончательно имеем функцию вероятности распределения

$$p(\overline{U}_n^2) = \frac{4\overline{U}_n^2}{\pi\sqrt{M^2 A_1^4 - (2(\overline{U}_n^2)^2 - A_1^2)^2}}$$

График этой функции, построенный для заданных выше значений параметров, приведен на рис. 13 для определенного выше интервала возможных значений СКЗ.

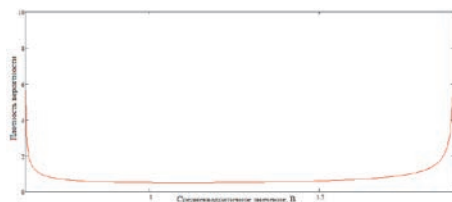
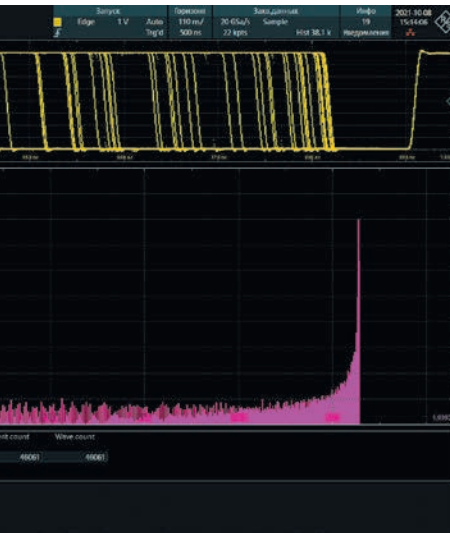


Рис. 13. Расчетный график функции $p(\overline{U}_n^2)$

Анализ формы полученной кривой указывает на её несимметрию относительно среднего значения СКЗ. Таким образом, результаты измерений плотности распределения, представленные на рис. 12, верны. Несимметрия статистического распределения определяется тем, что значения СКЗ находится в степенной зависимости от длительности импульсов, которая должна иметь симметричное распределение.

Измерения частоты следования и вероятностного распределения длительности импульсов также на приборах серии R&S

RTO6 выполняются для заданного участка осциллограммы. Их результаты показаны на рис. 14. Как видим, частота ШИМ практически неизменна и равна номинальной, заданной в настройках генератора R&S RTO6-B6. Согласно статистическим данным, представленным под гистограммой, минимальное и максимальное значения длительности импульса, зарегистрированные прибором, составляют $\tau_{min} = 99,89$ нс и $\tau_{max} = 900,07$ нс при среднем значении



500,82 нс. Это свидетельствует о симметричности статистического распределения, которую можно наблюдать и на гистограмме на рис. 14. В [16] показано, что длительность импульсов для выбранного закона ШИМ будет иметь арксинусоидальный закон распределения. Опуская промежуточные выкладки, включая получение нормировочного коэффициента, определим, что для интервала возможных значений длительности импульсов ШИМ $[0,5T(1-M); 0,5T(1+M)]$ плотность вероятности $p(\tau)$ описывается уравнением

$$p(\tau) = \frac{2}{\pi\sqrt{(0,5TM)^2 - (\tau - 0,5\tau)^2}}$$

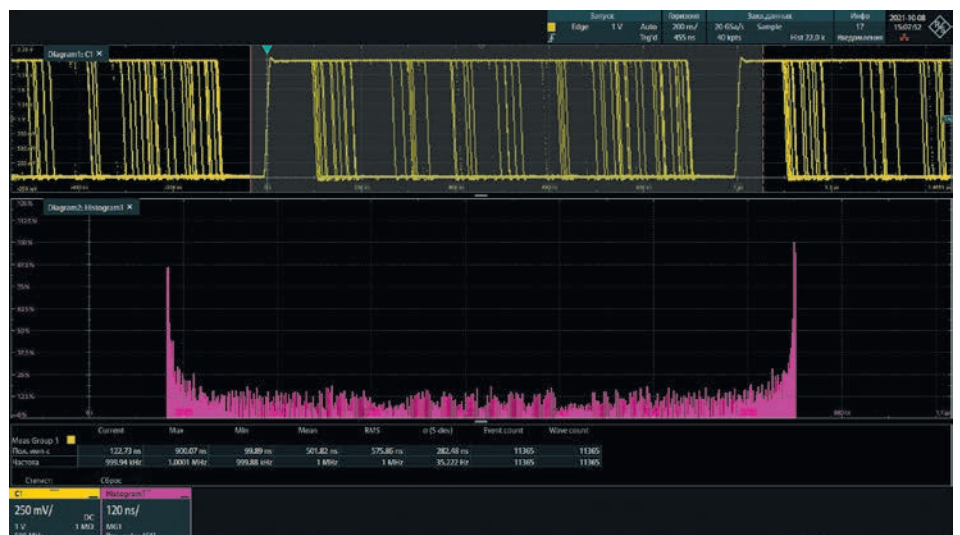


Рис. 14. Результаты измерений частоты импульсов ШИМ и построения гистограммы вероятностного распределения их длительности

График такой функции для указанных выше настроек ШИМ показан на рис. 15. В данном случае распределение оказывается симметричным относительно среднего значения длительности импульсов, равного 0,5τ.

Частота следования импульсов ШИМ, результаты измерений которой представлены на рис. 14 в левом нижнем углу, изменяется в пределах от 0,99988 до 1,0001 МГц, т.е. её можно считать постоянной и равной номиналу, заданному в настройках генератора.

Глубина ШИМ, как это отмечалось ранее, может быть оценена на основе измеренных значений τ_{max} , τ_{min} , а также периода следования импульсов $T = 1$ мкс. Исходя из этого, $M = 0,80018$.

Измерение периода модулирующего сигнала интегральным методом. Для реализации измерений в соответствии с изложенным выше алгоритмом необходимо иметь достоверные априорные данные о том, что модулирующий сигнал действительно является периодическим. Описанные выше проблемы сходимости при численном интегрировании могут быть свойственны и математической обработке на осциллографах. Ясно, что массив первичных измеренных данных представляется дискретными значениями, и для численного интегрирования здесь, по-видимому, применяется простейшая ступенчатая аппроксимация. Для того, чтобы она весьма точно повторяла первоначальный сигнал, необходимо, чтобы периодичность выборки была много меньше, чем минимальная длительность импульса ШИМ. Для выполнения этого условия пользователь осциллографов серии R&S RTO6 может менять частоту выборки.

Как отмечалось выше, для выполнения измерений T_M описанным выше интегральным методом используется математическая обработка осциллограмм и необходимо выполнить нормирование сигнала. В представляемом случае нормирование было осуществле-

но установкой нулевого смещения на генераторе, в результате чего сигнал с ШИМ приобрел значения $A_1 = -1$ В и $A_2 = 1$ В. Аналогичная нормировка может быть выполнена применением к осциллограмме математической функции масштабирования вида $y = kx + b$, коэффициенты которой в рассматриваемом случае составляют $k = 1$; $b = -1$.

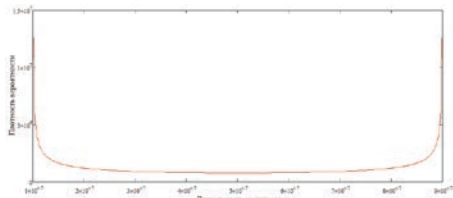


Рис. 15. Расчетный график функции $p(\tau)$

На рис. 16,а показаны результаты измерений T_M , выполненные на утроенном периоде модулирующего сигнала. Как видим, функция автоматических измерений применима и к интегральной кривой. Измеренное значение ча-

стотно-импульсной, для которой в зависимости от управляющего сигнала варьируется частота выдачи импульсов.

В заключение следует отметить, что разработки осциллографов серии R&S RTO6 значительно улучшили их эргономику за счет увеличения размеров экрана и повышения его разрешающей способности. Таким образом, осциллографы серии R&S RTO6 являются не специфической модификацией приборов R&S RTO, а их следующим поколением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. — С.-Пб., БХВ — Санкт-Петербург, 2000. — 528 с.
2. Ратхор Т.С. Цифровые измерения. АЦП/ЦАП. — М.: Техносфера, 2006. — 392 с.
3. Широтно-импульсная модуляция. — Интернет-ресурс <https://ledjournal.info/spravochnik/shirotno-impulsnaya-modulyaciya.html> (дата обращения 13.09.2021).

chtotakoe-shim (дата обращения 13.09.2021).

11. Воронов А.А. Элементы теории автоматического регулирования. — М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1954. — 470 с.
12. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. — М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. — 616 с.
13. Лемешко Н.В., Струнин П.А. Современные возможности анализа джиттера в высокоскоростных цифровых устройствах на примере опции R&S RTO-K12. — Контрольно-измерительные приборы и системы, № 2, 2019. — с. 21-31.
14. R&S®RTO6 Oscilloscope. User Manual. — 1801.6687.02-02. — 2678 p.
15. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Высшая школа, 2003. — 479 с.
16. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразова-

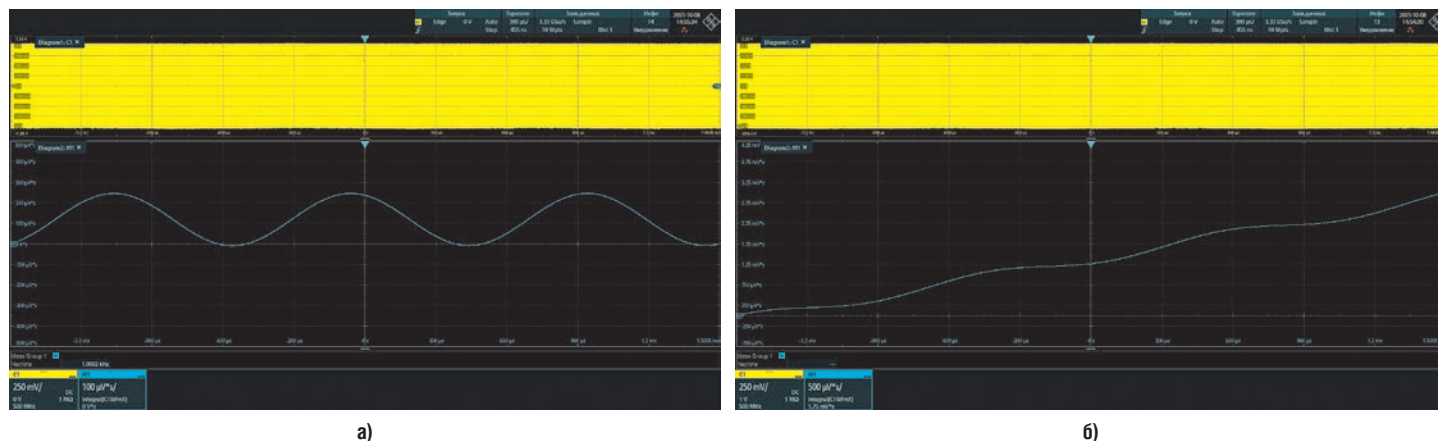


Рис. 16. Результаты измерений f_M интегральным методом: а) при использовании нормировки; б) без использования нормировки

стоты $f_M = 1,0002$ кГц, периода — $T_M = 0,9998$ мс. С другой стороны, как и ожидалось, отсутствие нормировки приводит к почти непрерывному нарастанию интегральной кривой, что делает невозможным определение периода и частоты модулирующего колебания ШИМ. Теоретически по углу наклона такой кривой может быть рассчитана корректирующая функция, но применение нормировки любым из возможных способов значительно упрощает измерения.

Таким образом, мы рассмотрели измерения всех параметров сигналов с широтно-импульсной модуляцией из заявленной выше номенклатуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерения всех наиболее важных амплитудно-временных параметров сигналов с ШИМ могут быть выполнены с использованием функций автоматических измерений современных осциллографов. Аналогичные измерения могут быть реализованы и для сигналов с другими — во многом родственными — видами модуляции, например, ча-

4. ГОСТ Р 51317.4.15-2012 «Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования» — М: Стандартинформ, 2014. — 38 с.
5. Шрайбер Г. 300 схем источников питания. Выпрямители, импульсные источники питания, линейные стабилизаторы и преобразователи. — М.: ДМК, 2000. — 224 с.
6. 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.
7. Широтно-импульсная модуляция - Pulse-width modulation. — Интернет-ресурс https://wikichi.ru/wiki/Pulse-width_modulation (дата обращения 16.09.2021).
8. Трофимова Т.И. Курс физики. — М.: Высшая школа, 1990. — 479 с.
9. Широтно-импульсная модуляция. — Интернет-ресурс <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения 13.09.2021).
10. Что такое ШИМ – широтно-импульсная модуляция. — Интернет-ресурс <https://odinelectric.ru/knowledgebase/>

тели. — Учебное пособие для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 320 с.

17. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). — М.: Наука, 1974. — 832 с.

The article describes approaches to the experimental determination of the signal parameters with pulse width modulation (PWM) using the automatic measurement functions of modern oscilloscopes. It also presents and analyzes the general classification of PWM signals, considers typical methods of their formation and the causes of modulation errors which are different for its analog and digital methods. You will see the number of PWM signal parameters which are subject to control with measuring instruments when debugging devices with PWM. For R&S RTO6 oscilloscopes this article describes the automatic measurement functions that can be used to analyze PWM signals. Also check the example of PWM signal measurement with sine law including the statistics of rms values distribution and pulse duration.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ: ПРИЛОЖЕНИЯ

ДВЕ СТОРОНЫ ОДНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

MATHEMATICAL THEORY OF MEASUREMENT PROBLEMS: APPLICATIONS

TWO SIDES OF THE SAME UNCERTAINTY

Левин С.Ф. (S. Levin), доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ

В Рекомендациях по метрологии МИ 2365–96 «ГСИ. Шкалы измерений. Основные положения. Термины и определения» в связи с тем, что «термин *погрешность измерений* неприменим к результатам измерений в шкалах порядка и наименований», появился термин

Неопределенность результата измерений — Область шкалы измерений, в которой предположительно находится истинная оценка свойства или истинное значение измеряемой величины.

В Государственной системе обеспечения единства измерений (ГСИ) «неопределенность» получила два определения.

В РРТ 507–98 «ГСИ. Задачи измерительные. Методы решения. Термины и определения» *неопределенность результата решения измерительной задачи* определена на основе композиционного подхода [1] как **распределение вероятностей погрешностей измерения и неадекватности** математической модели объекта измерений.

В РМГ 29–99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» определение *неопределенности измерений* взято из ВIM–93 [2] согласно концепции неопределенности на основе моментного (параметрического) подхода [3]: «**параметр, связанный с результатом измерения и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине**». Здесь под **измерением** согласно ГОСТ 16263–70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения» понималось «**косвенное измерение**» — предмет международного руководства Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [4].

В русском языке слово *измерить*¹ ориентирует терминологию метрологии на различие **измерений** и **вычислений**. Но в ГОСТ 16263–70 были даны *международные* определения косвенных, совокупных, совместных, абсолютных и относительных «**измерений**» как «**вычислений по данным измерений**».

¹ **ИЗМЕРИТЬ** — Определить какой-нибудь мерой величину чего-нибудь. *И. температуру тела. И. длину здания. И. напряжение тока. | | перен. Установить, сделать заключение о величине, размерах чего-н. (книжн.). И. глубину чувства [5].*

О размывании понятия *измерение* профессор В.А. Кузнецов сказал: «*Мы перестали понимать, что такое измерение*».

В РМГ 29–99 список **вычислений по данным измерений** расширили многократные, статические, динамические, равноточные и неравноточные «измерения». Но возврат к основному смыслу слова **измерить** в пункте

5.10 прямое измерение — Измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно.

Примечание — Термин *прямое измерение* возник как противоположный термину *косвенное измерение*. **Строго говоря, измерение всегда прямое** и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В этом случае лучше применять термин *прямой метод измерений*.

5.11 косвенное измерение — Определение² искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Примечание — Во многих случаях вместо термина *косвенное измерение* применяют термин *косвенный метод измерений*.

следует рассматривать как знак серьезной проблемы. А в примечании 3 к термину 10.1 **погрешность средства измерений** РМГ 29–99 прямо указано: «Приведенное определение понятия «погрешность средства измерений» соответствует определению, данному ВIM-93 [2], и не противоречит формулировкам, принятым в отечественной метрологической литературе. Однако признать его удовлетворительным нельзя, так как по сути оно не отличается от определения понятия «погрешность измерений», поэтому необходима дальнейшая работа по совершенствованию определения этого понятия».

ТЕРМИНЫ И КАТАХРЕЗЫ

Метрологию называют наукой об измерениях. Но фактически **метрология** — фундаментальная наука о методах и средствах *отображения* свойств

² От слова *определить*: ...3. Вычислить, высчитать, вывести по каким-то данным». ... 6. Назначить, указать [5].

физических объектов математическими моделями. Расхождение результатов *вычислений* по моделям и результатов *измерений* свойств физических объектов в данных условиях (ошибка) характеризует глубину познаваемости явлений. Неизбежность ошибок заставила *переименовать* их составляющие по источникам — в *погрешности измерений* и *погрешности неадекватности*. И в историческом плане проблема неадекватности в метрологии перманентна [6]. Для терминов проблему неадекватности в VI веке до н.э. четко сформулировал Конфуций:

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

Античная метрология как геометрия в понятии *измерение* объединила *реальное* (физическое) и *идеальное* (математическое). «Теорией математических моделей» Ойкумены стало основанное в V веке до н.э. Пифагором Самосским учение о числе как мистической сущности вещи, о математических абстракциях, которые таинственно руководят миром, устанавливая в нем порядок [6]. Пифагор, описав несоизмеримые отрезки, установил, что результаты измерений представляют рациональными числами, а результаты вычислений могут быть получены с любой наперед заданной точностью.

В 1930-е годы философская интерпретация *измерений* и *вычислений* как операций в сферах *реального* и *идеального* нашла отражение в книге французского математика А. Лебега [7]: «*геометрическое измерение начинается как физический процесс и имеет метафизическое продолжение*». В предисловии к [7] А.Н. Колмогоров уточнил: «в геометрических измерениях условие сохранения физического смысла математических операций с величинами на метрических шкалах есть **гомоморфизм**. Система аксиом, лежащих в основе геометрии, является замечательным, концентрированным выражением наших усилий, направленных к познанию действительности». Поэтому языку чисел для описания объективной реальности надо учиться, опираясь на физический смысл математических действий с величинами.

Соединение противоречивых понятий — катахреза или ошибка речи, вошедшая в обиход. Катахрезы в терминах возникают уже при использовании косвенного смысла слова, в худшем случае возникает семантическая ошибка из-за утраты осознания внутренней формы слова, что ведет к системным ошибкам в приложениях. В этом же заключается и **проблема гармонизации терминов**. И дело не в идентичности переводов, а в их цели и уровне компетентности редакторов. Пример неудачной гармонизации — перевод [8]. В 2002 году Ученый совет ВНИИМ имени Д.И. Менделеева осудил перекосы англоязычной гармонизации и призвал «ошибочными необоснованные стремления, в ряде случаев в угоду мнимой и надуманной гармонизации, сузить богатые возможности русского языка».

В отечественной метрологии «неопределенность» VIM-93 [2] возникла с «косвенными измерениями» GUM [4], а «прецизионность» — с ГОСТ Р ИСО 5725-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений».

Но центральной была проблема неадекватности: в задаче калибровки термометра [8, Н.3] анализ [9] обнаружил неадекватность ~60% оцененной неопределенности, причем эта проблема оказалась еще и казусом.

Дело в том, что сформулирована она была, в общем-то, правильно. Ее даже предлагалось решить при помощи «эмпирических моделей измерения, основанных на долговременных количественных данных, эталонов сравнения и контрольных карт, которые могут показать, находится ли измерение под статистическим контролем». Еще немного, и речь пошла бы о метрологической аттестации формул, математических моделей величин. Но обошлось ссылкой на «хорошо спланированный эксперимент» как «искусство проведения измерения» [3, п.3.4.2], т.к. ГОСТ 24026-80 «Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения» определил *адекватность математической модели как соответствие экспериментальным данным по выбранному (!) критерию*. Но «неопределенность, связанная с самой математической моделью», осталась без определения количественной меры, в т.ч. и потому, что *остатки регрессионных моделей (погрешности аппроксимации)* являются только одной из составляющих погрешности неадекватности.

Серьезность проблемы термина «измерение» составители Международного словаря [10] осознали спустя полтора десятилетия в 2007 году [11, 12]: «*наличие разных подходов к определению измерения* зачастую приводит к использованию одного и того же термина для обозначения разных понятий». Был сде-

³ Статья [12] — перевод статьи [11].

лан неутешительный вывод: «Задача, стоящая перед составителями словаря, — гармонизировать терминологию, используемую при разных подходах, таким образом, чтобы одному понятию соответствовал один термин, оказалась трудновыполнимой. В некоторых случаях пришлось согласиться на использование одного термина для определения двух понятий и наоборот двух терминов для определения одного понятия».

Полнее проблему иллюстрирует определение термина [10] 2.5 (2.6) **метод измерений** — общее описание логической последовательности операций при измерении.

ПРИМЕЧАНИЕ. Методы измерений могут быть следующих видов:

- метод измерений замещением;
- дифференциальный метод измерений;
- нулевой метод измерений; или
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений.

Но проблема не в логике операций, а в физическом различии измерений и вычислений.

Согласно МИ 2222-92 «ГСИ. Виды измерений. Классификация» виды измерений делят по родам физических величин, причем необходимо «не допускать возможности включения одной и той же измеряемой физической величины в различные виды измерений», а в РМГ 29-99 методы замещения, дифференциальный и нулевой отнесены к методам измерений. Названия же *прямой метод измерений* и *косвенный метод измерений* из РМГ 29-99 не были приняты из-за акцента⁴ на *методе измерений*. Объединение *измерений, методов измерений и методов решения измерительных задач* лишь усугубило главную проблему GUM — проблему неадекватности [13], а термин [6] 2.27 **дефинициальная неопределенность** (definitional uncertainty) — составляющая неопределенности измерений, являющаяся результатом ограниченной детализации в определении измеряемой величины.

Примечание 1. Дефинициальная неопределенность есть практический минимум неопределенности измерений при любом измерении данной величины. Примечание 2. Любое изменение детализации в определении величины ведет к другой дефинициальной неопределенности.

Примечание 1. Дефинициальная неопределенность есть практический минимум неопределенности измерений при любом измерении данной величины. Примечание 2. Любое изменение детализации в определении величины ведет к другой дефинициальной неопределенности. только запутал ситуацию, т.к. во введении отмечалось: «в GUM дефинициальная неопределенность рассматривается как пренебрежимо малая по сравнению с другими составляющими неопределенности измерений». И термин превратил *неопределенность измерения* в непознанную величину, а примечание в РМГ 29-99 к *прямому измерению* стало

⁴ В ГОСТ 8.061-80 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение» дан такой порядок: метод прямого измерения, метод косвенного измерения.

казусом неадекватности [10] и центральной проблемой GUM.

Но сомнение все-таки возникло:

4.19 **прямое измерение:** Измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Примечания: 1. Термин *прямое измерение* возник как противоположный термину *косвенное измерение*. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей или шкалой. В этом случае лучше применять термин *прямой метод измерений*. 2. **В основу разделения измерений на прямые, косвенные, совместные и совокупные может быть положен вид модели измерений.** В этом случае граница между косвенными и прямыми измерениями *размыта*, поскольку большинство измерений в метрологии относится к косвенным, поскольку подразумевает учет влияющих факторов, введение поправок и т.д.

Вместе с тем терминология — не просто список названий и определений. Термин как слово вызывает ассоциации [14]. Особенно вредны термины, внутренняя форма которых не соответствует определению. Показателен пример из РМГ 29-99:

5.18 **измерительная задача:** задача⁵, заключающаяся в определении значения физической величины путем ее *измерения* с требуемой точностью в данных условиях измерений.

Если «*измерения*» заменить подчеркнутой частью определения термина VIM-3 [6]

2.1 **измерение** — процесс *экспериментального получения* одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

то проявится другая сторона **проблемы «измерений»**, которую не смогли обойти составители VIM-3 [6].

Очерной проблемой GUM стал ISO/IEC 31010:2009 «Risk management — Risk assessment techniques» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска»), указавший на то, что *подход Байеса и метод Монте-Карло для целей расчета риска не применимы*.

Хотя это не было новостью и до 2009 года, этот факт длительное время оставался без каких-либо последствий.

ВСЕСОЮЗНАЯ ДИСКУССИЯ

В 1970-е годы Ю.И. Алимов и В.Н. Тутубалин инициировали Всесоюзную дискуссию по проблемам математической статистики [15]. Своими работами и на семинарах под эгидой Научного совета АН СССР по комплексной проблеме «Кибернетика» и общества «Знание» в дискуссии участвовали В.В. На-

⁵ **ЗАДАЧА** — Математический вопрос, для разрешения которого требуется путем вычислений найти какие-н. величины (мат.). Арифметическая, алгебраическая з. Задача на правило процентов [1].

ЦИФРОВЫЕ RLC-МЕТРЫ

АКТАКОМ

www.aktakom.ru

Контроль тестового уровня



AMM-3046

Встроенный источник смещения



AMM-3068/3088

Анализ трансформаторов



AMM-3038/3058

Параметры	AMM-3046	AMM-3038/3058	AMM-3068/3088
Точность	0,05 %	0,05 %	
Тестовая частота (максимальная)	200 кГц	300 кГц / 1 МГц	
ЖК-дисплей	6 разрядов TFT	6 разрядов TFT (480×272)	6 разрядов TFT (800×480)
Ёмкость		0,00001 пФ...10 Ф	
Индуктивность		0,01 нГн...100 кГн	
Сопротивление		0,01 МОм...100 МОм	

AM-3055



AMM-3033



AM-3128



AM-3123
AM-3125



Параметры	AM-3055	AMM-3033	AM-3128	AM-3123/AM-3125
Точность	1,2 %	0,5 %	0,25 %	0,25 %
Тактовая частота (макс.)	3 Гц	10 кГц	100 кГц	10 кГц (AM-3123) 100 кГц (AM-3125)
ЖК-дисплей	3 ½ разряда; однорочный	3 5/6 разрядов; однорочный	4 ½ разряда; двухстрочный	5 разрядов; двухстрочный
Схемы измерения	2-х проводная	2-х проводная	3-х, 5-ти проводная	3-х, 5-ти проводная
Ёмкость	1 пФ...60 мФ	0,1 пФ...600 мкФ	0...20 мФ	0,01 пФ/0,001 пФ...20 мФ
Индуктивность	—	0,1 мкГн...100 Гн	0...1000 Гн	0,01 мкГн/0,001 мкГн...1 кГн
Сопротивление	0,1 Ом...60 МОм	0,1 Ом...60 МОм	0...20 МОм	0,1 Ом...10 МОм

Читайте об измерении паразитных параметров и сортировке RLC-компонентов на www.eliks.ru в разделе "Решения"



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

Подписывайтесь на каналы aktakom:



НОВЫЕ МУЛЬТИМЕТРЫ С УНИКАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ!



Прецизионный TrueRMS мультиметр АММ-1219

- Высокая точность измерения (до 0,05%)
- Большой ЖК дисплей с подсветкой: 4 $\frac{1}{2}$ разряда, 20000 отсчетов
- Частотный диапазон TrueRMS измерения от 40 Гц до 1 кГц
- 11 измерительных функций
- Широкие функциональные возможности
- Регистратор данных до 10000 измерений во внутреннюю память
- Автоматический и ручной выбор диапазонов
- Бесконтактный датчик напряжения



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 отсчетов 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-1048

- Базовая погрешность 0,2%
- Измерение сопротивления изоляции до 2 ГОм
- Тестовое напряжение 50 В/ 100 В/ 250 В/ 500 В/ 1000 В
- Измерение частоты непрерывного и импульсного сигнала
- Измерение емкости до 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



Профессиональный мультиметр АМ-1061

- Большой ЖКИ дисплей: 3 $\frac{3}{4}$ разряда, высота цифр 23 мм
- Измерение постоянного и переменного напряжения до 1000 В
- Измерение истинных среднеквадратических значений
- До 8 измерительных функций



Мультиметр со встроенным фонариком АММ-1048

- ЖКИ 3 $\frac{3}{4}$ разрядов (4000 отсчетов)
- 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



лимов, П.Е. Эльясберг, А.Ф. Фомин, Ф.П. Тарасенко и др.

За рубежом Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки, П. Хьюбер, И. Вучков и Ф. Хампель [16–19] обратили внимание на нарушения условий применимости регрессионного анализа, для которого, как заметил Ю.П. Адлер, развитие вычислительной техники было путем «вверх по лестнице, ведущей вниз» [16]. «Совершенствовались ЭВМ и с каждым новым поколением рождались новые, более совершенные алгоритмы. Но всякий раз оказывалось, что никакие изощрения не позволяют получить единственный и однозначный ответ. Постепенно стало ясно, что в большинстве случаев регрессионная задача принадлежит к классу задач, которые математики называют *некорректно* поставленными. Так бесславно регрессионный анализ деградировал до *эвристического* метода, в котором решающую роль играют анализ остатков да здравый смысл интерпретатора» [16].

В этой ситуации Ф. Мостеллер и Дж. Тьюки назвали показатели неопределенности размытыми понятиями, ввели для них термин *индикация* (числовая сводка или указание меры положения — среднего, медианы и т.п.) и настоятельно требовали от статистиков учета двух обстоятельств: «*индикация* должна отличаться от анекдота тем, что к участию в ней допущено каждое наблюдение; она должна быть выражена таким образом, чтобы, по крайней мере, некоторые из тех, кто заинтересован в предмете, могли осмыслить ее интерпретацию» [16].

К 1990-му году дискуссия сосредоточилась на проблеме статистической идентификации погрешностей неадекватности для математических моделей сложных технических объектов, систем их управления и обеспечения эксплуатации в связи с катастрофическим феноменом 1985–1986 годов в авиационной, ракетно-космической и ядерно-энергетической технике [20, 21]. Среди причин синхронно возникших потоков массовых отказов сложных видов техники были обнаружены погрешности измерений, математические модели, программы и вероятностные расчеты на основе нормального закона. По мнению профессора П.В. Новицкого [22]: «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*. Реальные законы распределения погрешностей весьма разнообразны и часто очень далеки от нормального».

Но для GUM именно *нормальный закон, подход Байеса и метод Монте-Карло* были методической основой расчетов.

П.В. Новицкий отмечал и важность понятия *погрешности адекватности*: «задача выбора вида функциональной зависимости — задача не формализуемая», «*компактность*⁶ модели достигается удачным выбором элементарных функций, обеспечивающих хорошее приближение при малом их числе». Поэтому он определял погрешность адекватности как погрешность, возникающую «вследствие недостаточного соответствия аппроксимирующей функции всем особенностям экспериментальной кривой» [22].

Неадекватность рассматривалась и в МИ 2091–90 «ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования»:

2.2.1. ...погрешность, обусловленная несоответствием модели объекту измерений, не должна превышать 10% от предела допускаемой погрешности измерений;

2.2.2. Если выбранная модель не удовлетворяет требованиям п.2.2.1, то следует перейти к другой модели объекта измерений.

Согласно МИ 1967–89 «ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения»:

1.3.1. Измеряемая величина соответствует некоторой модели объекта измерений, принятой за адекватно отражающую свойства объекта, которые должны изучаться путем измерений. Между тем любая принятая модель практически лишь приближенно отражает свойства объекта измерений.

4.2.1. Погрешность, обусловленная различием между принятой моделью объекта измерений и той (неизвестной) моделью, которая адекватно отражала бы свойства объекта измерений, изучаемые путем измерений, и (или) различием между параметром (функционалом), более адекватно отражающим изучаемое свойство объекта измерений (п. 1.3.1).

Примечание. Способы определения методической погрешности измерений, обусловленной неадекватностью принятой модели объекта измерений, относятся к наименее развитым областям метрологии. Это объясняется практическим отсутствием формальных методов установления таких моделей объектов измерений, которые строго адекватны объектам и задачам измерений, поэтому определение данной методической погрешности измерений требует не только высокой квалификации, но также опыта и инженерной интуиции разработчиков МВИ.

В ходе дискуссии выяснилось, что выбор структуры модели все-таки формализован в *методе максимума компактности* (ММК), а характеристикой точности результата принята *функция*

⁶ Наиболее частыми ассоциациями к слову *компактность* в психолингвистических экспериментах оказались *размытость* и *неопределенность*.

компактности — эквивалент распределения погрешности неадекватности [23].

На этой основе с учетом данных анализа [20] причин катастрофического феномена 1985–1986 годов была подготовлена РМ–88 ВНИИМИСП «Методика назначения сроков очередной аттестации и поверки средств измерений высшей точности в приборостроении». Была создана универсальная программа «ММК–стат» [24], а позже разработаны программы «ММК–дин» для дифференциальных уравнений и «ММК–стат М» для многомерных моделей.

Нормативно этот этап развития теории измерительных задач был оформлен РРТ 507–98, где был введен ряд терминов:

4.1. *Измерительная задача* — задача установления количественного соответствия между физическим объектом и его математической моделью путем вычисления значений, измерения или воспроизведения физических величин на основе принятых шкал и узаконенных единиц в данных условиях с требуемой точностью.

4.44. *Погрешность (неадекватности) интерпретирующей модели* — разность величин, представляющих результаты измерений и соответствующие расчетные значения модели, параметры которой определены независимо от этих результатов измерений.

4.45. *Неопределенность* — свойство погрешности, выражающее невозможность построения ее невырожденной интерпретирующей модели как определенной величины.

В этих случаях для рассматриваемых величин используют *распределения вероятностей*.

4.85. *Схема перекрестного наблюдения погрешностей* — способ создания условий наблюдаемости погрешностей интерпретирующей модели путем использования только тех данных совместных измерений, которые не использовались для определения ее параметров.

4.86. *Правило сегментации* — правило деления выборки данных совместных измерений в схеме перекрестного наблюдения погрешностей на пробную (для наблюдения погрешностей аппроксимации) и контрольную (для наблюдения погрешностей экстраполяции) части в целях использования погрешностей экстраполяции в качестве погрешностей неадекватности интерпретирующей модели.

При последовательном выделении единичных значений выходной переменной имеет место схема «складного ножа», при делении выборки пополам — схема «группового учета аргументов», при случайном многократном делении — схема «бутстрепа», при неслучайном — схема «перекрестного наблюдения».

Определения *методов решения измерительных задач* даны в Р 50.2.004–2000 «ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимости между физическими величинами при

решении измерительных задач. Основные положения»:

5.1 Если по условиям измерительной задачи свойство объекта, выражаемое искомой переменной его модели, доступно сравнению с мерой соответствующей физической величины с требуемой точностью тем или иным способом (методом замещения, дополнения, дифференциальным и др.), то числовой результат такого сравнения округляют до разряда, соответствующего младшему разряду числового выражения пределов (границ) допускаемой при этом погрешности, с указанием этих пределов (границ) и доверительной вероятности. Такой метод решения измерительной задачи называют **методом прямого измерения**.

5.2. Если искомой в измерительной задаче является выходная переменная известной модели объекта, а измерениям доступны ее входные переменные, то в статическом случае задачу решают так: измеряют входные переменные, затем подставляют полученные данные в уравнение связи и вычисляют значение выходной переменной, округляя результат с учетом погрешностей измерений и неадекватности модели. Такой метод решения измерительной задачи называют **методом косвенного измерения**.

6.1 Структурно-параметрическая идентификация модели объекта измерений или идентификация интерпретирующей модели по выходной переменной предусматривает построение ее систематической составляющей (характеристики положения) и случайной составляющей (распределения погрешностей) как случайной функции входных переменных.

6.3 Идентификацию интерпретирующих моделей осуществляют по данным совместных измерений и вариантам структуры, которые задают моделью максимальной сложности (**метод совместных измерений**).

В Р 50.2.004–2000 была установлена классификация измерительных задач.

4.6 Измерительные задачи подразделяют:

- по направленности установления количественного соответствия между свойствами физического объекта и характеристиками его математической модели — на задачи идентификации и задачи воспроизведения;
- по типам используемых математических моделей — на динамические (операторные модели), статические (функциональные модели) и вероятностно-статистические задачи;
- по целям — на структурно-параметрические (по определению структуры и параметров) и размерностные (по определению переменных) задачи;
- по статусу — на метрологические (с применением эталонов) и прикладные (без применения эталонов) задачи.

Также в Р 50.2.004–2000 дана и клас-

сификация погрешностей, но на сегодняшний день интерес представляет только классификация погрешностей неадекватности, т.к. по форме представления, типу математического описания и форме области распределения классификации погрешностей измерений и неадекватности совпадают.

По источникам происхождения погрешности неадекватности разделяют на три группы: 1) **размерностные погрешности неадекватности** — погрешности данных для построения модели, погрешности округления и прерывания вычислений, погрешности операций с приближенными числами; 2) **параметрические погрешности неадекватности** — погрешности метода оценивания параметров и погрешности параметризации переменных; 3) **структурные погрешности неадекватности** — погрешности выбора структуры модели и вычислительной схемы.

В Приложении А Р 50.2.004–2000 был дан ряд математических результатов.

Теорема о модульном критерии: Если функция распределения $F_X(x)$ случайной переменной X такова, что $\lim_{x \rightarrow \infty} x \cdot F_X(x) = 0$, то для параметра θ справедливо

$$M|X - \theta| \equiv M(X - \theta) + 2 \int_{-\infty}^{\theta} F_X(x) dx.$$

Следствие. Это тождество минимизируется медианой, т.к.

$$\frac{\partial}{\partial \theta} M|X - \theta| = 2F_X(\theta) - 1 = 0 \text{ и}$$

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} M|X - \theta| = 2f_X(\theta) \geq 0.$$

Критерием идентификации плотности распределения вероятностей (ПРВ) $f_X(x)$ переменной X является максимум показателя ее воспроизводимости

$$\begin{aligned} \alpha_{S2} &\equiv \int_{-\infty}^{\infty} \inf_f \{f_{\Pi}(x), f_K(x)\} dx \equiv \\ &\equiv 1 - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |f_{\Pi}(x) - f_K(x)| dx, \quad (A.2) \end{aligned}$$

где $f_{\Pi}(x)$ и $f_K(x)$ — оценки ПРВ $f(x)$ на пробной и контрольной выборках схемы перекрестного наблюдения (**лемма о каппа-критерии**).

Если равенство ПРВ $f_{\Pi}(x)$ и $f_K(x)$ случайной переменной X в схеме перекрестного наблюдения достигается в единственной точке x_0 , то показатель воспроизводимости

$$\alpha_{S2}(x_0) \equiv 1 - \sup_F |F_{\Pi}(x) - F_K(x)|,$$

где $F_{\Pi}(x)$ и $F_K(x)$ — функции распределения вероятностей.

Следствие. Корням $x_m, m = \overline{1, M}$, уравнения $f_{\Pi}(x) = f_K(x)$ соответствуют экстремумы разности $D(x) = F_{\Pi}(x) - F_K(x)$, а показатель воспроизводимости принимает вид

$$\alpha_{S2} \equiv 1 - \sum_{m=1}^M (-1)^{m-1} \cdot D(x_m), D(x_1) > 0.$$

МИ 2916–2005 «ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач» даны термины

3.2.2 **вероятность согласия** распределенных вероятностей: *площадь пересечения графиков ПРВ $f_1(x)$ и $f_2(x)$:*

$$\alpha_{1,2} \equiv 1 - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |f_1(x) - f_2(x)| dx.$$

Примечание — При единственной точке пересечения графиков ПРВ вероятность согласия связана с расстоянием Колмогорова D_N тождеством $\alpha \equiv 1 - D_N$.

3.2.16 **неопределенная величина**: *величина, значение которой не определено, но может быть охарактеризовано распределением вероятностей на множестве значений или только множеством значений.*

Примечание: Характеризуется вероятностной неопределенностью, в т.ч. вероятностной неопределенностью, эквивалентной статистической неопределенности. Неисключенную систематическую погрешность описывают как неопределенную величину.

3.2.29 **случайная величина**: *наблюдаемая величина, принимающая в опыте непредсказуемые значения.*

Примечание — Характеризуется статистической неопределенностью.

4.1.3 Целью полной идентификации согласно Р 50.2.004 является нахождение свертки распределений наблюдаемой или случайной $f_{\Xi}(\xi)$ и ненаблюдаемой или неисключенной систематической $f_{\Psi}(\psi)$ составляющих искомой величины

$$\begin{aligned} f_X(x) &= \int_{-\infty}^{+\infty} f_{\Xi}(x - \psi) \cdot f_{\Psi}(\psi) d\psi \equiv \\ &\equiv f_{\Xi}(\psi) * f_{\Psi}(\xi) \equiv f_{\Xi\Psi}(x). \end{aligned}$$

Для функции распределения $F_{\Xi}(\xi)$ и равномерной ПРВ на интервале $[-h, h]$ эта свертка согласно формуле обращения [25] приводится к конечному интервалу $[a, b]$ и принимает вид

$$f_{XR}(x) = \frac{F(x-a) - F(x-b)}{b-a}, \quad (1)$$

где интервал $[a, b]$, полученный по статистиком Смирнова для разности статистической (эмпирической) функции распределения и интерпретирующей функции распределения $F_X(x)$. Свертку (1) можно интерпретировать как распределение суммы случайной величины с функцией распределения $F_X(x)$ и ее погрешности неадекватности, равномерно распределенной на интервале $[a, b]$. Свертка (1) способствовала разработке программ «ММИ-поверка» для оценивания достоверности поверки средств измерений.

Примечательно, что соответствующими выражению вероятности согласия через расстояние по вариации Феллера [26] оказались только статистики критерия Колмогорова и критерия однородности Смирнова.

КАЗУСЫ И ПРОБЛЕМЫ

Следующим казусом для неопределенности GUM стали МИ 3281–2010 «ГСИ. Оценка результатов измерений — Пояснения к «Руководству по выражению неопределенности измерений»

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

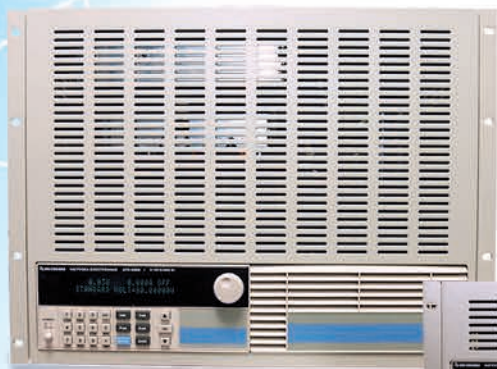
БОЛЬШЕ ИНФОРМАЦИИ
НА www.eliks.ru



Профессиональные программируемые нагрузки постоянного тока АКТАКОМ

АКТАКОМ

www.aktakom.ru



ATH-8360
ATH-8365
ATH-8366



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
- Вход внешнего запуска
- Режим тестирования батарей
- Встроенные вольтметр и амперметр
- Защита от перегрузки по напряжению, по току, по мощности, переплюсовки и перегрева
- Дистанционное управление от персонального компьютера

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	ATH-8366
Мощность	1800 Вт	1800 Вт	2400 Вт	2400 Вт	3600 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	0...480 А
Входное напряжение	0...150 В	0...500 В	0...150 В	0...500 В	0...150 В	0...500 В	0...150 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

как версия одноименного Руководства G 1-104 рабочей группы № 1 Объединенного комитета по подготовке руководств в метрологии (JCGM) на основе заключений организаций-членов JCGM». И было «пояснено»:

7.2.3. Установленные GUM методы оценки неопределенности применимы при определении достоверных значений неопределенности. Если измерительная функция исходных величин является линейной, а распределение вероятности для значений этих величин является распределением Гаусса, методы оценки неопределенности, приведенные в GUM, позволяют получить максимально точные результаты оценки неопределенности измерений. Практическое использование данного метода возможно даже в случае несоблюдения указанных условий.

7.2.4. В некоторых случаях использование методов оценки неопределенности, приведенных в GUM, не представляется возможным, например, когда:

- измерительная функция не является линейной;
- распределение вероятности для значений исходных величин является асимметричным;
- неопределенности $[c_1]u(x_1), \dots, [c_n]u(x_n)$ различаются по степени влияния;
- распределение вероятности является либо асимметричным, либо t-распределением, но не распределением Гаусса.

Не всегда можно предвидеть возникновение подобных проблем.

Строго говоря, никогда.

А из указанных «случаев несоблюдения» а)–д) как минимум два имеют место всегда.

Казусом 2013 года был ГОСТ Р 8.820–2013 «ГСИ. Метрологическое обеспечение. Основные положения», указавший, что «...следует 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». ГОСТ Р 8.820–2013 стал символом «триединства измерений», но фактически это выглядело просьбой повысить точность хоть каким-нибудь способом.

Таким способом попытался стать проект JCGM 100:201X (CD) «Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement» — проект ревизии GUM.

В проекте расширительное толкование неопределенности свелось к расширению расширенной неопределенности любой ценой, от расширяющего сомножителя $[(n-3)/(n-4)]^{1/2}$ до неравенства Бьенме–Чебышёва. Но второе переопределение терминов не состоялось из-за непомерного объема внедрения GUM, подлежащих изменению.

В конце 2016 г. в [27] был поднят вопрос о калибровке в качестве альтернативы поверке средств измерений в связи с тем, что «практически все калибровки

средств измерений выполнялись по действующим методикам поверки». При этом были указаны «составляющие неопределенности калибровки, которые не учитываются при поверке средств измерений»:

- 1) связанные с неопределенностями калибровки эталонов;
- 2) со временем, прошедшим после калибровки эталонов;
- 3) с не учитываемым влиянием внешних условий при калибровке».

По мнению авторов доклада [27], «учет этих влияющих факторов может осуществляться путем уменьшения допускаемой разности показаний средства измерений и эталона. Это позволит повысить достоверность решений о соответствии средства измерения и уменьшить риск применения непригодных средств измерений по сравнению с результатами поверки. Следует иметь в виду, что внедрение калибровки потребует значительного переходного периода для наработки методического аппарата и обучения специалистов. Таким образом, постановка вопроса о рассмотрении калибровки в качестве альтернативы поверке средств измерений не только обеспечит гармонизацию отечественных и зарубежных методик подтверждения соответствия, но и позволит рационально повысить достоверность измерительной информации в прикладных областях».

Предложенный учет трех составляющих неопределенности результатов калибровки требует построения свертки объективных оценок соответствующих распределений вероятностей, чего формат представления неопределенности измерения не позволяет, т.к. вероятность охвата и доверительная вероятность, устанавливаемая государственными поверочными схемами, — принципиально не одно и то же. А «третий фактор» требует использования при калибровке испытательного оборудования для воспроизведения «заданных условий», упомянутых VIM-3 [32]. Проблему же неадекватности «международный стандарт» не заметил, а Рабочая группа не упомянула.

В то же время уменьшение допускаемой разности показаний средства измерений и эталона при калибровке технически бессмысленно, так как уменьшить можно только *разность* исправленного калибровкой расчетного значения результата и показания эталона за счет «детализации» математической модели диаграммы калибровки. Но статистическая проверка гипотез, необходимая для поиска оптимальной «детализации», в GUM отсутствует.

Но уже на следующий год Руководство Guide OIML G 19:2017 «Роль неопределенности измерений в решениях об оценке соответствия в законодательной метрологии» заявило: «Включение понятия неопределенности измерений в принятие решений о соответствии ис-

пытаний в рамках законодательной метрологии требует иного мышления и других рассуждений о таких решениях. В таком вероятностном подходе, понятно, что следует учитывать определенные риски, указанные в ISO/IEC 17025:2005. Одним из способов рассмотрения этого является построение функции, известной как функция плотности вероятностей (PDF), которая представляет степень веры (уровень доверия) о знании истинного значения измеряемой величины».

Еще была предложена «новая» концепция вероятности:

«...PDF кодирует всю известную информацию об измеряемой величине, включая как систематические, так и случайные воздействия. В то время как кривая, подходящая для гистограммы только случайных колебаний, часто имеет гауссову форму, PDF не является подходящей для гистограммы, она скорее содержит дополнительную информацию, поступающую от систематических воздействий при измерениях». Но «несмотря на то, что вместо понятий *погрешность* и *анализ погрешности* применительно к измерениям теперь используется понятие *неопределенность*, термин и понятие *погрешность* по-прежнему применимы при поверке средств и систем измерений».

Поэтому напряженную дискуссию начала 2000-х годов между противниками и сторонниками концепции неопределенности можно считать ничьей.

2017-й год отметился еще одним казусом.

17 апреля Росаккредитация выпустила «Руководство по оформлению областей аккредитации калибровочных лабораторий с учетом неопределенности» с примером заполнения таблицы области аккредитации в Приложении.

В примечаниях к таблице было указано следующее.

* Приводятся минимальные значения расширенной неопределенности при калибровке, обеспечиваемые, полученные путем умножения стандартной неопределенности на коэффициент охвата $k=2$, соответствующий уровню доверия, приблизительно равному 95% при допущении нормального распределения. Оценивание неопределенности проведено в соответствии с «Руководством по выражению неопределенности измерения» (GUM).

** Показатели точности калибруемых средств измерений указываются с учетом показателей точности используемых эталонов на основании рекомендаций соответствующих поверочных схем.

Во-первых, к этому времени перевод GUM [8] был стандартизован как ГОСТ Р 54500.3–2011 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения».

Во-вторых, не было каких-либо ука-

заний о статистическом контроле соотношений, получаемых при калибровке, т.к. проблема неадекватности в GUM как проблема дефинициальной неопределенности так и не была решена.

В-третьих, смысл примечания «**» так и остался не ясным.

В итоге «руководство» стало «призывом» под угрозой отказа в утверждении области аккредитации лаборатории.

1 сентября 2018 года ГОСТ Р 54500.3–2011 был заменен одноименным ГОСТ 34100.3–2017 с Приложением ДА, содержащим то ли дополнительные замечания к межгосударственным стандартам, вводящим международные руководства в области неопределенности измерений, то ли оправдания.

ДА.1.6 Введение в метрологическую практику концепции неопределенности измерения «Руководством по выражению неопределенности измерения (GUM)» явилось попыткой дать математически строгий единый подход к оценке составляющих неопределенности, обусловленных как случайными, так и систематическими факторами, при заданных условиях измерительной задачи. Однако GUM не смог в полной мере решить эту задачу, он появился как внутренне противоречивый документ, использующий одновременно частотную и байесовскую концепции вероятности. Единая процедура вывода, наиболее корректно и последовательно описанная в JCGM 101:2008, основана на отказе от частотной интерпретации вероятности при оценке точности измерения в пользу субъективного представления о вероятности. Если в частотном подходе понятие случайной переменной использовано для описания результата/погрешности измерения, то в субъективном подходе случайная переменная использована для описания возможных значений измеряемой величины. При этом получение распределения вероятностей, ассоциированного с измеряемой величиной, осуществляется на **основе**:

- составления для данной измерительной задачи модели измерений, связывающей измеряемую величину (выходную величину) со всеми **значимыми** влияющими величинами (**входными величинами модели**);

- **приписывания входным величинам распределений вероятностей** (в общем случае совместных) исходя из имеющейся информации об этих величинах и их наблюдений (при наличии);

- преобразования совместного распределения входных величин в распределение выходной величины согласно **правилам преобразования случайных переменных (!)**.

В отличие от теории погрешностей (на основе частотного подхода) концепция неопределенности (на основе субъективной вероятности) **не имеет принципиальных ограничений в получении**

окончательного результата измерения в виде функции распределения, ассоциированной с измеряемой величиной, что позволяет вычислить интервал вероятности (охвата) для любой заданной вероятности. Однако во многих измерительных задачах **аналитическое решение задачи преобразования плотностей вероятностей невозможно**. В этом случае точное решение (в пределах точности вычислений) всегда может быть получено числовым методом Монте-Карло (см. JCGM 101:2008).

Но если так все прекрасно обстоит с распределениями вероятностей, то зачем нужно было определять **неопределенность** через параметр рассеяния?!

Причина — в **основе** ассоциирования распределения вероятностей с измеряемой величиной.

Во-первых, в GUM статистической проверки гипотез нет, и **значимость** приобретает субъективный характер. Пример из теории планирования эксперимента — адекватность по критерию Фишера.

Во-вторых, экспертное **приписывание входным величинам распределений вероятностей** действительно принципиально не исключает возможность угадывания, как это было указано в ISO/IEC 31010:2009 причиной неприменимости GUM для объективного оценивания риска.

В-третьих, **правила преобразования случайных переменных** в GUM не применяются.

В-четвертых, утверждение о **невозможности аналитического решения** отвлекает внимание от факта использования в GUM только функций распределения Гаусса и равномерного распределения.

В-пятых, неадекватность принятия этих функций распределения в GUM не учтена.

В-шестых, что может дать метод Монте-Карло по неадекватной функции распределения?

В-седьмых, нормы доверительной вероятности, установленные государственными поверочными схемами, выше 0,9.

ДА.1.11 В рамках байесовского подхода решением измерительной задачи в общем случае является распределение, ассоциированное с измеряемой величиной, которое в общем случае индивидуально для каждой измерительной задачи и в наиболее полном виде описывает всю собранную при решении данной задачи информацию. В целях сокращения объема передаваемых данных и удобства их хранения в документах, разрабатываемых JCGM/WG 1, основным способом представления результата измерения принят интервал охвата (или область охвата в случае многомерной измеряемой величины). При этом, однако, следует помнить, что за область охвата всегда стоит распределение соответствующей случайной переменной и, главное,

во многих практических приложениях результатов проведенного измерения необходимо знать не интервал охвата, а распределение, из которого оно получено. Поэтому, как правило, желательно сохранять результат измерения в **виде распределения вероятностей случайной переменной, ассоциированной с измеряемой величиной**.

Это положение можно было бы считать признанием **неопределенности в широком смысле**, если бы **распределение вероятностей, ассоциированное с измеряемой величиной** не было бы распределением Гаусса.

ДА.2.3 Одним из «рудиментов» частотного подхода является предложение использовать в качестве стандартной неопределенности корень квадратный из выборочной дисперсии (точечной оценки характеристики масштаба распределения). Эта оценка не соответствует байесовскому выводу. Так, в типичном случае, рассматриваемом в GUM:1993, когда имеют место повторные наблюдения из нормального распределения, предлагается соответствующую входную величину описывать масштабированным смещенным t -распределением, однако выборочная дисперсия отличается от дисперсии масштабированного смещенного t -распределения на множитель $(n-1)/(n-3)$, где n — число наблюдений.

ДА.2.7 Однако, учитывая внутреннее противоречия, присущие GUM:1993, и его несоответствие более поздним дополнениям к этому документу, в частности JCGM 101:2008, в котором концепция неопределенности измерения изложена наиболее полно и строго, JCGM/WG 1 наметила его пересмотр.

Как известно, пересмотр до сих пор так и не состоялся.

КАЗУС 2019–2020 ГОДОВ

Приказом Росстандарта от 15 июля 2019 года № 385-ст ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» введен в действие с 1 сентября 2019 года с новыми для идентичных переводов международных стандартов словами. Полной неожиданностью для GUM стали новые слова в новых требованиях. И главное в них — учет риска ложноположительных и ложноотрицательных решений, а также учет риска статистических предположений. То есть то, чего в GUM никогда не было.

Ранее, в июне 2019 года, появился стандарт ISO 31010:2019 «Risk management — Risk assessment techniques» с новой интерпретацией подхода Байеса и метода Монте-Карло. И уже 17 декабря 2019 года Приказом Росстандарта № 1405-ст с 1 марта 2020 года ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011 был заменен на ГОСТ Р 58771–2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска», в котором радикальные оценки о неприменимости подхода Байеса и метода

Монте-Карло при расчетах риска были удалены, а недостатки переименованы в ограничения.

Главное ограничение на применение GUM теперь состоит в том, что подход Байеса «может производить следующие распределения, которые сильно зависят от выбора предшествующего».

Для метода Монте-Карло: «использование метода зависит от возможности представления неопределенностей в формате, пригодном для достоверного распределения», «может быть сложно создать модель, адекватно представляющую результаты», «большие и комплексные модели могут быть сложными для разработчика и могут затруднять взаимодействие причастных сторон в рамках процесса» и «метод имеет тенденцию занижать риски с высокой степенью последствий/низкой вероятностью». Наконец, «анализ Монте-Карло предотвращает придание чрезмерного веса маловероятным событиям с высокой степенью последствий, признавая, что такие результаты вряд ли будут возникать одновременно в портфеле рисков. Однако это также приводит к исключению из рассмотрения всех экстремальных событий, особенно в тех случаях, когда рассматривается большой портфель. Это может стать причиной некорректной оценки».

Неожиданностью для GUM стало введение с 1 января 2020 года вместо ГОСТ Р 50779.10–2000 (ИСО 3534.1-93) «Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения» ГОСТ Р ИСО 3534-1–2019, в котором слово *неопределенность* в алфавитном указателе терминов отсутствовало и упоминалось четыре раза в следующем контексте:

1. Определения, представленные в настоящем стандарте, являются достаточными и имеют необходимый уровень математического представления, что дает возможность разработчикам стандартов на статистические методы избежать **неопределенности** в представлении информации.
2. Ошибка может включать составляющие, связанные с отбором выборки, *неопределенностью* результатов измерений, округлением результатов вычислений и др.
3. **Вероятностное распределение описывает вероятностные свойства неопределенности результата полностью.**
4. Бета-распределение очень изменчиво, его функция плотности распределения принимает разнообразные формы (уни-модальную, J-образную, U-образную). Данное распределение используют как модель *неопределенности*, связанную с долями.

В первом случае слово *неопределенность* термином не является, во втором — речь идет о составляющих погрешности неадекватности. Третий случай — формулировка *неопределенности* в широком смысле, а четвертый случай

прямо связан с распределением вероятностей:

1.26 **толерантный интервал** (en *statistical tolerance interval*): Интервал, определяемый по случайной выборке таким образом, что с заданным уровнем доверия он накрывает, по меньшей мере, установленную долю генеральной совокупности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Что показал 20-летний опыт сосуществования описаний *неопределенности* в виде распределения вероятностей и в виде параметра рассеяния?

Казалось бы, более сложный композиционный подход к оцениванию точности решения измерительных задач, чем моментный подход GUM, должен был сопровождаться большим числом проблем и казусов.

И как же так получилось, что «Руководство по выражению неопределенности измерения» квалифицировало само себя в качестве идеального метода измерения [8, п.0.4]?

0.4 Идеальный метод для оценки и выражения неопределенности результата измерения должен быть *универсальным*: метод должен быть применим ко всем видам измерений и всем типам входящих данных, используемых при измерениях;

Величина, непосредственно используемая для выражения неопределенности, должна быть

- *внутренне согласующейся*: она должна непосредственно выводиться из компонентов, составляющих ее, а также быть независимой от того, как эти компоненты группируются, и от деления компонентов на подкомпоненты;

- *допускающей передачу*: должна существовать возможность непосредственного использования неопределенности, оцененной для одного результата, как составляющей при оценке неопределенности другого измерения, в котором используется первый результат.

Далее, при многих промышленных и коммерческих применениях, а также в области здравоохранения и безопасности часто необходимо давать результат измерения с указанием интервала, в пределах которого, можно предполагать, находится **большая часть распределения значений**, которые обоснованно могут быть приписаны величине, подлежащей измерению. Таким образом, идеальный метод для оценки и выражения неопределенности измерения должен представлять возможность указать такой интервал, в частности, **интервал с вероятностью охвата или уровнем доверия, который реально соответствует требуемому.**

Далее в [8] было отмечено:

0.5 Этот руководящий документ базируется на методе, приведенном в Рекомендации INC-1 (1980) Рабочей группы по составлению отчета о неопределенностях» Rapport BIMP 80/3 «Report on

the BIMP enquiry of the error statements. Эта рекомендация, обоснование которой обсуждается в Приложении Е, соответствует всем требованиям, указанным выше.

Так как речь шла о **распределении**, а в Приложении Е содержалось уточнение «**Е.3.1** Предположим, что выходная величина $z=f(w_1, w_2, \dots, w_N)$ зависит от N входных величин w_1, w_2, \dots, w_N , и что каждая w_i описывается соответствующим распределением вероятностей», то естественно предположить, что и далее речь будет идти о распределении вероятностей выходной переменной уравнения метода косвенного измерения из «Руководства по выражению неопределенности измерения». Однако далее последовало «Разложение f вокруг ожидаемой w_i , $E(w_i) \equiv \mu_i$ в ряд Тейлора первого порядка дает для малых отклонений z от μ_z через малые отклонения w_i от μ_i следующее выражение:

$$z - \mu_z = \sum_{i=1}^N \frac{\partial f}{\partial w_i} (w_i - \mu_i), \quad (\text{E.1})$$

где предполагается, что всеми членами более высокого порядка можно пренебречь и $\mu_z=f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$. Тогда квадрат отклонения $z-\mu_z$ дается формулой», которую «уместно назвать законом распределения неопределенности, как и сделано в этом *Руководстве*».

Задачу, которая начала формулироваться в п.Е.3.1 [8], еще в 1834–1841 годах решил К. Якоби [1] композицией распределений входных переменных (для линейных уравнений композиция вырождается в свертку). Поэтому оценивание точности решений измерительных задач на основе распределений вероятностей получило название «композиционный подход».

Оценивание же точности решений измерительных задач на основе предложенного К. Пирсоном в 1894 году метода моментов [3], среди которых популярными были математическое ожидание и дисперсия, названо моментным подходом.

И вот теперь выходит, что к идеальному методу оценивания и выражения неопределенности для результатов решения измерительных задач моментный подход *Руководства* имеет, мягко говоря, весьма приблизительное отношение.

Напомним, что для исключения путаницы в метрологических приложениях еще в 2006 году было предложено использовать понятие «**неопределенность в широком смысле**» для композиционного подхода и понятие «**неопределенность в узком смысле**» для моментного (параметрического) подхода [28–30], а поводом для этого стал п.2.1.1 [8].

2.2.1 Слово «неопределенность» означает сомнение и, таким образом, в своем самом широком смысле «неопределенность измерения» означает сомнение относительно достоверности

результата измерения. Из-за отсутствия различных слов для этого общего понятия неопределенности и специальных величин, которые дают количественные меры этого понятия, как, например, стандартное отклонение, необходимо использовать слово «неопределенность» в этих **двух различных смыслах**.

Однако «различных слов» в англоязычной научной литературе нашлось три [31]: 1) *uncertainty* — *неадекватность* (аналитического описания математической моделью физической величины измеряемого свойства); 2) *indeterminateness* — *недетерминируемость* (проявленного свойства), 3) *indeterminacy* — *влияние* (средства измерений на измеряемое свойство).

В. Вёгер, Б. Зиберт, К. Зоммер (Физико-технический институт Германии), М. Кокс, П. Харрис (Национальная физическая лаборатория Великобритании), В.П. Кузнецов (ВНИИМС) и автор на семинарах во ВНИИМ имени Д.И. Менделеева пришли к единому мнению. В качестве количественной меры *неопределенности в широком смысле* следует использовать действительно общепризнанную количественную меру — *probability distribution* или *распределение вероятностей* [30].

Это не снимает общей проблемы всех подходов — идентификации апостериорных распределений вероятностей.

Что же изменилось с выделением теории измерительных задач из теории измерений?

Прежде всего, изменилось представление об измерительной задаче. Теперь это, как и должно быть, физико-математическая задача, для решения которой необходимо планировать получение исходных данных путем измерений. Из т.н. «видов измерений» методами решения измерительных задач по математическим признакам и целям стали метод прямого измерения, метод многократных измерений, метод косвенного измерения, метод совокупных измерений и метод совместных измерений. Остальные «измерения» вписались в классификацию измерительных задач, и размывания границ не произошло.

ЛИТЕРАТУРА

- Jacobi C.G.J. De Determinantibus functionalibus // Journal für reine und angewandte Mathematik. 1841, Bd. 22. S. 319–359.
- International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms. VIM. 2nd ed. 1993.
- Pearson K. Contributions to the Mathematical Theory of Evolution // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1894, v. A, p. 71–110.
- Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. ISO, Switzerland, 1993.

- Толковый словарь русского языка. Под ред. проф. Д.Н. Ушакова. В 4-х т. М.: ОГИЗ, 1935.
- Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Неадекватность и достоверность в метрологии // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2020. № 2. С. 32–38.
- Лебег Г. Об измерении величин. Перевод с фр. О.И. Кисловской-Карской. Под ред. и с предисловием А.Н. Колмогорова. М.: Госучпедгиз, 1938.
- Руководство по выражению неопределенности измерения. Пер. с англ. Науч. ред. проф. В.А. Слаев. СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999.
- Левин С.Ф. Метрология. Математическая статистика. Легенды и мифы 20-го века: Легенда о неопределенности // Партнеры и конкуренты. 2001. № 1. С. 13–25.
- International Vocabulary of Metrology — Basic and General Concepts and Associated Terms. VIM. 3rd ed. 2007.
- Ehrlich Ch., Dybkaer R., Wöger W. Evolution of philosophy and description of measurement (preliminary rationale for VIM3) // Accreditation and Quality Assurance, 2007, v. 12, p. 201–218.
- Эрлих Ч., Дибкаер Р., Вёгер В. Эволюция философии и трактовки понятия «измерение» // Главный метролог. 2016. № 1. С. 11–30.
- Левин С.Ф. Дефинициальная неопределенность и погрешность неадекватности // Измерительная техника. 2019. № 11. С. 7–17.
- Леонтьев А.Н., Леонтьев А.А., Супрун А.Е. и др. Основы теории речевой деятельности. М.: Наука, 1974.
- Вопросы кибернетики, ВК-94: Статистические методы в теории обеспечения эксплуатации. Под ред. С.Ф. Левина. М.: АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1982.
- Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. Пер. с англ. Ю.Н. Благовещенского и Б.Л. Розовского под ред. и с предисловием Ю.П. Адлера. М.: Финансы и статистика, 1982.
- Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1987.
- Хьюбер П. Робастность в статистике. М.: Мир, 1984.
- Хампель Ф., Ронchetti Э., Рауссей П., Штаэль В. Робастность в статистике: Подход на основе функций влияния. М.: Мир, 1989.
- Гарантированность программ обеспечения эксплуатации техники. Методические рекомендации. К.: Знание, 1989.
- 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. 21–25.
- Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат (Ленингр. отделение), 1985.
- Левин С.Ф. Статистический анализ систем обеспечения эксплуатации технических объектов // Вопросы кибернетики, ВК-94. Статистические методы в теории обеспечения эксплуатации. М.: АН СССР, НСК, 1982. С. 105–122.
- Левин С.Ф., Блинов А.П. Научно-методическое обеспечение гарантированности решения метрологических задач вероятностно-статистическими методами // Измерительная техника. 1988. № 12. С. 5–8.
- Lévy P. Calcul des probabilités. Paris: Gauthier-Villars, 1925.
- Фёллер В. Введение в теорию вероятностей. Т. 2. Пер. со 2-го англ. изд. Ю.В. Прохорова. М.: Мир, 1984.
- Гаврилов Б.М. и др. Развитие деятельности по калибровке средств измерений. Доклад рабочей группы Межотраслевого совета по прикладной метрологии и приборостроению РСНП. Под ред. А.С. Кривова. М.: РСНП, 2016.
- Левин С.Ф. Неопределенность результатов решения измерительных задач в широком и узком смыслах // Материалы Международного научно-технического семинара «Математическая, статистическая и компьютерная поддержка качества измерений». 28–30.06 2006. Санкт-Петербург: ВНИИМ, КООМЕТ, 2006. С. 48, 50.
- Левин С.Ф. Неопределенность результатов решения измерительных задач в широком и узком смысле // Метрология. 2006. № 9. С. 3–24.
- Левин С.Ф. Неопределенность в узком и широком смыслах результатов поверки средств измерений // Измерительная техника. 2007. № 9. С. 15–19.
- Физическая энциклопедия. Т. 3. М.: Большая Российская энциклопедия, 1992. ☞

Word «uncertainty» means doubt and thus, globally speaking, «uncertainty of measurement» means doubt about the validity of measurement result. Due to the lack of different words for this general concept of uncertainty and special values that give quantitative measures of this concept, such as standard deviation, it is necessary to use the word «uncertainty» in these two different senses. Find more details in the present article by Professor Levin A.

ПОРТАТИВНЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

АКТАКОМ
www.aktakom.ru

СЕРИЯ ADS-204X

Цветной ЖК дисплей
3,5" (320×240 точек)

Пластиковая оболочка
разъёмов BNC для
безопасности измерений

Отдельные
входы мультиметра

Выход для калибровки
пробников 3,3 В, 1 кГц

Интерфейс USB
для связи с ПК
и зарядки батарей



**3 прибора
в 1 корпусе**

Осциллограф

- 2 канала
- Полоса пропускания 40 МГц (ADS-2044, ADS-2045), 70 МГц (ADS-2046, ADS-2047) и 100 МГц (ADS-2048, ADS-2049)
- Частота дискретизации до 500 Мвыб/с
- Скорость захвата осциллограмм 10000 осц/с
- Максимальная глубина записи 8 К точек
- Вертикальное разрешение 8 бит
- Курсорные и автоматические измерения

Мультиметр

- TrueRMS
- 4¹/₂ разряда, 20000 отсчетов
- Измерение напряжения постоянного и переменного тока, постоянного и переменного тока, сопротивления, ёмкости, тестирование диодов, прозвонка цепи

Генератор сигналов (ADS-2045, ADS-2047, ADS-2049)

- Диапазон частот 0,1 Гц ... 25 МГц
- 4 основных + 8 специальных форм сигнала
- Вертикальное разрешение 14 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



Генераторы сигналов



Источники питания



Анализаторы спектра

Новые комбинированные цифровые осциллографы



Включены в Госреестр до 2026 года



Система коммутации и сбора данных

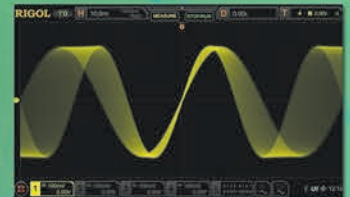


Цифровые мультиметры



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

