

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Test & Measuring Instruments and Systems

август 2020

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ НАГРУЗКИ

Мощный инструмент
для испытания
источников питания



АКТАКОМ
ТОЧНО | НАДЕЖНО | ДОСТУПНО



**AEL-8410, AEL-8415, AEL-8424
AEL-8430, AEL-8440, AEL-8450**

**20 лет с Вами
ваш АКТАКОМ!**

- Мощность до 5000 Вт
- Входное напряжение до 240 В, ток до 260 А
- Динамическое и импульсное тестирование
- Автоматическое тестирование



ТОКОВЫЕ КЛЕЩИ превосходный выбор



АКТАКОМ
ТОЧНО | НАДЕЖНО | ДОСТУПНО

www.aktakom.ru

@aktakom

АКТАКОМ



АТК-2103

Измерение токов до 2000 А

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



АСМ-2311

Большой охват магнитопровода

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



АСМ-2368

Универсальность и многофункциональность

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



АТК-2200

Измерение мощности в одно- и трехфазных сетях до 1200 кВт

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



АТК-2021В

Регистрация малых токов

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



АТК-2011

Токосные клещи для измерения больших токов

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



АСМ-4012

Измерение сопротивления заземления от 0,001 Ом

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



АТК-1010

Бюджетный вариант токовых клещей-мультиметров

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



АСМ-1803

Токосные 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



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.

Отпечатано в типографии

ООО «Пионер».

© «КИПиС», 2020 Цена свободная

Уважаемые читатели!

В следующем году нашему журналу исполнится 25 лет! За последние четверть века, приборы стали совершеннее, функциональнее и умнее, а пользователи более профессиональными. В то же время, с сожалением, можно констатировать, что очень поменялась ситуация, связанная с метрологией. Разумеется, принципы метрологии, как науки, остались неизменными, но практическая метрология изменилась, как и, в целом, бизнес-среда в нашей стране. Попробуйте продлить аккредитацию своей метрологической службы или просто включить какую-либо новинку в ГосРеестр — вас ждет довольно сложный квест, проходя который, вы столкнетесь с «непреодолимыми трудностями», удивительной глупости требованиями и даже, кое-где, с откровенным вымогательством.

Но не будем о грустном, почитайте, например, статью «Мультиметр-калибратор процессов АКТАКОМ АМ-7113». Этот универсальный прибор с превосходными техническими характеристиками, сочетающий в себе уникальную функциональность, низкую погрешность воспроизводимого сигнала и весьма демократичную цену, станет незаменимым для инженеров и специалистов, работающих «в поле».

Исследователи, ученые и инженеры сталкиваются с общими сложностями при внесении в отчёты точных электрических параметров таких полупроводниковых приборов, как специальные полевые нанотранзисторы. Более того, иногда им приходится доказывать, что они действительно способны контролировать эти параметры простым и воспроизводимым способом. Статья Андреа Винчи, Tektronix/Keithley, предлагает «Решение проблемы высокой ёмкости соединений измерительной схемы при тестировании маломощных МОП-транзисторов».

Значимость методов и средств обеспечения ЭМС ППМ, а также измерения её показателей в будущем будет только возрастать, а повышение общего объёма испытаний требует тщательной выверки подходов к их проведению и их разумной оптимизации. Об этом подробнее можно прочитать в статье «Измерения некоторых характеристик ЭМС при тестировании приёмно-передающих модулей» под авторством: Лемешко Н.В., Богаченков Д.А., Рахманов И.М., Rohde&Schwarz.

Статья профессора Левина В.Ф. «Математическая теория измерительных задач: Приложение. «Космический толчок» или ранговая инверсия — причина «тупика» в космологии» продолжает обсуждение проблем, связанных с «метрологическим и научным тупиком» в задаче калибровки, математический аппарат решения которой является общим для высокоточных средств измерений в метрологии и для шкал расстояний в космологии.

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

С уважением, Татьяна Афонская

**Dear readers!**

Next year our magazine will celebrate its 25th anniversary! Over the past quarter-century devices have become more perfect, more functional and smarter and users have become more professional. At the same time, with regret, it can be stated that the situation connected with metrology has changed a lot. Of course the principles of metrology as a science have remained unchanged but practical metrology has changed as well as the business environment in our country in general. Try to prolong the accreditation of your metrological service or simply to include any novelty into the State Register and you will face a very difficult quest and while passing it you will encounter «insurmountable difficulties», silly requirements and sometimes even extortion.

But let's stop thinking about sad things. We recommend you to read, for example, article «AKTAKOM AM-7113 multimeter-process calibrator». This general purpose device, which has excellent technical characteristics, combines unique functionality, low error of the reproduced signal and an affordable price, will become indispensable for engineers and specialists who work in the field.

Researchers, scientists and engineers face the common challenges when reporting the exact electrical parameters of semiconductor devices such as special field nanotransistors. Moreover sometimes they have to prove that they are indeed able to control these parameters in a simple and reproducible way. Article by Andrea Vinci, Tektronix/Keithley, informs of «MOSFETs characterization in the low power range: overcoming test connection challenges due to high capacitances».

The importance of methods and means of ensuring EMC transceiver modules as well as measuring its indicators in the future will only increase. And the increase in the total volume of tests requires careful verification of approaches to their implementation and their reasonable optimization. You can read more about this in article «Measurements of some EMC characteristics when testing the transceiver modules» by N. Lemeshko, D. Bogachenkov, I. Rakhmanov, Rohde & Schwarz.

Article by Professor S. Levin «Mathematical theory of measurement problems: applications «Cosmically jerk» or rang inversion — the reason for «dead end» in cosmology» continues the discussion of the problems associated with the «metrological and scientific dead end» in the calibration problem which has the common mathematical apparatus for its solution as for high-precision measuring instruments in metrology and for the distance scales in cosmology.

More information can be found on www.kipis.ru.

Best regards, Tatiana Afonskaya

Содержание**Contents**

Новости от АКТАКОМ, Keysight Technologies, Rohde & Schwarz и др.	4	News from AKTAKOM, Keysight Technologies, Rohde & Schwarz and others
Мультиметр-калибратор процессов АКТАКОМ АМ-7113	6	AKTAKOM AM-7113 multimeter-process calibrator
Измерения некоторых характеристик ЭМС при тестировании приёмно-передающих модулей Лемешко Н.В., Богаченков Д.А., Рахманов И.М.	10	Measurements of some EMC characteristics when testing the transceiver modules N. Lemeshko, D. Bogachenkov, I. Rakhmanov
Решение проблемы высокой ёмкости соединений измерительной схемы при тестировании маломощных МОП-транзисторов Андреа Винчи	22	MOSFETs characterization in the low power range: overcoming test connection challenges due to high capacitances Andrea Vinci
Четыре функции, обеспечивающие эффективный анализ цепей	26	Four functions that enhance your network analysis
Выставка CES 2021 переходит полностью в цифровой формат Александр Афонский, Татьяна Афонская, Мария Боровская	31	CES 2021 moves to an all-digital experience Alexander Afonskiy, Tatiana Afonskaya, Maria Borovskaya
Математическая теория измерительных задач: приложение. «Космический толчок» или ранговая инверсия — причина «тупика» в космологии Левин С.Ф.	32	Mathematical theory of measurement problems: applications. «Cosmically jerk» or rang inversion — the reason for «dead end» in cosmology S. Levin

На первой странице обложки:

Программируемые электронные нагрузки АКТАКОМ предоставляют инженерам полный набор функций для испытания источников питания.

On the first page of the cover:

AKTAKOM programmable electronic loads provide engineers with a full range of functions to test power supplies.

НОВЫЙ ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

Модельный ряд измерительного оборудования **АКТАКОМ** пополнился новым TrueRMS цифровым мультиметром *АММ-1012*. Этот мультиметр позволяет измерять постоянное напряжение до 1000 В, переменное напряжение до 750 В, постоянный и переменный ток до 20 А, сопротивление до 200 МОм, ёмкость до 2 мФ, частоту до 2 МГц, проводимость до 100 нСм, а также коэффициент усиления транзисторов в диапазоне 0...1000. Кроме того, он способен производить проверку диодов и «прозвонку» цепи.



АКТАКОМ

Результаты измерений отображаются на большом ЖК дисплее (19999 отсчетов) с подсветкой. Как и в большинстве портативных цифровых мультиметров, в АММ-1012 имеется возможность автоматического и ручного выбора диапазона, функция удержания текущих значений и автоматического выключения питания для экономии заряда батареи.

www.aktakom.ru

НОВАЯ СЕРИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Компания **Rohde & Schwarz** анонсировала новую серию источников питания *R&S® NGP800*. Серия включает в себя 5 моделей мощностью 400 Вт или 800 Вт, имеющих по два или четыре 200-ваттных электрически эквивалентных и гальванически развязанных выхода, каждый из которых способен выдавать напряжение до 64 В или ток до 20 А.

В отличие от однодиапазонных источников питания, в серии *R&S® NGP800* допускается генерировать переменные комбинации напряжения и тока в пределах общего ограничения мощности 200 Вт на канал.

При необходимости получения больших значений напряжения или тока выходы можно подключить по-

следовательно или параллельно. С помощью функции отслеживания можно одновременно регулировать напряжение и ток для всех выбранных каналов. Функция линейной нарастающей (*EasyRamp*) обеспечивает непрерывное увеличение выходного напряжения во временном интервале от 10 мс до 60 с. Каждый канал может включаться по отдельности, с задержкой, чтобы соответствовать требованиям современных микроконтроллеров, которые используют несколько напряжений питания и требуют особых последовательностей включения питания. Функция сигналов произвольной формы (*QuickArb*) позволяет формировать меняющиеся во времени последовательности напряжений и токов со временем пребывания до 1 мс. Есть возможность загрузить до восьми файлов подгрупп в одну последовательность для создания сложных шаблонов.

Четырехпроводное подключение компенсирует падение напряжения на проводах питания, особенно при работе с большими токами. Источники питания *R&S® NGP800* обеспечивают компенсирующее подключение для каждого выхода на передних и задних зажимах.



ROHDE & SCHWARZ

Встроенные функции измерений снижают необходимость внешнего мультиметра и упрощают настройку. Отдельные измерители напряжения и тока на каждом выходе обеспечивают разрешение 1 мВ и 0,5 мА во всем выходном диапазоне 64 В и 20 А соответственно. Встроенная функция статистики показывает минимальное / максимальное и среднее значения мощности, напряжения и тока, а также энергии.

Источники питания *R&S® NGP800* одновременно регистрируют измеренные значения напряжения и тока на всех выходах. Можно легко экспортировать данные с метками времени в виде файла .CSV для отчетов и документации.

Источники питания серии *NGP800* оснащены функциями защиты от перегрузки по току (OCP), напряжению (OVP) и мощности (OPP) и превышения температуры.

Наличие 5" сенсорного дисплея высокого разрешения облегчает управле-

ние и обеспечивает быструю навигацию по меню с доступом ко всем функциям и настройкам. На главный экран выводится основная информация обо всех каналах, статусы каналов, статистика, индикаторы состояния.

Дистанционное управление источниками питания *NGP800* может осуществляться по интерфейсам *USB* и *LAN (Ethernet)*. Опционально доступны интерфейсы беспроводной локальной сети и *IEEE-488 (GPIB)*.

Цифровые входы/выходы запуска (опция *R&S® NGP-K103*) позволяют сконфигурировать восемь контактов разъема цифрового ввода/вывода в качестве входов или выходов для получения и формирования событий запуска.

Аналоговый вход (опция *R&S® NGP-K107*) обеспечивает управление выходным напряжением и током напрямую через внешнее управляющее напряжение в диапазоне от 0 В до 5 В с возможностью задания входного масштаба от 0% до 100%.

www.rohde-schwarz.ru

НОВЫЕ РЕКУПЕРАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Компания **Keysight Technologies, Inc.** объявила о пополнении своей серии *RP7900* двумя новыми двухквандрантными рекуперативными источниками питания постоянного тока, обладающими встроенными функциями защиты персонала и тестируемого устройства. Уникальная схема рекуперации в новых моделях без искажений возвращает в электросеть часть потребляемой энергии, обеспечивая тем самым снижение расходов на энергопотребление и охлаждение.

Серия *RP7900* является частью решения для тестирования силовых преобразователей электрических и гибридных транспортных средств компании **Keysight**, предназначенного для испытаний мощных высоковольтных устройств накопления и преобразования энергии для быстрого роста рынка электрических и гибридных автомобилей.



**KEYSIGHT
TECHNOLOGIES**

Объединяя все функции источника и питания в компактном корпусе высотой 3U, рекуперативные источники питания **Keysight** серии *RP7900* минимизируют расходы на тестирование устройств большой мощности за счет уменьшения занимаемого места, сокращения тепловыделения и поддержания безостановочной работы.

Новые источники питания двух моделей — на 20 кВт и до 2000 В — пред-

лагают следующие возможности и преимущества:

- возможность работы в двух квадрантах — в режиме источника питания и электронной нагрузки, что обеспечивает плавное переключение из режима источника в режим потребления тока без изменения выходных характеристик прибора и каких-либо других негативных явлений;
- выходная характеристика с автоматическим выбором диапазона делает приборы серии RP7900 намного более гибкими по сравнению с источниками с традиционной прямоугольной выходной характеристикой, поскольку они расширяют кривую мощности, предлагая пользователю различные комбинации напряжения и силы тока в одном устройстве;
- высокая скорость изменения выходных параметров, время обработки команды менее 1 мс и режим выходного списка помогают достигнуть значительного прироста пропускной способности при тестировании;
- одновременное измерение напряжения и тока с высокой точностью и разрешением.

www.keysight.com

ПОРТАТИВНЫЙ АНАЛИЗАТОР ДЛЯ СЕТЕЙ 400G

Компания Anritsu сообщает о предстоящем коммерческом выпуске анализатора *Network Master Pro MT1040A* для оценки качества сетей 400G.

Технология 400G Ethernet ранее в основном использовалась в центрах обработки данных. Однако быстрый рост трафика данных, вызванный массовым выпуском коммерческих сервисов 5G и ожидаемым появлением в будущем беспилотных транспортных средств, стал причиной разветвления сетей 400G Ethernet



Anritsu

также и в других областях. Так как MT1040A представляет собой компактный, работающий от аккумуляторов измерительный прибор для сетей 400G со вставляемыми измерительными модулями QSFP-DD или OSFP, это устройство поддерживает не только выполнение измерений в сетях 400G, но также и в сетях 10M...100G Ethernet, OTN, eCPRI/CPRI, SDH/SONET и Fibre Channel. Кроме того, он может использоваться в сочетании с дополнительным модулем OTDR для обслуживания волоконно-оптических линий, а также с модулем GPS для выполнения удаленных измерений с помощью GPS. Встроенные функции автоматической проверки позволяют операторам выполнять идентичные тесты для получения количественных результатов тестов, что повышает эффективность работы на объектах.

Network Master Pro MT1040A представляет собой измерительный прибор для оценки качества передачи данных в различных сетях, работающих на скоростях от 10 Мбит/с до 400 Гбит/с. Благодаря гибкому интерфейсу анализатора, поддерживающему работу с SFP/SFP+/SFP28, QSFP+/QSFP28/QSFP-DD и оптическими модулями OSFP, прибор MT1040A можно с легкостью настроить для применения в любой среде передачи данных.

Кроме того, использование данного прибора в сочетании с модулями MU100020A /21A /22A /23A OTDR для MT1000A в тестах волоконно-оптических линий, а также вместе с модулем MU100090A High Performance GPS Disciplined обеспечивает точные измерения задержки передачи данных между удаленными оптоволоконными сегментами.

www.anritsu.com

НОВЫЙ ПОРТАТИВНЫЙ ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

В семействе цифровых мультиметров **АКТАКОМ** появилась новая модель — *АММ-1014*. Портативный TrueRMS мультиметр АММ-1014 позволяет измерять постоянное напряжение до 1000 В, переменное напряжение до 750 В, постоянный и переменный ток до 10 А, сопротивление до 60 МОм, ёмкость до 100 мФ, частоту до 10 МГц, коэффициент заполнения в диапазоне 1...99%, а также температуру в диапазоне от -20 до 1000 °С (с помощью термопары типа К). Кроме того, он способен производить тестирование диодов и проверку целостности цепи.



АКТАКОМ

В дополнение к обычным для портативных цифровых мультиметров возможностям (удержание текущих значений, фиксация максимальных и минимальных значений, автоматическое выключение питания для экономии заряда батареи) АММ-1014 имеет ещё несколько полезных функций: проверка сопротивления батарей, датчик бесконтактного определения напряжения, определение проводника под фазой, а ещё встроенный фонарик.

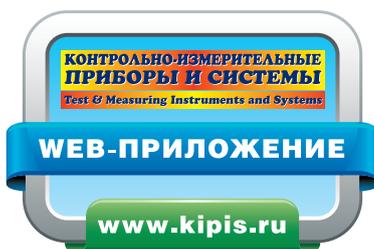
Результаты измерений отображаются на большом ЖК дисплее (6000 отсчетов) с подсветкой.

www.aktakom.ru

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

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

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



МУЛЬТИМЕТР-КАЛИБРАТОР ПРОЦЕССОВ АКТАКОМ AM-7113

АКТАКОМ AM-7113 MULTIMETER-PROCESS CALIBRATOR

В практике ремонтных и наладочных работ, при тестировании или калибровке различного оборудования (контроллеров, датчиков, преобразователей и т.д.) часто возникает необходимость имитации определенного вида сигнала — напряжения, тока, некоторых видов гармонических сигналов или их динамическое изменение. Для этих целей используют специализированные приборы, называемые калибраторами, способными с высокой точностью формировать различные сигналы. В большинстве случаев такие приборы востребованы в непосредственной близости от размещенного оборудования, поэтому наиболее актуальный формат таких приборов — компактный



ручной прибор небольшого веса и габаритов (рис. 1).

Калибраторы процессов позволяют проводить тестирование двумя способами — производя измерения на выходе тестируемого устройства или генерируя сигнал, имитирующий изменение напряжения, тока или частоты как форму выходного сигнала пассивного устройства (датчика, передающей линии и т.д.) Режим генерации сигнала необходим для определения правильности работы контроллеров и иных устройств управления.

Для диагностики и калибровки кон-

троллеров, трансмиттеров, преобразователей обычно используют приборы, позволяющие одновременно и генерировать тестовый управляющий сигнал и подавать его на вход устройства, а также проводить измерения параметров сигнала на выходе устройства.

Калибраторы АКТАКОМ похожи друг на друга, имеют примерно одинаковые базовые функции, близкие значения воспроизводимых параметров и погрешностей (основные характеристики приведены в таблице 1), схожие габариты и вес. Все приборы больше ориентированы для работы вне лаборатории, имеют батарейное питание и «упакованы» в защитный хольстер. Отличие приборов друг от друга кроется в дополнительных измерительных и сервисных функциях.

Функциональное наполнение приборов разнообразно и определяет не только сферу применения прибора, но и ценовой фактор. Так, если вы изредка выполняете простые работы, где перечень выполняемых работ незначителен и достаточно имитировать сигнал постоянного уровня, предпочтительно использовать простой и недорогой (с низким значением погрешности!) AM-7070. Но если в процессе проведения работ приходится сталкиваться с широким кругом задач, и в плане измерения, и в



Рис. 1. Калибраторы АКТАКОМ, слева направо: AM-7070, AM-7079, AM-7111, AM-7113, AM-7025

Таблица 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПАКТНЫХ КАЛИБРАТОРОВ АКТАКОМ

Функция	AM-7070	AM-7079	AM-7111	AM-7113	AM-7025
Функции калибратора					
Воспроизведение постоянного напряжения	15 В	5 В	10 В	15 В	10 В
Погрешность воспроизведения постоянного напряжения	±(0,015%+3 е.м.р.)	±0,2%	±(0,02%+11 е.м.р.)	±(0,03%+5 е.м.р.)	±(0,02%+10 е.м.р.)
Воспроизведение постоянного тока	24 мА	20 мА	20 мА	24 мА	20 мА
Воспроизведение сопротивления	–	400 Ом	40 кОм	–	40 кОм
Воспроизведение частоты	–	100 Гц / 1 кГц / 10 кГц	100 Гц / 1 кГц / 10 кГц / 100 кГц	0,3 Гц...20 кГц	100 Гц / 1 кГц / 10 кГц / 100 кГц
Воспроизведение числа импульсов	–	–	100 Гц / 1 кГц / 10 кГц	+	100 Гц / 1 кГц / 10 кГц / 100 кГц
Генерация сигналов	–	–	–	синус, прямоугол., другие формы, DTMF	–
Имитация термопары / термосопротивления	–	+/-	+/-	+/-	+/-
Имитация «токовая петля»	+	+	–	+	+
Давление	–	–	–	–	+
Функция измерения					
Постоянное напряжение	15 В	400 В	–	15 В	50 В
Переменное напряжение	–	400 В	–	–	–
Постоянный ток	24 мА	400 мА	–	24 мА	50 мА
Переменный ток	–	400 мА	–	–	–
Сопротивление	–	40 МОм	–	–	5 кОм
Прозвонка	–	+	–	–	+
Частота	–	50 Гц ... 100 кГц	–	–	–
Термопара / Термосопротивление	–	+/-	–	+	+/-

плане имитации сигнала, то удобней использовать модель АМ-7079. Этот прибор, также как и АМ-7070, относится к классу бюджетных аппаратов, и по сравнению с АМ-7070, имеет несколько большее значение погрешности генерируемого сигнала. Самым значимым в семействе калибраторов АКТАКОМ по праву считается калибратор АМ-7025. Данный прибор обладает высокой функциональностью и прекрасными характеристиками воспроизводимых сигналов, но это уже прибор совсем другой ценовой категории.



Рис. 2. Мультиметр-калибратор АМ-7113

В этой статье хотелось бы напомнить, а может, кого-то и познакомить, с весьма интересным прибором, сочетающим в себе уникальную функциональность, низкую погрешность воспроизводимого сигнала и весьма демократичную цену.

МУЛЬТИМЕТР-КАЛИБРАТОР ПРОЦЕССОВ АМ-7113

Плотненький «кирпичик», весьма удобно лежащий в руке, не оставляет впечатления легкой игрушки, но и не будет в тягость, если до объекта исследования идти пешком. Как и в большинстве аналоговичных приборов, бросается в глаза отсутствие поворотного переключателя, управление полностью кнопочное. Контрастный экран синего цвета с белыми символами (при определенном угле обзора цвета инвертируются) хорошо читается и в темноте и при ярком освещении (рис. 2). На передней панели прибора расположены клавиша включения, клавиша выбора формы сигнала в режиме генерации, клавиша Setup режима установок, клавиша выбора режима работы — калибратор-измерение и клавиша переключения в режим альтернативной клавиатуры Shift. Здесь же расположено стандартное гнездо подключения термопары, подвижной переключатель режима работы, цифровая клавиатура (альтерна-

тивные функции кнопок выделены синим цветом) и разъемы для подключения измерительных проводов. Во время ознакомления с прибором выяснилось, что эргономика прибора такова, что выбрать режим работы или установить цифровые значения параметров можно одной рукой, держа прибор в правой руке и нажимая клавиши большим пальцем. Удобно, если надо держать тестовые провода или проводить манипуляции с тестируемым оборудованием.

Как и другие приборы, АМ-7113 «одет» в защитный эластичный хольстер серого цвета, на задней панели удобная откидная подставка, позволяющая поставить прибор на стол. Интересная деталь, на креплении откидной подставки предусмотрена специальное отверстие — петля, чтобы прибор можно было повесить, такое не часто встречается и может быть полезно (рис. 3).

Питание прибора осуществляется от встроенной литиевой аккумуляторной батареи 11,1 В или от сетевого адаптера из комплекта прибора.

Что же может наш герой?

Наверное, из всех представленных приборов он наиболее универсален для инженеров и специалистов наладчиков, работающих вдали от лаборатории со всевозможными приборами.

Калибратор АМ-7113 позволяет:

- воспроизводить и измерять напряжение постоянного тока в диапазоне 0...70 мВ и 0...15 В с разрешением 0,001 В;
- воспроизводить и измерять силу постоянного тока 5...24 мА с разрешением 1 мкА;
- генерировать стандартные сигналы — синусоидального, прямоугольного, импульсного и пилообразного в диапазоне от 0,3 Гц до 20 кГц и амплитудой до 20 В;
- установка смещения генерируемого сигнала в диапазоне от -5 В до +5 В;
- воспроизводить одиночные импульсы длительностью от 3 мкс до 999,99 мс и коэффициентом заполнения от 0 до 100% с разрешением 1%;

Модуль HART™ — интерфейсный блок для представления протокола HART. HART — протокол передачи данных между распределенными полевыми устройствами, основанный на технологии передачи цифровых данных по линии связи типа «токовая петля» 4-20 мА между интеллектуальными приборами. В настоящее время это широко распространенный промышленный стандарт, поддерживаемый подавляющим большинством производителей средств автоматизации. Протокол HART значительно расширяет возможности доступных и распространенных систем передачи «токовая петля 4-20 мА», обеспечивая все преимущества полевых цифровых протоколов.



Рис. 3. Задняя панель АМ-7113

- измерять температуру и воспроизводить статические характеристики термопар К, J, E, T, R, S, N, L, B, U, C и напряжения в диапазоне -10 мВ до 70 мВ;
- режим имитации передатчика в диапазоне 4...20 мА;
- имитация электронной нагрузки 30 В/24 мА;
- питание токовой петли 4...20 мА;
- генерация DTMF (двухтональный многочастотный сигнал), который может использоваться при профессиональном тестировании телефонных линий и аудиоустройств;
- а также некоторые дополнительные функции, такие как программирование компенсации холодного спада при измерении температуры, функция регистратора в режимах измерения и генерации, ручная установка шага 25 / 100% при изменении формируемого постоянного тока, поддержка режима (встроенный резистор 250 Ом) работы с модулем HART™ и другие.

Основные функции АМ-7113, определяющие функциональное назначение прибора (воспроизведение постоянного тока и напряжения, импульсов, характеристик термопар и имитации параметров интерфейса «токовая петля»), схожи с такими же функциями аналоговичных приборов. Однако калибратор имеет некоторые особенные функции, не часто встречающиеся в ряду компактных калибраторов процессов.

Поговорим немного о них.

РАЗЛИЧНЫЕ ВАРИАНТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕСТОВОГО СИГНАЛА (СКАНИРОВАНИЕ)

Практически все калибраторы имеют возможность изменять в ручном или автоматическом режиме уровень имитируемого выходного сигнала. Обычно используются два значения шага — 25% и 100%, изменяется как с приращением, так и в сторону уменьшения. В

калибраторе AM-7113 доступен широкий выбор различных вариантов сканирования, что позволяет использовать разнообразные алгоритмы изменения тестового сигнала:

- сканирование 1%, 2%...100%, 99%...2%, 1%;
- постепенное увеличение в режиме ручного многошагового сканирования (шаг 25%);
- быстрое сканирование 4%, 8%...100%, 96%...8%, 4%;
- автоматическое многошаговое сканирование (увеличение и уменьшение постепенно) 0%, 25%, 50%, 75% 100%;
- постепенное уменьшение в режиме ручного многошагового сканирования (шаг 25%).



Рис. 4. Установка границ изменения тестового сигнала (сканирования)

Выбор типа сканирования производится после установки верхней и нижней границ сканирования, используя (через кнопку SHIFT) альтернативную цифровую клавиатуру. Пример установки границ при имитации напряжения выходного сигнала показан на рис. 4.



Рис. 5. Дисплей прибора в режиме сканирования отображает символ типа сканирования и мгновенное значение уровня сигнала

В дальнейшем, при выводе тестового сигнала, на дисплее будет отображаться символ выбранного метода сканирования и уровень выходного сигнала в данный момент времени в абсолютном значении (процентах) и в вольтах (рис. 5).

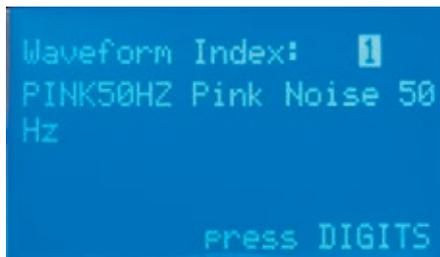


Рис. 6. Выбор формы сигнала из предустановленных (имитация «розового» шума)

Применение сканирования с малым шагом приращения значения тестового параметра позволяет добиться более точных результатов при калибровке датчиков, приводов исполнительных механизмов и других устройств.

РЕЖИМ ИМИТАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ НАГРУЗКИ

Нечасто встречающаяся в компактных калибраторах функция имитации электронной нагрузки с максимальными характеристиками — напряжение 30 В и ток 24 мА. Конечно, это не так много, но вполне достаточно, когда необходимо оперативно симитировать какой либо датчик или, например, нагрузку при конфигурации контроллера.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ФОРМ СИГНАЛОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Большинство портативных калибраторов процессов способно воспроизводить напряжение и силу постоянного тока. Некоторые калибраторы могут генерировать прямоугольные импульсы заданной частоты. Однако, практически нет калибраторов, способных воспроизводить сигналы стандартных форм с заданной частотой и амплитудой. Калибратор AM-7113 может генерировать синусоидальный, прямоугольный, треугольный сигнал и сигнал усеченной синусоиды. Также доступно несколько предустановленных производных сигналов, таких как белый и розовый шум (рис. 6 и 7), синусоидальные 50 и 60 Гц и некоторые другие. При генерации стандартных сигналов можно установить все имеющиеся параметры: амплитуду, значение смещения, коэффициент заполнения и частоту генерации. При воспроизведении предустановленных сигналов также возможно изменить и амплитуду и смещение, постоянной остается только частота

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКИ AM-7113 В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ

Параметр		Диапазон	Разрешение	Погрешность
Воспроизведение сигнала	синусоидальный	0,1 В...20 В	0,001 В	±(5%+0,3 В)
	прямоугольный	1 В...20 В		±(6%+0,4 В)
	треугольный, усеченная синусоид.	0,1 В...20 В		±(6%+0,4 В)
	смещение	-5 В...5 В		±(5%+0,5 В+5%Vn-n)
	частота	0,3 Гц...99,999 Гц 10,00 Гц...999,99 Гц 1000,0 Гц...9999,9 Гц 10000 Гц...20000 Гц	0,1 Гц 0,1 Гц 0,1 Гц 1 Гц	0,002 Гц 0,02 Гц 0,2 Гц 2 Гц
Формирование импульсов (прямоугольная форма, 10 Вп-п, смещение -5 В...+5 В)		3,0 мкс...9999,9 мкс 10,000 мс...99,999 мс 100,00 мс...999,99 мс	0,1 мкс 0,001 мс 0,01 мс	

сигнала. Минимальное разрешение установки частоты составляет всего 0,1 Гц, разрешение установки амплитуды сигнала — 0,001 В, параметры выходного сигнала, например погрешность воспроизведения частоты, весьма неплохие для компактных приборов такого класса.

Отметим, что величина смещения также устанавливается с разрешением 0,001 В, а возможность точной установки величины смещения позволяет установить необходимый TTL-уровень или управлять модуляцией ШИМ-сигнала.



Рис. 7. Воспроизведение сигнала «розовый» шум

Дополнительно к указанным стандартным сигналам, прибор может формировать одиночные импульсы заданной длительности с временем нарастания 5...10 мкс. Дисплей прибора при генерации пилообразного сигнала и режима генерации импульсов показаны на рисунке 8, а характеристики прибора в режиме генерации приведены в таблице 2.

Генерация двухтонального многочастотного аналогового сигнала (DTMF, Dual-Tone Multi-Frequency)



Рис. 8. Дисплей AM-7113 в режиме генерации пилообразного сигнала и режиме генерации импульсов

Двухтональные многочастотные сигналы много десятилетий используются в телефонии для набора номера и управления соединением в абонентском и стационарном оборудовании, а также связанного с телефонией оборудования: автоответчики, интерактивные сервисы и системы, использующие телефонные провода в качестве среды передачи информации и другие устрой-

ства. В некоторых случаях сигнал DTMF также используется в качестве внутреннего служебного сигнала для синхронизации и управления оборудованием телевизионных студий и передающих станций.



Рис. 9. Отображение установок режима DTMF на дисплее AM-7113

Принцип кодирования информации в сигнале DTMF заключается в сложении двух синусоидальных сигналов разных частот F1 и F2. Обычно таблица кодировки содержит набор частот F1 и F2, соответствующих определенным символам. Калибратор позволяет имитировать DTMF сигнал, полностью соответствующий стандартному сигналу во всем диапазоне используемых частот. При установке параметров режима DTMF в приборе можно установить необходимые

значения частот F1 и F2, амплитуды, фазового угла и смещения (рис. 9).

ПРОВЕРКА СВЕТОДИОДОВ

Небольшая, но неожиданная функция — калибратор выступает как высокостабильный источник тока (драйвер) для проверки работоспособности и яркости светодиодов. Установив постоянное значение тока, можно использовать прибор для сортировки «годен — не годен», а при выборе режима сканирования возможна оценка или отбор по моменту включения и яркости, в зависимости от уровня тока.

Как мы уже говорили, перечисленные выше функции — это то, что выгодно отличает калибратор АКТАКОМ AM-7113 от аналогичных устройств. Наравне с аналогами, прибор воспроизводит и стандартные сигналы, характерные для большинства компактных калибраторов: напряжение и силу постоянного тока, воспроизведение характеристик термодпар (11 типов), диагностику интерфейсов «токовая петля» (питание петли, имитация трансмиттера, одновременное выполнение измерения и создание выходной петли питания 24 В) и другие возможности, в частности — регистратора параметров



Рис. 10. Стандартная комплектация калибратора AM-7113

(логгера). Функция доступна при использовании прибора как в качестве мультиметра, так и калибратора, во всех режимах и диапазонах, за исключением режима генерации частоты. Запись данных производится во внутреннюю память в отдельный файл, имя которого пользователь может задать. Время выборки можно установить как «0», тогда регистрация будет однократной, или выбрать время от 1 до 255 с, память при этом может содержать до 4000 записей. Однако осуществлять запись можно только в одном режиме и в одном диапазоне, если возникает необходимость регистрации другого типа данных или в другом диапазоне, то необходимо сначала очистить память, а после этого начинать новую запись.

Что можно сказать в заключении? Мультиметр-калибратор АКТАКОМ AM-7113 универсален как швейцарский нож — в нем есть все, что может понадобиться специалисту при настройке или отладке удаленного оборудования. Универсальность прибора, объединяющего в себе и калибратор, и мультиметр, и функциональный генератор, в сочетании с хорошей комплектацией и удобным пластмассовым кейсом (рис. 10) делает его необходимым инструментом, позволяющим решить широкий круг задач на удаленных объектах при минимальных временных затратах. ☑

In the present article you will find the detailed information about AM-7113 multimeter-process calibrator as well as the description of the unique functional capabilities of this calibrator (standard and arbitrary waveform generation, electronic load imitation mode, etc.). Also you will be able to check the comparison table introducing the main technical characteristics of AKTAKOM multimeters-calibrators.

Интерфейс «Токовая петля» («current loop») — это способ передачи информации с помощью определенных значений силы электрического тока (в отличие от большинства других интерфейсов, в которых значения определяются уровнем напряжения).

Следует разделять два вида реализации интерфейса: аналоговый и цифровой. В аналоговом варианте токовой петли передача аналогового сигнала осуществляется по паре проводов. В датчиках исполнительных механизмов, АСУ ТП системах и т.д. кодирование информации реализуется в смещенном диапазоне токов 4...20 мА, т.е. наименьшее значение сигнала (0) соответствует току 4 мА, а наибольшее значение — 20 мА. Весь диапазон допустимых значений — 16 мА. Нулевое значение тока в цепи означает обрыв линии. Ток более 20 мА — короткое замыкание линии.

В цифровом варианте, который был достаточно популярным до появления в начале 1980 годов интерфейса RS-485, используется два значения тока: 4 мА (логический 0) и 20 мА (логическая 1). Передача данных реализуется старт-стопным методом, аналогично интерфейсу RS-232.

Ранее этот интерфейс был стандартизован в РФ (СССР) как ИРПС в ОСТ 11 305.916-84, а за рубежом в стандартах IEC 62056-21 / DIN 66258.

Преимущества интерфейса токовой петли:

- точность не зависит от длины и сопротивления линии передачи, поскольку управляемый источник тока будет автоматически поддерживать требуемый ток в линии;
- большая дальность (до нескольких километров);
- возможность запитывать датчик непосредственно от линии передачи;
- высокая помехоустойчивость (обычно используется экранированная витая пара);
- простота реализации, отсутствие необходимости в согласовании линии;
- возможность объединения нескольких датчиков в одном интерфейсе.

Все указанные достоинства позволили этому интерфейсу успешно использоваться в системах АСУ ТП.

Недостатком интерфейса «токовая петля» является низкая скорость передачи, не превышающая (в зависимости от дальности), как правило, 9 кбит/с.

Кроме того, в стандартах не определено конструктивное исполнение разъемов.

Широкое использование данного вида интерфейса в промышленности породило целую группу измерительных приборов — мультиметров-калибраторов токовой петли, которые позволяют настраивать параметры токовой петли в цеховых условиях, после прокладки линии передачи данных. По материалам Энциклопедии измерений (www.kipis.ru/info/)



ИЗМЕРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭМС ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ

MEASUREMENTS OF SOME EMC CHARACTERISTICS WHEN TESTING THE TRANSCEIVER MODULES

Лемешко Н.В. (N. Lemeshko), д.т.н., в.н.с. АО «Корпорация «Комета», Богаченков Д.А. (D. Bogachenkov), Руководитель направления ЭМС ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС», Рахманов И.М. (I. Rakhmanov), Руководитель проектов ЭМС ООО «РОДЕ и ШВАРЦ РУС»

ВВЕДЕНИЕ

К радиотехническим системам (РТС), реализующим функции радиосвязи и радиолокации, предъявляются исключительно высокие требования по характеристикам, определяющим эффективность их применения. Для радиосвязи таковым является предельная дальность при сохранении заданного качества передачи информации, а для радиолокации — минимальный размер обнаруживаемой цели для заданного её удаления. Такие параметры технических средств и, в частности, РТС принято называть выходными.

Приемно-передающие модули (ППМ) различного назначения, частотного диапазона и выходной мощности являются базовыми элементами многих РТС. В частности, конструирование активных фазированных антенных решеток (АФАР) осуществляется с использованием ППМ, каждый из которых подключается к своему излучателю, а также снабжен цепями питания и управления. ППМ можно встретить не только в антеннах радиолокаторов, но и в оборудовании связи. В ряде случаев приемно-передающие модули находят одиночное применение, например, в составе цифровых сетей дуплексной связи типа «точка – точка».

Наиболее часто в составе антенн используются ППМ в количестве



RONDE & SCHWARZ

10...1000 шт., и для получения оптимальных характеристик РТС необходима качественная работа каждого из них. Одной из причин, приводящих к снижению эффективности использования РТС, является воздействие различного вида помех, порожденных как внутри ППМ, так и другими техническими средствами. Вопрос обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) для ППМ, а также измерений её показателей выступает на первый план, если учесть близкое расположение ППМ и единство систем их электропитания и управления, а также наличие общей для них распределительной системы опорных и других сигналов. Ввиду высокого практического значения названного направления целесообразно рассмотреть методы измерений некоторых показателей ЭМС для ППМ, в то же время учитывая, что требования по радиоэлектронной защите, а также особенности испытаний по ЭМС обычно конкретизируются в технических заданиях на разработку технических средств, а также в отраслевых и государственных стандартах на конкретные виды РТС.

ТИПОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭМС ППМ

Типовые проблемы ЭМС для ППМ определяются двумя аспектами — назначением, т.е. режимом работы модулей и их системотехникой. Если говорить о радиолокационных станциях (РЛС), то обычно их ППМ работают в импульсном режиме излучения, а циклы передачи и приема строго разнесены во времени. В тоже время использование ППМ в пролетах радиолиний при дуплексной связи иногда предусматривает частотное разделение циклов приема и передачи при одновременной их реализации. Структурная схема ППМ РЛС [1] и его типовые внешние подключения показаны на рисунке 1. Цепи электропитания и управления на рисунке не показаны для упрощения.

Передающее плечо ППМ обеспечивает усиление по мощности и импульсную модуляцию для сигнала, поступающего с возбудителя через делитель мощности на группу ППМ. Приемное плечо ППМ включает амплитудный ограничитель, малошумящий усилитель (МШУ), полосовой фильтр, устройство временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ), необходимое для компенсации потерь на распространение волн в свободном пространстве при их следовании от АФАР до цели и обратно.

Оба плеча ППМ подключаются к

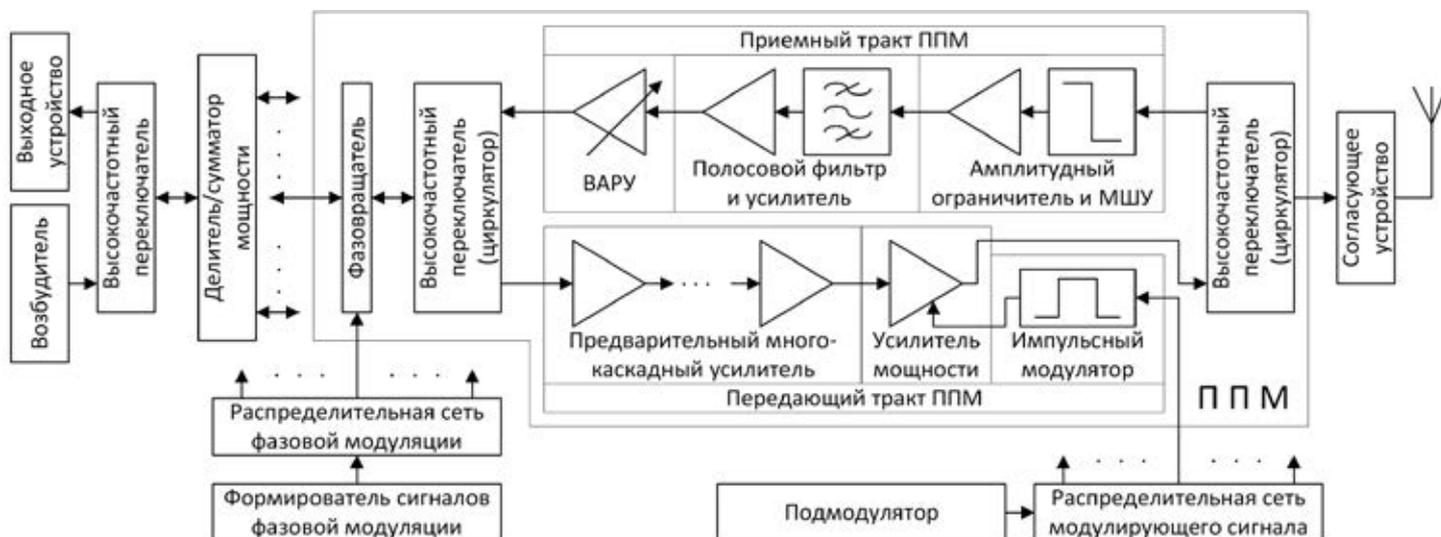


Рис. 1. Структурная схема ППМ и его внешние подключения

Профессиональные программируемые нагрузки постоянного тока Актакон



ATH-8020
ATH-8030
ATH-8036



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



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



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

НОВЫЕ МУЛЬТИМЕТРЫ С УНИКАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ!



Прецизионный TrueRMS мультиметр с функцией мегаомметра AMM-1179

- Высокая точность 0,06%
- ЖК индикатор 4^{3/4} разряда (40000 отсчётов)
- Измерение сопротивления изоляции до 4 ГОм на тестовом напряжении до 1000 В
- Измерение постоянной и переменной составляющей (AC+DC)
- Рабочий диапазон частот от 50 Гц до 1 кГц
- Функция захвата пиков >1 мс
- Регистратор данных до 255 с
- Измерение токовой петли %4-20 mA
- Защита от пыли и влаги IP-67



Промышленный TrueRMS мультиметр AMM-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 AMM-3033

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



Мультиметр с функцией мегаомметра AM-1018B

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



Комбинированный мультиметр AM-1016

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



Многофункциональный прибор «6 в 1» AMM-1062

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



Мультиметр со встроенным фонариком AMM-1048

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



Бюджетный цифровой мультиметр AMM-1042

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



прочим узлам при помощи высокочастотных переключателей, в качестве которых могут быть использованы циркуляторы [2] либо мосты на их основе. На антенной стороне ППМ подключается к элементарному излучателю АФАР через согласующее устройство. Фазовращатель в составе ППМ обычно выполняется как пассивное устройство и используется в формировании фазового распределения и в режиме передачи, и в режиме приема. В качестве возбудителя обычно применяется высококачественный генератор сигналов с оптимизированными по каким-либо критериям видами модуляции, например, с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), широко применяемой для радиолокации.

Типовые проблемы ЭМС ППМ состоят в следующем.

I. Внеполосные и побочные излучения. Структура ППМ, представленная на рисунке 1, предполагает многократное усиление сигналов в передающем плече. Сигнал в возбудителе вначале формируется на некоторой промежуточной частоте, а затем переносится на более высокие частоты. Общее количество таких переносов может составлять до трех-четырех в зависимости от диапазона работы АФАР. Зачастую активные узлы тракта работают при минимально достаточном запасе по линейности, поскольку расширение динамического диапазона существенно повышает стоимость каждого ППМ. Ввиду этого в выходном сигнале ППМ появляются побочные излучения, обычно присутствующие на комбинационных частотах [3]. Что касается внеполосных спектральных составляющих, то они порождаются модуляцией в возбудителе, отличающейся от её идеального математического описания, а также, в некоторых случаях, ограниченным проявлением интермодуляционных эффектов.

II. Кратковременное расширение занимаемой полосы при включении и выключении излучения АФАР. Формирование импульсного излучения РЛС осуществляется, как это следует из рисунка 1, с использованием импульсного модулятора. Цикличность формируемого излучения согласуется с формированием первичного сигнала возбудителем. Переходные процессы включения и выключения излучения могут сопровождаться кратковременным расширением спектра с поражением смежных полос частот. Появление такого расширения, а также его границы и длительность должны оцениваться для ППМ с выходной мощностью более 5 Вт.

III. Проникновение мощности из близко расположенных ВЧ-трактов способно оказывать влияние на функционирование ППМ, если вблизи АФАР расположены другие передающие антенны либо если в конструкции

АФАР использованы разные ППМ, работающие в индивидуальных полосах частот через мосты сложения на одни и те же излучатели. Проникновение мощности способно нарушать работу как приемного, так и передающего плеча ППМ. В первом случае возможна перегрузка, а при неблагоприятной отстройке по частоте — попадание спектральных составляющих мешающего сигнала в полосу выходного сигнала, возможность которого проверяется с учетом переноса по частоте [4]. Нарушение работы передающего плеча при значительном рассогласовании с антенным устройством может проявляться в смещении рабочей точки выходного усиленного элемента ППМ, а также в появлении паразитной модуляции его выходного сигнала.

IV. Пониженное качество питающего напряжения ППМ. Как правило, каждый ППМ имеет индивидуальный источник вторичного электропитания, и все они в совокупности подключаются к общим шинам. Одновременное переключение ППМ в передающий режим приводит к импульсному отбору мощности, сопровождаемому соизмеримым по продолжительности провалом напряжения. Такие провалы вызваны падением напряжения на индуктивностях шин электропитания. Использование в ППМ импульсных источников электропитания с накопительным элементом достаточной емкости позволяет несколько смягчить проблему. Провалы напряжения не должны вызывать заметное изменение мощности выходного излучения, в противном случае при работе РЛС теряется оптимальность обработки принятых сигналов, например, с ЛЧМ [5].

V. Эмиссия помех в цепи заземления ППМ. ППМ обычно выполняются в экранированном корпусе, в т.ч. и в целях обеспечения ЭМС. Согласно теории экранирования [6], конструкции подлежат заземлению по высокой частоте. Корпуса ППМ часто используют как коллекторы тока, подключая их к одному из потенциалов электропитания. Одновременно через них, а также цепи заземления протекают помехоносущие токи, порожденные как внутренними схемами ППМ, так и внешними источниками. Для сохранения приемлемой электромагнитной обстановки уровень помех, инжектируемых ППМ в цепи заземления, подлежит контролю и нормированию.

VI. Восприимчивость к помехам по цепям заземления. ППМ функционируют в условиях порожденных их совокупностью кондуктивных помех, которые могут стать причиной сбоев в их работе, включая нежелательные эффекты в радиотрактах. ППМ должны проявлять определенную стойкость к помехам по цепям, которая также устанавливается нормативными документами.

Для каждой из названных проблем ЭМС ППМ используются сообразные им показатели. Перечисленная номенклатура проблем ЭМС определяется назначением и функциональными особенностями ППМ. Для получения полной совокупности подлежащих измерениям характеристик ЭМС ППМ следует добавить к ним те, которые описывают их типовые свойства в режиме передачи и приема [3], например, избирательность по зеркальному каналу приема.

В общем случае ППМ могут иметь существенные особенности в схемотехнике и конструкции, которые могут дополнить представленную совокупность проблем ЭМС новыми пунктами либо видоизменить её. Примером является ситуация, когда на одной и той же плоской несущей конструкции расположены две АФАР, обращенные друг к другу обратными сторонами антенных полотен. В этом случае одной из проблем ЭМС будет взаимное проникновение высокочастотной мощности из передающего тракта одной АФАР в приемный тракт другой. Такой процесс усугубляется сравнительно близким расположением излучателей разных АФАР, при котором активизируется индуктивно-емкостной механизм связи ближней зоны, который характеризуется существенно меньшими потерями, чем механизм излучения [7].

Наиболее часто требования ЭМС для ППМ в Российской Федерации предъявляют на основании следующих стандартов:

- ГОСТ РВ 6601-001-2008 «Оборудование бортовое авиационное. Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерений»;
- ГОСТ РВ 6601-002-2008 «Оборудование бортовое авиационное. Общие требования к допустимым уровням создаваемых электромагнитных помех и методики их измерений»;
- ГОСТ РВ 52226-2004 «Устройства радиопередающие. Требования к основным параметрам внеполосных и побочных излучений».

Для РТС специального назначения в РФ действуют государственные и отраслевые стандарты ограниченного доступа. Требования по ЭМС для ППМ устанавливаются и нормативными документами других государств, например, в США для военной техники действует общий стандарт MIL-STD-461G, применимость требований которого определяется классом объекта размещения РТС.

При этом обзор литературы и опыт проведения испытаний ППМ для РЛС показал нехватку информации о схемах измерений показателей, характеризующих перечисленные выше основные проблемы ЭМС ППМ и проверок на соответствие требова-

ний нормативных документов. Что касается остальных характеристик ППМ, то методы их измерений описаны в немногих в научно-прикладных статьях (например, [8]). Такое положение дел во многом определяется тем, что АФАР до недавнего времени применялись в основном в РТС специального назначения [1], методики испытаний которых не подлежат свободному распространению. Однако схемы измерений ряда показателей ЭМС могут быть построены на основе понимания их физической сущности.

При разработке методов и схем тестирования ППМ конкретных типов следует учитывать, что они характеризуются большой потребляемой и выходной мощностью, значительным тепловыделением и, как правило, нестандартными напряжениями электропитания. Ввиду этого рассматриваемые ниже схемы измерений на практике должны быть дополнены соответствующими вспомогательными элементами и оснасткой, обеспечивающими максимально возможное приближение к условиям штатной эксплуатации.

СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭМС ДЛЯ ППМ

Выполнение измерений показателей ЭМС ППМ обычно осуществляется в целях сопоставления с нормами помехоэмиссии и помехоустойчивости. Предлагаемые ниже схемы измерений имеют обобщенную форму и сформированы на основе методов испытаний ППМ, применяемых в АФАР РТС авиационного базирования. Они не являются единственным вариантом определения тех или иных показателей ЭМС. При проведении измерений также следует учитывать, что показатели ЭМС в общем случае зависят от значения питающих напряжений, климатических и других воздействий [7]. Измерения следует проводить в электромагнитной обстановке, которая не влияет на их результаты и не маскирует компоненты излучаемых радиопомех, поэтому предпочтительным вариантом является использование безэховых экранированных камер.

1. Внеполосные и побочные излучения (ГОСТ РВ 52226-2004) могут измеряться в относительных или абсолютных величинах при заданной полосе разрешения. Схема измерений (рис. 2) включает в себя анализатор спектра как основное средство измерений, элементы для его подключения к высокочастотному тракту (ВЧТ), а также ряд узлов, обеспечивающих штатный режим работы ППМ. Все элементы ВЧТ должны быть калиброваны по коэффициенту передачи в направлении распространения сигналов, например, с использованием векторных анализаторов цепей серии R&S ZNA.

При выполнении измерений ППМ переводится в режим передачи. В качестве возбудителя может использоваться высококачественный векторный генератор сигналов, например, R&S SMW200A. Атенюатор (1) используется для согласования возбудителя и ППМ по мощности входного сигнала. Выходной сигнал ППМ проходит через штатное согласующее устройство и направленный ответвитель (НО) на эквивалент антенны, в качестве которого обычно выступает поглощающая нагрузка. Атенюатор (2) служит для улучшения условий согласования выхода низкой мощности НО со входом анализатора спектра. В составе схемы измерений возбудитель, импульсный модулятор и анализатор спектра могут быть охвачены единой синхронизацией, что позволяет соотнести по времени начало формирования сигнала возбудителем, активацию выходного усилителя мощности и запуск развертки на анализаторе спектра. Если ППМ тестируется установленным в АФАР, то для запуска развертки анализатора спектра может быть использован режим запуска от детектора мощности на промежуточной частоте [9], также можно рекомендовать режим анализа в реальном времени. Источником синхросигнала может являться любой подходящий генератор, в т.ч. из состава АФАР. Сигнал управления фазовым сдвигом в схеме на рисунке 2 обеспечивает установку постоянного

смещения по фазе. При необходимости измерения выполняются для разных значений фазовых углов, однако влияние фазового сдвига обычно на уровень внеполосных и побочных излучений обычно не наблюдается.

Используемые в этой и других рассматриваемых ниже схемах измерений вспомогательные устройства обычно конструируются под конкретную серию ППМ либо являются частью аппаратуры из состава АФАР. Это же касается эквивалентов антенны и НО. Конкретная серия анализаторов спектра выбирается по частотному диапазону АФАР, а также потребности в дополнительных измерительных функциях, причем верхняя граница рабочего диапазона для поиска внеполосных составляющих спектра на гармониках должна быть более чем в пять раз выше, чем максимальная частота работы ППМ [4]. Как следует из таблицы распределения радиочастот между радиослужбами РФ в диапазоне 3 кГц – 300 ГГц [10], наиболее часто для работы РЛС применяются полосы частот из диапазона от 1 до 20 ГГц.

Измерения помехоэмиссии традиционно проводятся с использованием измерительных приемников. В соответствии с требованиями стандартов по ЭМС к измерительным приемникам, например, в последней редакции ГОСТ CISPR 16-1-1-2016 [14], а также руководствясь требованиями ФЗ РФ №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [15] они должны иметь соответствующие нормированные метрологические характеристики, включая соответствующие диапазонам измерений полосы частот, специальные полосы пропускания по уровню –6 дБ, обеспечивать КСВН по входу не более 1,2 в полосе частот 9 кГц – 1 ГГц и не более 2 в полосе частот 1 – 18 ГГц (при ослаблении входного аттенюатора 10 дБ), высокий динамический диапазон, определенные виды детекторов и т.д. На сегодняшний день из всего перечня измерительных приборов, внесенных в Государственный реестр средств измерений (ГРСИ), следует выделить измерительные приемники R&S ESW и R&S ESR, полностью со-

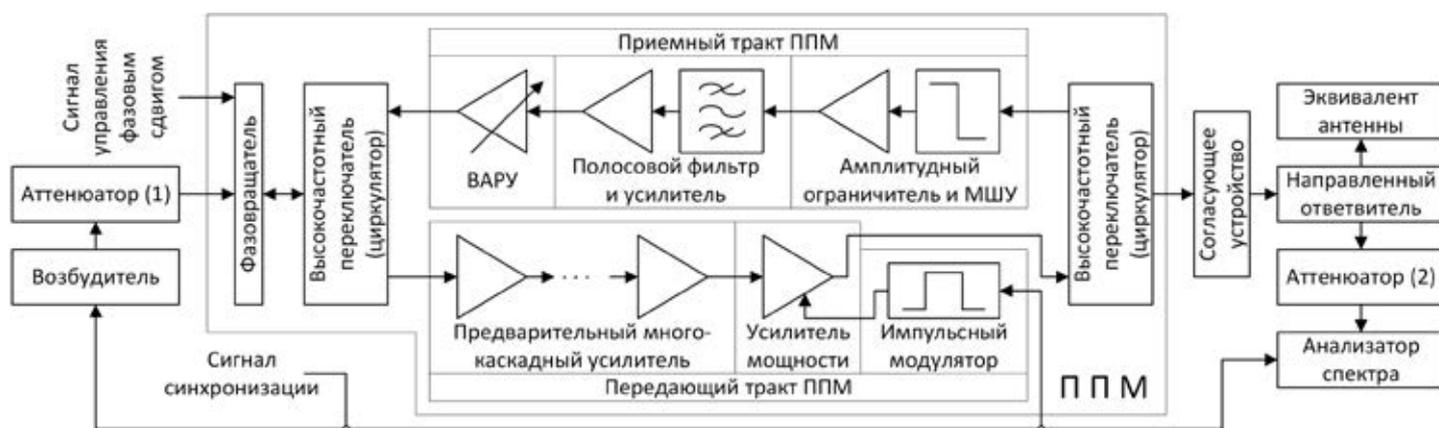


Рис. 2. Схема измерений внеполосных и побочных излучений ППМ

ответствующие требованиям указанных стандартов. Данные приемники обеспечивают автоматизированные измерения помехоэмиссии: быстрое предварительное сканирование для выявления участков спектра, предположительно пораженных повышенной помехоэмиссией, а затем подвергаются стандартизованным измерениям. Кроме того, они имеют функцию анализатора кратковременных радиопомех,

- ширина поражаемой полосы частот, отсчитываемая, например, от частоты, соответствующей снижению спектральной плотности на 30 либо 60 дБ.
- длительность поражения смежной полосы частот, определяемое интервалом времени от момента превышения установленного уровня спектральной кривой до её возвращения к этому уровню.

В то же время к нему предъявляются особые требования: во-первых, он должен иметь режим анализа в реальном времени и, во-вторых, режим запуска развертки от детектора мощности на промежуточной частоте. Такие требования определяются скоротечностью расширения спектра; классические анализаторы спектра последовательного действия без дополнительных функций для таких измерений не подходят.

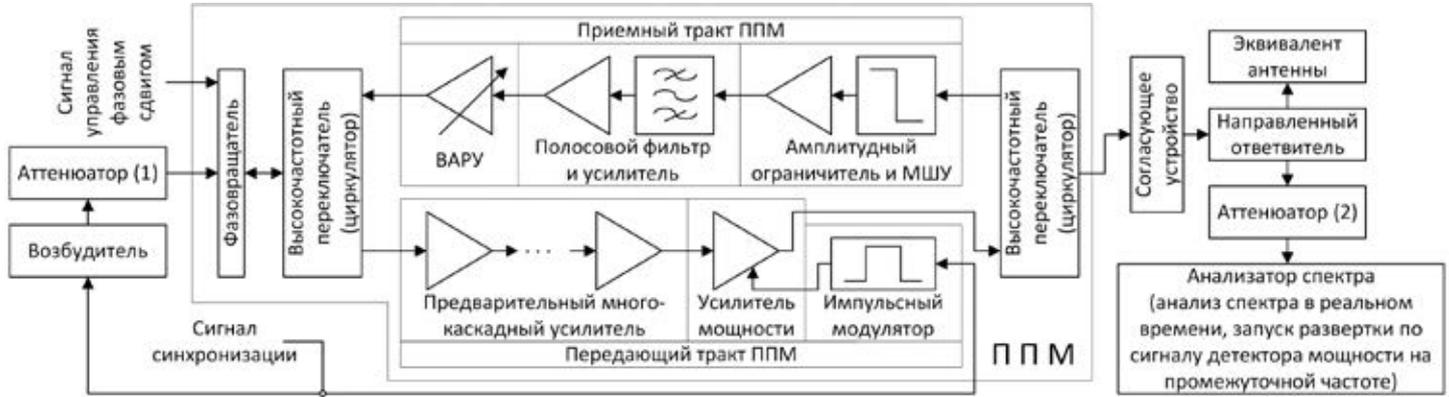


Рис. 3. Схема измерений для оценки характеристик кратковременного расширения занимаемой полосы при включении и выключении излучения ППМ

для которых действуют специальные нормы помехоэмиссии. В приемниках серий R&S ESW и R&S ESR реализована защита высокочастотного входа от импульсных перенапряжений, особо полезная при измерениях кондуктивных помех со значительными и — в общем случае — не известными уровнями, что позволяет обезопасить прибор от выхода из строя и дальнейшего дорогостоящего ремонта.

В качестве альтернативных, но при строгом подходе не заменяющих измерительные средства могут рассматриваться анализаторы спектра, например, серии R&S FSW с рабочей полосой до 87 ГГц, в которых функционал измерительного приемника (соответствующие полосы пропускания по уровню -6 дБ) реализован как отдельная опция FSW-K54. В этом случае рекомендуется дополнительно применять специальное программное обеспечение, например, СПО R&S ELEKTRA, что позволяет проводить измерения в соответствии с требованиями стандартов по ЭМС [16].

II. Измерение характеристик кратковременного расширения занимаемой полосы при включении и выключении излучения ППМ. Переходные процессы, возникающие в передающем плече ППМ на начальном и конечном этапе цикла излучения, способны сопровождаться кратковременным расширением спектра [3], которое представляет потенциальную опасность для работающих в смежных полосах частот радиослужб. Мерой такого расширения могут служить следующие характеристики, определяемые по раздельности для верхней и нижней части спектра полезного сигнала при включении и выключении излучения:

Предлагаемая к использованию схема измерений приведена на рисунке 3. В части подключения ППМ к элементам измерительной оснастки она в целом соответствует рисунку 2. Отличие состоит в том, что сигнал синхронизации не охватывает анализатор спектра.

Вначале измеряется ширина поражаемой полосы частот. Для этого анализатор спектра переводится в режим реального времени и непрерывной развертки. При поступлении сигнала синхронизации на импульсный модулятор и возбудитель на выходе

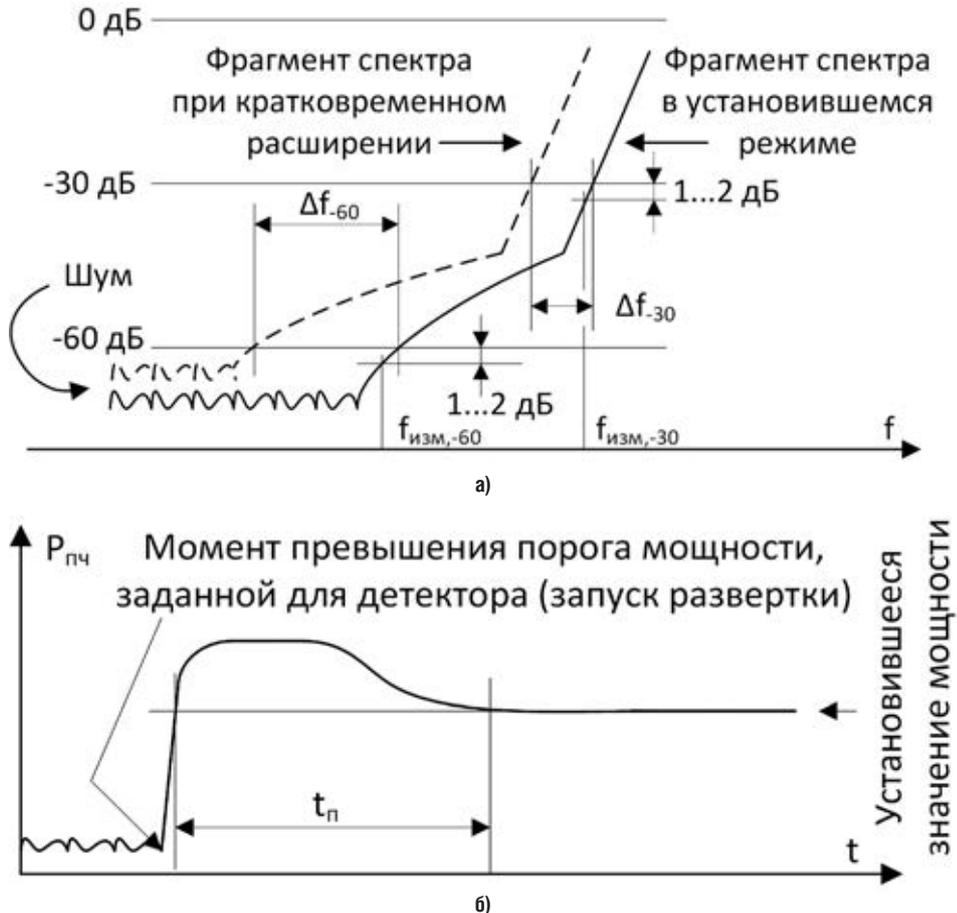


Рис. 4. Измерение характеристик кратковременного расширения занимаемой полосы при включении и выключении излучения ППМ: а) пораженной полосы частот; б) длительности поражения

ППМ появляется сигнал с расширенным спектром, который регистрируется анализатором за счет высокой скорости захвата спектрограмм. Если полоса анализа в реальном времени недостаточна для обзора всей полосы сигнала, как это свойственно, например, системам широкополосной радиолокации [5], то полосу обзора устанавливают таким образом, чтобы граница занимаемой полосы примерно соответствовала центральной частоте. Пораженную полосу определяют смещением по частоте точки, соответствующей одному и тому же уровню относительно опорного уровня спектрограммы (рис. 4, а). Расширение спектра рекомендуется оценивать по уровню спада спектральной кривой, равному 60 дБ, т.к. считается [3], что за пределами соответствующей полосы частот спектральные составляющие полезного сигнала отсутствуют вовсе. Как показано на рисунке, ширина пораженной полосы частот может меняться в зависимости от выбранного уровня, поэтому в документации на ППМ он должен быть задан.

Измерение времени поражения смежной полосы частот выполняется исходя из следующих предпосылок. В пределах пораженной полосы частот выбирается точка (примеры показаны на рис. 4, а), для которой будут проводиться измерения. Эта частота должна располагаться внутри пораженной полосы вблизи края спектрального спада в установившемся режиме, например, с отстройкой в 10% от Δf_{-30} (Δf_{-60}), но такой, чтобы разность между уровнями спектра была заметной. Анализатор спектра переводится в режим анализа с нулевой полосой обзора и запуском развертки по сигналу детектора мощности на промежуточной частоте (ПЧ). Полоса разрешения должна выбираться малой в сравнении с полосой Δf_{-30} (Δf_{-60}). Как только на входе анализатора спектра появляется сигнал с выхода ППМ, мощность сигнала на промежуточной частоте $P_{пч}$ превышает заданное значение,

детектор мощности запускает развертку, и анализатор отображает зависимость мощности на ПЧ от времени. Детектор мощности обычно имеет полосу частот до 200 МГц и в анализаторе спектра является отдельным аппаратным средством. Современные анализаторы спектра могут иметь цену деления развертки по времени в пределах единиц микросекунд, и такого разрешения оказывается вполне достаточно для измерений времени поражения. Отсчет длительности поражения t_n выполняется от момента превышения установленного уровня мощности до выхода на него же после завершения переходных процессов в передающем плече ППМ (рис. 4, б). Колебания мощности могут быть при необходимости сглажены.

Что касается режима выключения излучения, то здесь измерение поражаемой полосы проводится по тем же принципам — на основе анализа спектра в реальном времени. Сложнее обстоит дело с длительностью поражения, т.к., очевидно, предыдущая схема измерения не будет работать. Помочь решить эту проблему может синхронизация развертки анализатора от внешнего источника при его работе в режиме с нулевой полосой обзора либо использование программной постобработки спектрограмм. Несколько смягчает это обстоятельство тот факт, что поражаемая при включении излучения полоса в подавляющем большинстве случаев будет существенно шире, чем при выключении.

Выполнение измерений по схеме, представленной на рисунке 3, требует применения высококачественных анализаторов с опцией анализа спектра в реальном времени, например, приборов серии R&S FSVR, R&S FSW.

III. Проникновение мощности из близко расположенных ВЧ-трактов. Связанным с этим явлением показателем ЭМС является допустимая мощность помехи при заданной частотной отстройке относительно полезного сигнала, которая должна быть не ниже установленной нормы. Ясно, что при

работе приемного и передающего плеча ППМ значения названных показателей ЭМС будут отличаться друг от друга, поэтому они требуют раздельного измерения. Обычно в качестве помех рассматриваются узкополосные сигналы или аналоги тех, которые передает и принимает АФАР.

На рисунке 5 представлена схема, предлагаемая для измерений допустимой мощности помехи при работе ППМ в режиме приема. В качестве источника полезного сигнала может использоваться другой ППМ в режиме передачи либо высококачественный векторный генератор, например, R&S SMW200A, позволяющий в числе прочего формировать и сигналы с ЛЧМ.

При инъекции помех во вход приемного плеча ППМ их мощность может быть на порядки выше, чем мощность полезного сигнала. Ввиду погрешностей согласования помехи могут оказывать столь существенное влияние на источник полезного сигнала, что это вызовет в нем недопустимые погрешности модуляции. В этом случае сигнал на выходе ППМ будет характеризоваться пониженным качеством, но причина его снижения будет состоять вовсе не в воздействии помех на приемное плечо ППМ. Для предотвращения таких эффектов источник полезного сигнала должен быть развязан от моста сложения. Это достигается введением в ВЧТ циркулятора, обеспечивающего развязку до 30 дБ при прямых потерях до 1 дБ.

При использовании схемы на рисунке 5 важно помнить, что многие виды циркуляторов рассчитаны на полосу не шире 10% от среднего значения рабочей частоты. Кроме того, в ряде случаев они предъявляют особые требования по согласованию и не могут работать при больших значениях коэффициента стоячей волны [2]. В обоснованных случаях целесообразно использовать многоступенчатые циркуляторы либо дополнять их вентилями с однонаправленной передачей радиочастотной мощности.

Собственно, принцип измерений

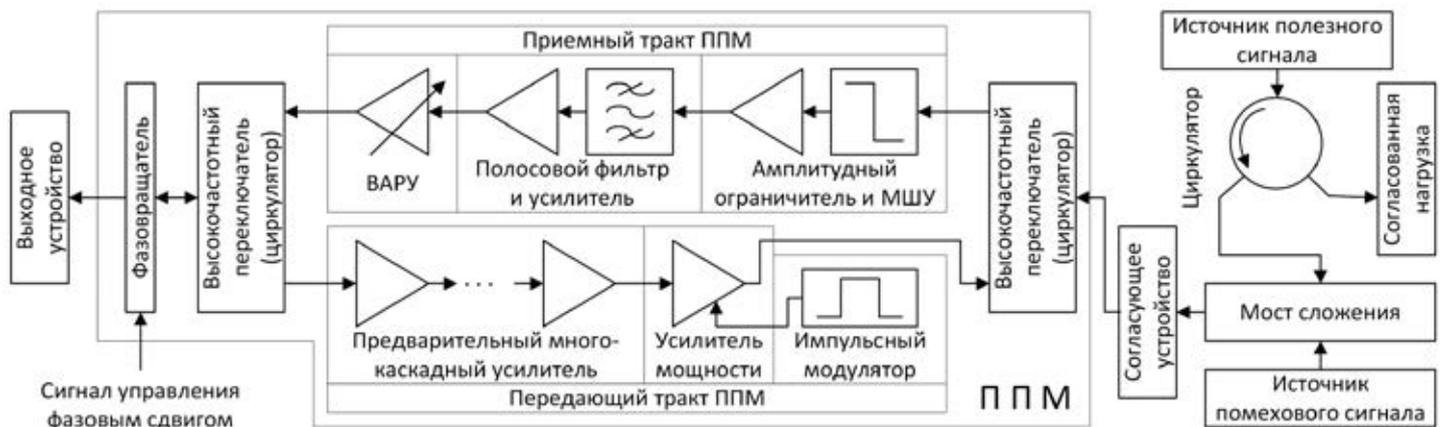


Рис. 5. Схема для измерений допустимой мощности помехи при работе ППМ в режиме приема

НОВЫЕ ПЛАНШЕТНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ СЕРИИ ADS-41XX

Новинка!



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

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



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



БОЛЬШЕ
 ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПО ДОСТУПНОЙ ЦЕНЕ

APS-1602



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

APS-1306



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

APS-3310L



Дистанционное управление

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



APS-3020

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

APS-2236



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

APS-4331



- 2 канала переменного (AC) + 1 канал постоянного (DC) напряжения
- Канал 1 AC: 0...30 В / 0...30 А
- Канал 2 AC: 0...250 В / 0...4 А
- Канал DC: 0...30 В / 0...30 А
- Монтаж в стойку (19" 3U) или настольное исполнение
- Четыре 3-разрядных LED дисплея



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



Узнайте цену

предельно прост и состоит в повышении мощности сигнала помехи до появления нежелательных явлений во входном тракте. Цепи ВАРУ при выполнении измерений отключать не следует. Анализ качества выходного сигнала выполняется с использованием выходного устройства АФАР, если это возможно. Если сигнал одиночного ППМ не может быть правильно обработан выходным устройством, целесообразно ввести критерии его качества, не привязанные к назначению АФАР. Например, таким критерием может быть отношение «сигнал/шум» либо мощность помехи на выходе аналогового тракта.

источника помехового сигнала от воздействия выходной мощности передающего плеча ППМ. Для формирования мешающего сигнала можно использовать любой лабораторный генератор с низким уровнем гармоник, например, R&S SMB100B. Назначение остальных элементов ВЧТ пояснено выше, принцип измерений также сохраняется.

IV. Пониженное качество питающего напряжения ППМ (ГОСТ 26807-86, МЭК61000-4-11). Электропитание ППМ может осуществляться как постоянным, так и переменным напряжением в зависимости от места установки и назначения АФАР. Снижение каче-

часть — на прием может наблюдаться только в весьма специфических приложениях. Ввиду этого в типовом случае наиболее глубокие провалы питающего напряжения наблюдаются в начале цикла излучения и сохраняются на некотором уровне в течение всей его длительности.

Для формирования провалов и, при необходимости, прерываний напряжения обычно используются специализированные имитаторы бортовой сети, подключенные непосредственно к ППМ или к штатным источникам вторичного питания. Формирование провалов напряжения может быть так же синхронизировано с цикличностью ра-

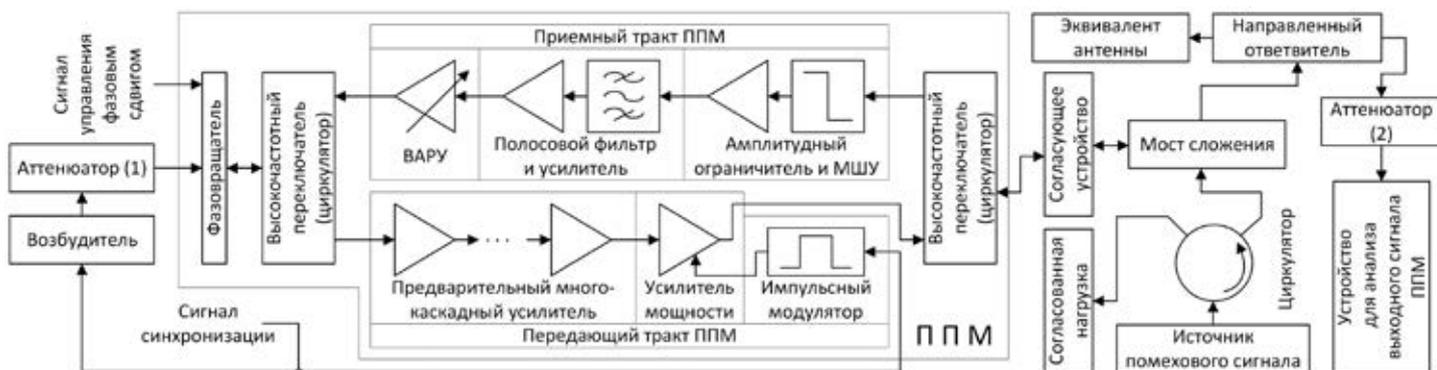


Рис. 6. Схема для измерений допустимой мощности помехи при работе ППМ в режиме передачи

На рисунке 6 представлена схема для измерений допустимой мощности помехи при работе ППМ в режиме передачи. Запуск цикла передачи осуществляется синхросигналом, который при необходимости может синхронизировать и развертку анализатора спектра либо иное устройство, предназначенное для анализа сигнала на выходе передающего плеча ППМ. В ряде случаев в качестве такового удобно использовать второй аналогичный ППМ в режиме приема, подключаемый через коаксиальный или волноводный тракт с требуемым ослаблением. Топология ВЧТ, в частности, использование циркулятора обеспечивает защиту

питающего напряжения обычно формализуется в виде провалов и прерываний [11], в течение которых технические средства должны сохранять качество функционирования не хуже минимально допустимого. Еще одним возможным видом помех, свойственным сетям питания постоянного тока, являются периодические пульсации напряжения.

Из анализа системотехники и назначения ППМ следует, что наиболее энергоемкий режим соответствует работе передающего плеча, а перевод в режим излучения для всех ППМ осуществляется синхронно. При этом ситуация, когда часть ППМ АФАР работает на передачу, а

боты передающего плеча ППМ, что необходимо для имитации реальной электромагнитной обстановки. Ввиду этого имитатор бортовой сети должен иметь возможность синхронизации по внешним сигналам и пиковую нагрузочную способность, соизмеримую с аналогичной для штатной сети электропитания ППМ при их установке в АФАР.

Предлагаемая схема измерений представлена на рисунке 7. Контроль качества функционирования передающего плеча ППМ должен осуществляться непрерывно, поскольку воздействие помех по цепям питания может иметь отложенный эффект, особенно при корреляционной обработке приня-

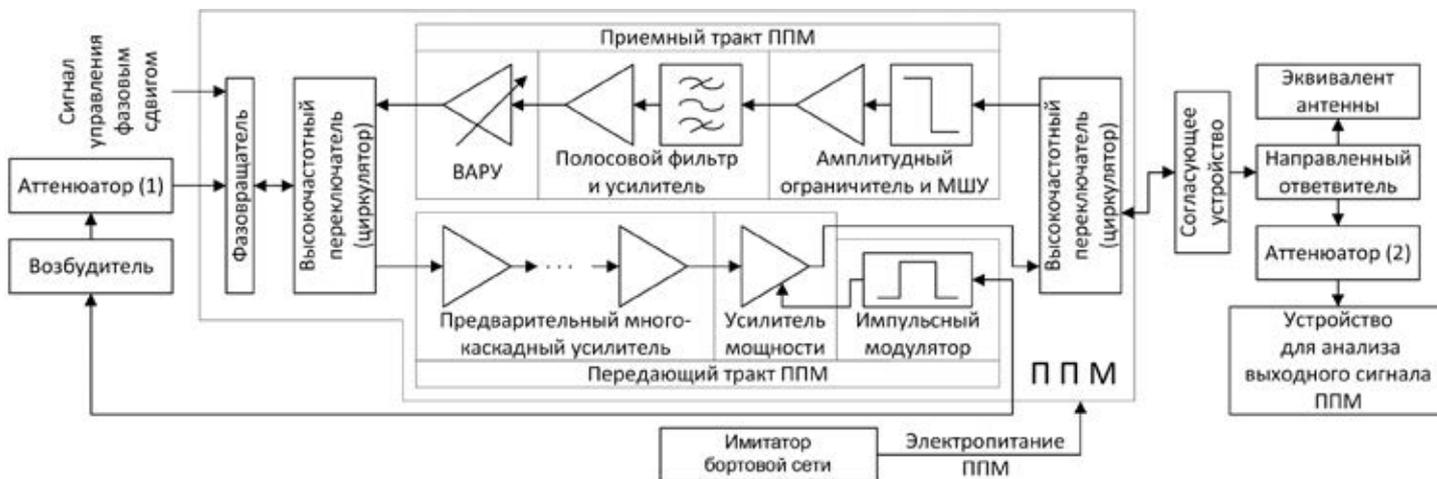


Рис. 7. Схема для измерений стойкости ППМ к пониженному качеству электрической энергии

тых сигналов в РЛС. Если в качестве устройства анализа выходного сигнала используется другой ПППМ, то он должен быть охвачен синхронизацией, а при необходимости — и другими опорными сигналами.

V. Эмиссия помех в цепи заземления со стороны ПППМ. Показателем ЭМС здесь является уровень формируемых ПППМ помех. Для обеспечения повторяемости и воспроизводимости результатов измерений их проводят при нормированном импедансе в цепи распространения помех.

ключение ПППМ к точке заземления выполняется через эквивалент сети или иное устройство с нормированным импедансом способом с максимально возможным приближением к реальным условиям эксплуатации, и одновременно этот узел должен блокировать возможное поступление помех в цепь заземления ПППМ из внешних источников.

В этой связи наилучшим решением является размещение испытательной установки в экранированном помещении и использование отдельного

полагающих гальваническую связь между точкой инъекции и источником помех [13]. Наиболее вероятно, что ПППМ будет проявлять меньшую помехоустойчивость при работе приемного плеча. Для формирования помех заданного уровня могут быть использованы как стандартные лабораторные генераторы, так и специальные, характеризующиеся повышенным значением выходного напряжения, применение которых может потребоваться при низком нагрузочном импедансе. При необходимости устрой-

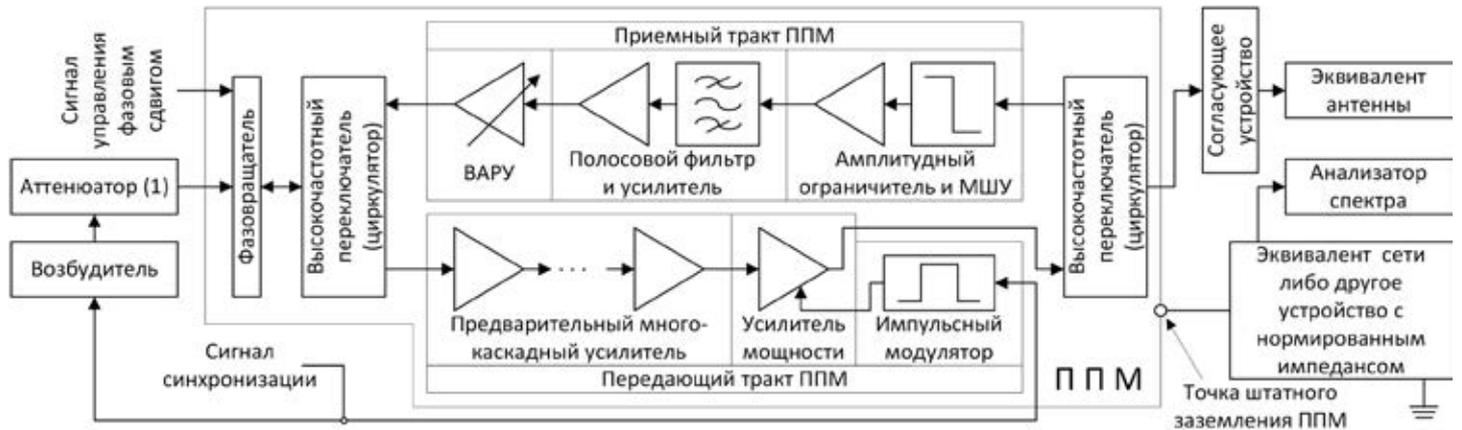


Рис. 8. Схема измерений помехоэмиссии со стороны ПППМ в цепь заземления (показана работа передающего плеча ПППМ)

В практике измерений эмиссии кондуктивных помех по цепям питания для нормирования нагрузочного импеданса используются эквиваленты сети [7], которые характеризуются низким полным сопротивлением на частотах менее 1 кГц. К экранирующему корпусу ПППМ обычно подключается один из полюсов питающего напряжения, при этом во многих случаях конструкция АФАР не имеет заземления в классическом его понимании. Схема измерений уровня эмиссии кондуктивных помех со стороны ПППМ в цепь заземления представлена на рисунке 8. ПППМ должен работать в штатном режиме, и можно ожидать, что наибольший уровень помех будет соответствовать работе его передающего плеча. Под-

«чистого» заземления [12]. Измерения проводятся с использованием измерительного приемника с полосами пропускания, принятыми в измерениях по ЭМС.

VI. Восприимчивость к помехам по цепям заземления. В данном случае показателем ЭМС является значение инжектируемого тока или напряжения помех, при котором ПППМ еще сохраняет свою работоспособность с качеством не ниже минимально заданного. Также как и в предыдущем случае, импеданс в цепи распространения помех должен нормироваться. На рисунке 9 показана соответствующая схема измерений.

Среди всех способов ввода помех наиболее применимым для цепей заземления является использование устройств связи/развязки (УСР), пред-

ствами развязки снабжаются провода и кабели для подключения всех потенциально чувствительных устройств в составе схемы измерений. При необходимости источник полезного сигнала и выходное устройство могут быть охвачены синхронизацией либо вспомогательными сигналами.

Все названные показатели ЭМС могут проявлять зависимость от частоты помеховых воздействий. Полоса частот измерений определяется требованиями технического задания на разработку АФАР, а также стандартами, действующими для конкретной области применения РТС. При этом саму фазированную решетку можно считать имеющей те же базовые проблемы ЭМС, что и ПППМ в её составе. Поэтому рассмотренные схемы изме-

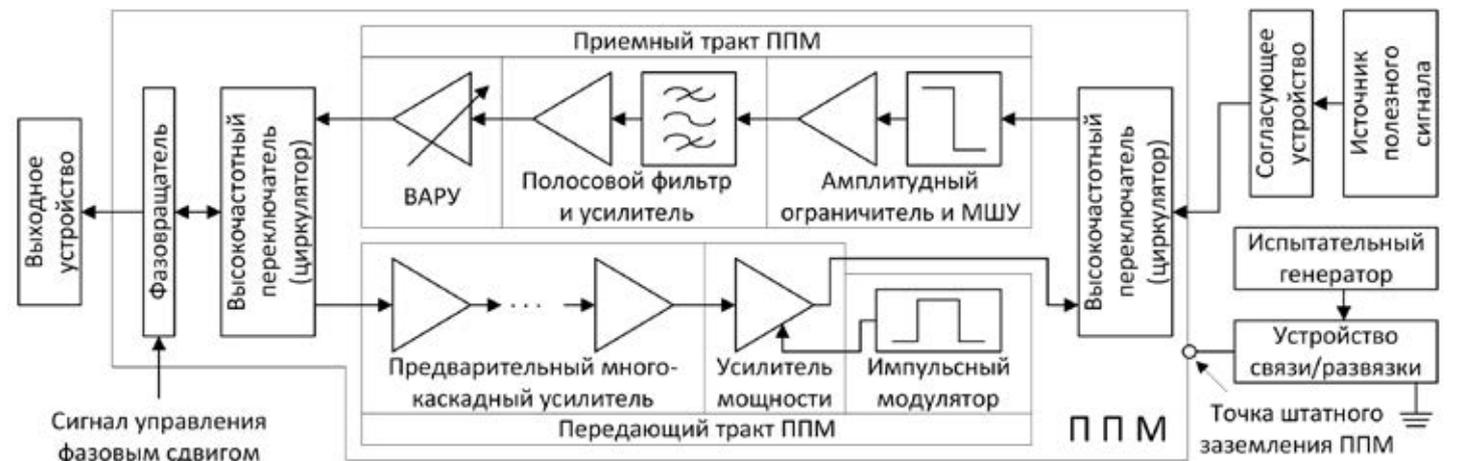


Рис. 9. Схема измерений помехоустойчивости по цепям заземления при работе приемного плеча ПППМ

рений при соответствующей адаптации могут быть применены и к АФАР в целом, что соответствует следующему уровню укрупнения и тестирования по ЭМС. В этом случае нормы для показателей ЭМС будут, очевидно, другими.

Как следует из изложенного, в схемах измерений параметров ЭМС ППМ используется сравнительно мало стандартных средств измерений — генераторов сигналов и измерительных приемников или анализаторов спектра, тем не менее, эти приборы играют основополагающую роль в получении качественных результатов измерений, а также в обеспечении их воспроизводимости и повторяемости наряду с тщательностью соблюдения методик измерений [7].

Важно отметить, что измерения рассмотренных показателей ЭМС для ППМ требуют соблюдения ряда условий. С одной стороны, это штатный режим эксплуатации, с другой — это соблюдение предписанных стандартов по ЭМС условий и средств измерений. Как и для технических средств других типов, при массовом тестировании ППМ целесообразно осуществлять предварительные измерения в менее жестких условиях, например, вне безэховых камер. Они позволят выявить основные проблемы, например, повышенную помехозащищенность, до проведения финальных испытаний.

Тестирование ППМ по показателям ЭМС может требовать подготовительных работ и расчетов. Объем и содержание таких работ в первую очередь определяется тем, что ППМ не являются самостоятельными изделиями, и для обеспечения их функционирования обычно используются специальные стенды, оборудование которых формирует необходимые сигналы управления и синхронизации, а также реализует требуемые виды модуляции. Отдельным вопросом является определение норм на эти показатели и эксплуатационной электромагнитной обстановки, которое должно выполняться на основе расчетно-экспериментального подхода, а иногда и экспертных оценок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проверка соответствия ППМ требованиям по ЭМС является важным условием достижения предельных выходных показателей работы РТС, в которых используются АФАР на их основе. ППМ получают всё большее распространение в изделиях гражданского назначения за счет снижения стоимости элементной базы, компактности конструкции ППМ и повышения их энергоэффективности. Можно ожидать, что в ближайшей перспективе доля узлов систем связи, в которых применяются АФАР на основе ППМ, существенно возрастет.

Одной из главных причин этого является использование всё более широкополосных каналов связи, обеспечение которых частотным ресурсом требует перехода ко все более высоким частотам. На частотах выше 20 ГГц радиопролеты даже небольшой протяженности требуют сложной юстировки антенн из-за высокой направленности, которая способна нарушаться за счет ветровых нагрузок и тепловой деформации конструкций, если используются классические антенны. Применение АФАР позволяет решить эту проблему за счет автоматической коррекции положения оси диаграммы направленности, что уже закладывается в алгоритмы работы перспективных систем радиосвязи.

Таким образом, значимость методов и средств обеспечения ЭМС ППМ, а также измерения её показателей в будущем будет только возрастать, а повышение общего объема испытаний требует тщательной выверки подходов к их проведению и их разумной оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Братчиков А.Н., Васин В.И., Василенко О.О. и др. Активные фазированные антенные решетки. — Под ред. Воскресенского Д.И., Канащенкова А.И. — М.: Радиотехника, 2004. — 488 с.
2. Семенов Н.А. Техническая электродинамика. — М.: Связь, 1973. — 480 с.
3. Бузов А.Л., Быховский М.А., Васехо Н.В. и др. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. — Под ред. Быховского М.А. — М.: Эко-Трендз, 2006. — 376 с.
4. Феоктистов Ю.А., Матасов В.В. и др. Теория и методы электромагнитной совместимости РЭС. — М.: «Радио и связь», 1988. — 216 с.
5. 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.
6. Кечиев Л.Н. Экранирование радиоэлектронной аппаратуры. Инженерное пособие. — М.: Грифон, 2019. — 720 с.
7. Уильямс Т. ЭМС для разработчиков продукции. — Пер. с англ. Кармашева В.С., Кечиева Л.Н. — М.: Издательский дом «Технологии», 2003. — 540 с.
8. Аветисян В.Г., Маркосян М.В., Оганесян А.А. и др. Тестирование модулей активной фазированной антенной решетки. (Сообщение 1. Методика тестирования) — Известия НАН РА и ГИУА, серия ТН 2007, т. LX, №3. — с. 516 — 522.
9. Лемешко Н.В., Водопьянов Г.В. Способ измерений параметров сиг-

налов нисходящего канала базовой станции в сетях с временным разделением дуплексных каналов. — Патент РФ №2501026.

10. Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами РФ, утвержденная постановлением правительства РФ №1049-34 от 21.12.11 г.
11. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Стандартинформ, 2014. — 16 с.
12. Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. — М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. — 478 с.
13. ГОСТ Р 51317.4.6-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, радиочастотным электромагнитным полям. Требования и методы испытаний». — М.: Госстандарт России, 2000. — 35 с.
14. ГОСТ CISPR 16-1-1-2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения». — М.: Стандартинформ, 2017. — 87 с.
15. ФЗ РФ №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008.
16. Интернет-ресурс https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/elektra-emc-productstartpage_63493-584628.html (дата обращения 12.05.2020). ☑

In the present article based on the purpose analysis of the transceiver modules and their typical structural diagram the authors have identified the typical EMC problems for which characteristics they may use the typical indicators. Basing on the operating modes of the transceiver modules, which corresponds to the highest noise emission and the lowest noise immunity, the authors suggest the general schemes for measuring the above EMC indicators using Rohde & Schwarz solutions and consider the key points in terms of preparation for such measurements.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОЙ ЕМКОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ МАЛОМОЩНЫХ МОП-ТРАНЗИСТРОВ

MOSFETS CHARACTERIZATION IN THE LOW POWER RANGE: OVERCOMING TEST CONNECTION CHALLENGES DUE TO HIGH CAPACITANCES

Андреа Винчи (Andrea Vinci), менеджер отдела маркетинга, Tektronix/Keithley

ВВЕДЕНИЕ

В полупроводниковой промышленности постоянно ведутся исследования по поиску специальных материалов, диэлектриков и новых геометрических форм с целью дальнейшего уменьшения размеров полупроводниковых приборов. Горизонтальные и вертикальные гетероструктуры из двухмерных решений, например, способствовали появлению революционно новой миниатюрной маломощной электроники.

Исследователи, ученые и инженеры отрасли сталкиваются с общими сложностями при внесении в отчеты точных электрических параметров таких полупроводниковых приборов, как специальные полевые нанотранзисторы. Более того, иногда им приходится доказывать, что они действительно способны контролировать эти параметры простым и воспроизводимым способом.

Типичная проблема измерения электрических характеристик в диапазоне малых токов — это необходимость определить при различных условиях достижимые показатели МОП-транзисторов малой мощности с малым током утечки.

Tektronix

Эти измерения очень важны, поскольку они определяют конкретные показатели качества (FoM), которые подтверждают или не подтверждают эффективность изделий в рамках конкретных применений.

Например, для МОП-транзистора n-типа требуется определить токи стока в открытом и закрытом состоянии при различных значениях напряжения источника стока и затвора. Показатели качества могут отличаться в зависимости от применения, но принцип их получения является общим: имеются прецизионные источники напряжения и тока, выходные сигналы которых подаются на исследуемое устройство и изменяются определенным образом, а измеряемые величины соотносятся с каждым изменением подаваемых сигналов.

На практике проблема решается с помощью определенного количества источников-измерителей (SMU) — специальных приборов, способных подавать нужный ток или напряжение для измерения как тока, так и напряжения исследуемого устройства.

Но там, где практическое решение кажется простым и очевидным, множество «подводных камней» может привести к неудачам и вводящим в заблуждение результатам. Давайте их рассмотрим.

ВАЖНЫЙ ВОПРОС, КОТОРЫЙ ВЫ ДОЛЖНЫ СЕБЕ ЗАДАТЬ

Все чаще и чаще инженеры попадают в ловушку, забывая проанализировать измерительную систему как единое целое. Или, проще говоря, они явно видят исследуемое устройство и свои прибо-

ры, но не учитывают того, что находится между ними.

Например, я неоднократно видел, как пользователи осциллографов забывали о том, что при подключении к определенной контрольной точке на печатной плате они использовали пробники, влияющие на результат измерения.

Те, кто вспоминали о влиянии пробника на сигналы, как правило, забывали о влиянии измерительного кабеля и о проблемах, связанных с взаимным влиянием сигналов.

«Да ладно, это тоже имеет значение?» — спрашивали они. Всё имеет значение. К сожалению. И мы должны это учитывать.

При измерении характеристик по постоянному току ситуация та же. Даже если физическое зондирование на тестируемом приборе оставить сложным и дорогим зондовым станциям, то SMU, подающие напряжение и измеряющие ток, соединяются с проб-картой с помощью кабелей.

Должны ли мы рассматривать кабели как то, что потенциально влияет на результаты измерений?

Независимо от ответа, важно, чтобы вы всегда задавали себе этот вопрос перед тем, как продолжить работу, и главное, чтобы вы были убеждены в правильности ответа.

Типичным примером важности учета влияния соединений являются точные измерения в процессе производства КМОП-приборов. Фактически это означает, что в схему измерений добавляются емкости соединений. А поскольку измерения современных МОП-транзисторов проводят в более широком диапазоне частот, любой эффект от добавления емкостей должен быть тщательно учтен.

В первую очередь рассмотрим, как соединение влияет на емкость. Автоматизированное оборудование для параметрического тестирования обычно подключается триаксиальными кабелями, обеспечивающими ма-



Осциллографы смешанных сигналов

Tektronix®

Новинка!

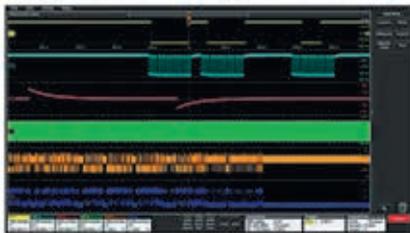


MDO Серии 3



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)

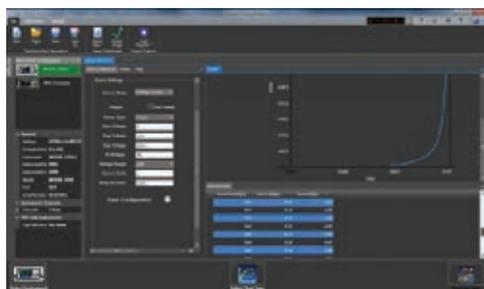
Параметр	2450	2460	2461	
Максимальная мощность	20 Вт	100 Вт	100 Вт / 1000 Вт (имп.)	
Напряжение (ист./изм.)	Макс. значение	200 В	100 В	
	Точность	±0,015% / ±0,012%		
	Разрешение	500 нВ / 10 нВ	5 мкВ / 100 нВ	5 мкВ / 100 нВ
Ток (ист./изм.)	Макс. значение	1 А	7 А	7 А ; 10 А (имп.)
	Точность	±0,02% / ±0,02%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

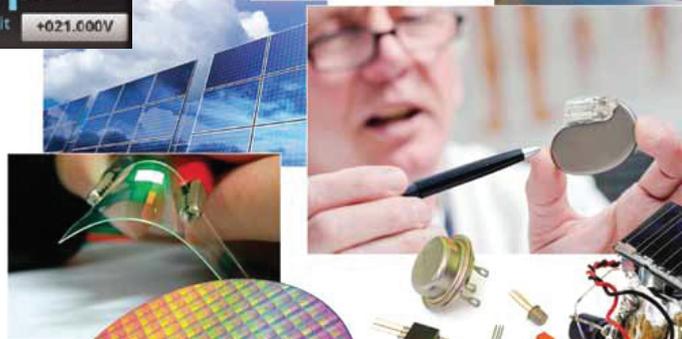
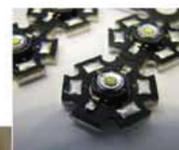
- Высокостабильный малошумящий программируемый источник питания
- Электронную нагрузку
- Прецизионный 6½-разрядный мультиметр
- Генератор тока (TrueRMS)
- Новую систему синхронизации TriggerFlow



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

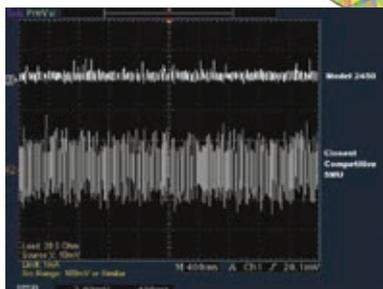
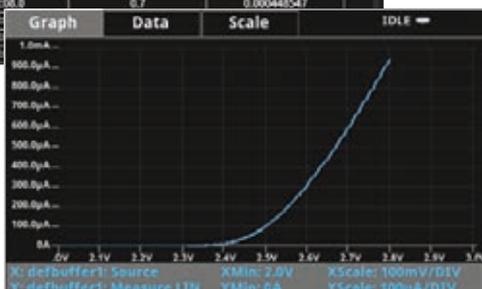


Начальная страница меню источника-измерителя содержит подробную информацию о состоянии прибора и позволяет изменять диапазоны, устанавливать выходные значения и выбирать пороги защиты, ускоряя проведение экспериментов.



Time	Source	Measure
09:58:09.29	0	-2.51226e-07
09:58:09.6	0.1	6.38803e-05
09:58:09.3	0.2	0.000127991
09:58:09.8	0.3	0.00019225
09:58:06.4	0.4	0.000256259
09:58:06.9	0.5	0.000320488
09:58:07.5	0.6	0.000384535
09:58:08.0	0.7	0.000448547

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



лошумящее соединение между источником-измерителем и исследуемым устройством (ИУ).

Триаксиальные кабели похожи на коаксиальные, но в них часть введенных помех экранируется дополнительной внешней медной оплёткой. Хотя экранирующая оплётка уменьшает распределенную емкость кабеля, но когда общая длина кабеля становится значительной, добавленная емкость кабеля может повлиять на ваши измерения.

Давайте рассмотрим практический пример использования системы для измерений параметров n-MOP транзисторов. Здесь измерительная система на основе SMU используется для построения вольт-амперных характеристик, которые также называют выходными или передаточными характеристиками.

Напряжение затвора запрограммировано на свипирование вверх и вниз (как было сказано выше, на SMU). При этом измеряется ток стока (также с помощью SMU).

Эти характеристики позволяют собрать полезные данные для точного моделирования параметров открытия и закрытия канала транзистора, определить линейный участок характеристики, найти точку перехода в режим насыщения, а также узнать, насколько эффект самонагрева потенциально способен изменить значения этих параметров и сдвинуть кривые.

Когда измерения характеристик касаются моделирования поведения носителей заряда — электронов и дырок, — которые перепрыгивают между состояниями и изменяют свою подвижность в зависимости от различных условий, измерительная система подключается к ИУ по четырехпроводной схеме с использованием траксиальных кабелей.

В ней общая длина кабелей равна сумме длин кабелей «высокий уровень, источник» и «высокий уровень, измеритель».

Исходя из удельной емкости триаксиального кабеля (пФ/м), расчетная емкость двух триаксиальных кабелей длиной 20 м (10 м + 10 м), соединяющих SMU с выводами ИУ, находится в диапазоне от 2 нФ для ёмкости guard-экрана до более 6 нФ для ёмкости shield-экрана.

При измерении передаточной характеристики на малых токах (порядка наноампер) не удастся воспользоваться высокой чувствительностью SMU, поскольку емкостная нагрузка кабеля вызывает возбуждение.

Чувствительность SMU должна сочетаться со способностью выдерживать также значительные емкостные нагрузки, создаваемые кабелями или любыми проводниками, соединяющими SMU с ИУ.

Если это не так, то чувствитель-



ность будет бесполезной, и прибор зарегистрирует только паразитные колебания.

Возможность определить условия, при которых емкость измерительных кабелей влияет на измерения, становится все более и более критичной. Разумеется, в таких ситуациях специалисты Keithley предоставляют исчерпывающие консультации, позволяющие клиентам избежать этих подводных камней.

Если в схеме имеются длинные соединительные кабели или между измерительной системой и ИУ включен матричный коммутатор, или во всех случаях, когда измерение ИУ на пластине выполняется в наноамперном диапазоне, очень важно еще раз проанализировать измерительную схему и обратиться за той или иной консультацией.

НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ДИАПАЗОНОВ МАЛЫХ ТОКОВ

В этих особо сложных условиях для измерений могут потребоваться специальные модули SMU.

Компания Keithley выпустила специальную версию SMU для работы с системами параметрического анализа, такими как параметрический анализатор 4200A-SCS.

SMU средней мощности 4201-SMU и SMU высокой мощности 4211-SMU (с опциональным предусилителем 4200-PA) гарантируют выполнение измерений малых токов даже в схемах с большой емкостью длинных кабелей. Фактически эти модули могут быть источниками и измерителями в измерительных схемах, емкость соединений которых в 1000 раз выше, чем возможно сегодня. Например, если уровень тока составляет от 1 до 100 пА, то новые модули Keithley остаются стабильными при емкости нагрузки до 1 мкФ. Для сравнения, максимальная емкостная

нагрузка SMU других производителей, при которой они сохраняют стабильность, составляет всего 1000 пФ, что в 1000 раз хуже.

ВЫВОДЫ

Путь к оптимизации полупроводниковых материалов для интегральных транзисторов с низким сопротивлением открытого канала, особой геометрией и структурой также требует постоянного совершенствования измерительных технологий. Успех транзисторов на основе нитрида галлия для перспективной силовой электроники тесно связан с наноструктурами, используемыми в процессе их производства. Более низкие емкости затвора заставляют рассматривать все другие значительные емкости, такие как емкости кабелей и разъемов, и преодолевать проблемы, повышая способность SMU выдерживать эти емкости для обеспечения стабильности измерений. ☑

The Semiconductor Industry is always searching for new special materials, dielectric solutions and new device geometries for scaling down the device size further and further. Lateral and vertical heterostructures of 2D materials for instance have led to new revolutionary tiny and low power electronics. It's the typical problem of electrical characterization in the low current range: the need to identify the attainable device performance under different conditions for low power / low leakage currents MOSFETs. The problem is practically solved by using a certain number of source measure units (SMUs), special instruments capable of sourcing current or voltage while measuring both current and voltage.

ЧЕТЫРЕ ФУНКЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ЦЕПЕЙ

FOUR FUNCTIONS THAT ENHANCE YOUR NETWORK ANALYSIS

Времена простого проектирования и испытаний миновали. Уменьшение размеров компонентов и повышение степени интеграции устройств увеличивает продолжительность испытаний в ходе разработки и производства, что замедляет вывод продукции на рынок. Становятся актуальными измерения, требующие применения множества приборов и строгого соблюдения методик, в силу чего процесс испытаний в ходе проектирования и производства сильно замедляется. Для того чтобы протестировать всего одно устройство, нужно затратить много времени на сборку измерительной схемы, настройку и калибровку нескольких приборов.

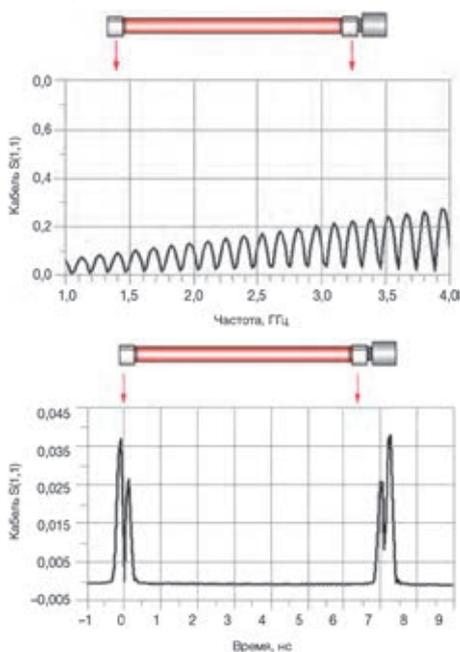


Рис. 1. Рассогласование в точках соединения кабеля с соединителями

Но выход есть!

Экономить время и упростить процесс испытаний можно с помощью анализаторов цепей нового поколения компании Keysight Technologies, выполняющих множество точных измерений



за одно подключение. Расширенный набор функций и многочисленные опции анализаторов цепей предоставляют богатейшие возможности для измерения характеристик современных устройств.

Анализаторы цепей компании Keysight серий E5080B, P50xxA и M980xA предлагают инновационные возможности и характеристики в настольном, USB и PXI форматах. Эти новые анализаторы содержат встроенные импульсные генераторы и модуляторы, анализаторы спектра и функции анализа во временной области, позволяя сэкономить время за счёт полного измерения характеристик современных устройств без дополнительного контрольно-измерительного оборудования.

Анализаторы цепей компании Keysight серий E5080B, P50xxA и M980xA позволяют:

- легко создавать схемы измерений, которые можно быстро перестраивать и калибровать;
- сокращать количество компонентов в схеме измерения, минимизируя затраты на обслуживание и издержки вследствие простоя;
- ускорять измерения и повышать производительность за счёт простых функций автоматической настройки;
- повышать точность, устраняя потери от лишних соединений и внешних коммутаторов;
- настраивать оборудование в соответствии с будущими контрольно-измерительными требованиями.

Из данной статьи вы узнаете, как разнообразные функции анализатора цепей позволяют успешно решать следующие задачи испытаний современных устройств:

- анализ во временной области;
- анализ спектра;

- анализ компрессии усиления;
- автоматическое исключение влияния тестовой оснастки на результаты измерений.

РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Повышение скорости передачи данных в современных цифровых системах приводит к тому, что целостность сигналов межсоединений существенно влияет на характеристики системы. Быстрый и точный анализ характеристик межсоединений во временной и частотной областях становится всё более важным для гарантии надёжной работы системы. Не стоит тратить время и усилия на подключение осциллографа для исследования характеристик во временной области. Вместо этого воспользуйтесь функцией рефлектометрии во временной области (TDR), которая с помощью обратного преобразования Фурье превращает результаты измерений в частотной области в результаты измерений во временной области.

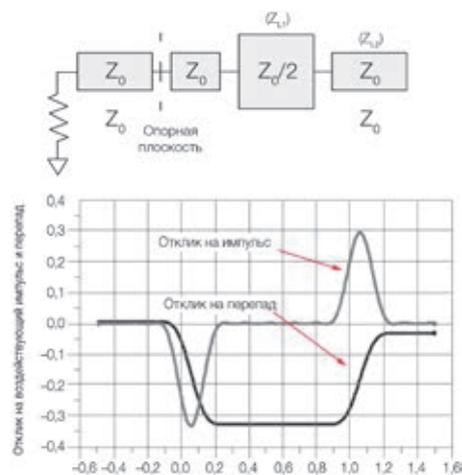


Рис. 2. Отклик на ступенчатое и импульсное воздействие при изменении импеданса

Функция TDR анализатора цепей предоставляет мощные возможности исследования ваших устройств. TDR основывается на экстраполяции характеристики по постоянному току из точек данных низкочастотной характеристики. Для более точной экстраполяции характеристики по постоянному току используют электронный калибровочный модуль ECal с опцией постоянного тока.

Определение местоположения физических дефектов — на частотной характеристике вы можете увидеть всплески из-за рассогласований, но не сможете распознать, где происходят отражения в вашем кабеле или устрой-

Основные возможности и технические характеристики векторного анализатора цепей серии ENA E5080B

- Диапазон частот от 9 кГц до 4,5 ГГц, 6,5 ГГц, 9 ГГц, 14 ГГц или 20 ГГц.
- Самый универсальный и гибкий СВЧ-анализатор цепей серии ENA.
- Широкий выбор измерительных приложений помогает получить более четкое представление о поведении тестируемого устройства.
- Тот же интуитивно понятный графический пользовательский интерфейс, что и в высокопроизводительных векторных анализаторах цепей компании Keysight.
- Совместимость по программным кодам с анализатором цепей E5071C.

стве. Переключение во временную область поможет вам увидеть местоположение рассогласований, изломов кабеля и других физических дефектов.

Измерения импеданса — коэффициент отражения устройства S_{11} пропорционален его входному импедансу. Во временной области параметр S_{11} каждого устройства в системе может быть представлен как отклик на импульсное или ступенчатое воздействие. По временной характеристике можно определить местоположение и фактический импеданс каждого компонента цепи.

Стробирование — при разработке схем и устранении неисправностей вы можете выборочно удалить характеристику отражения или передачи, чтобы сосредоточиться только на интересующей вас зависимости. Стробирование во временной области позволяет отдельно отображать реакции каждого компонента для облегчения разработки и отладки.

Вы можете также имитировать реальные условия работы с измерением глазковых диаграмм и симуляцией джиттера на активном устройстве. Испытания с имитацией реальных условий минимизирует итерации проекта, обеспечивая более раннее представление о работе устройства или схемы.

АНАЛИЗ СПЕКТРА

При разработке современного устройства нередко требуется и анализ цепей, и анализ спектра. Помехи от внеполосного сигнала могут вызвать ошибки при измерениях на анализаторе цепей, особенно при работе с устройствами, обладающими усилением. По-

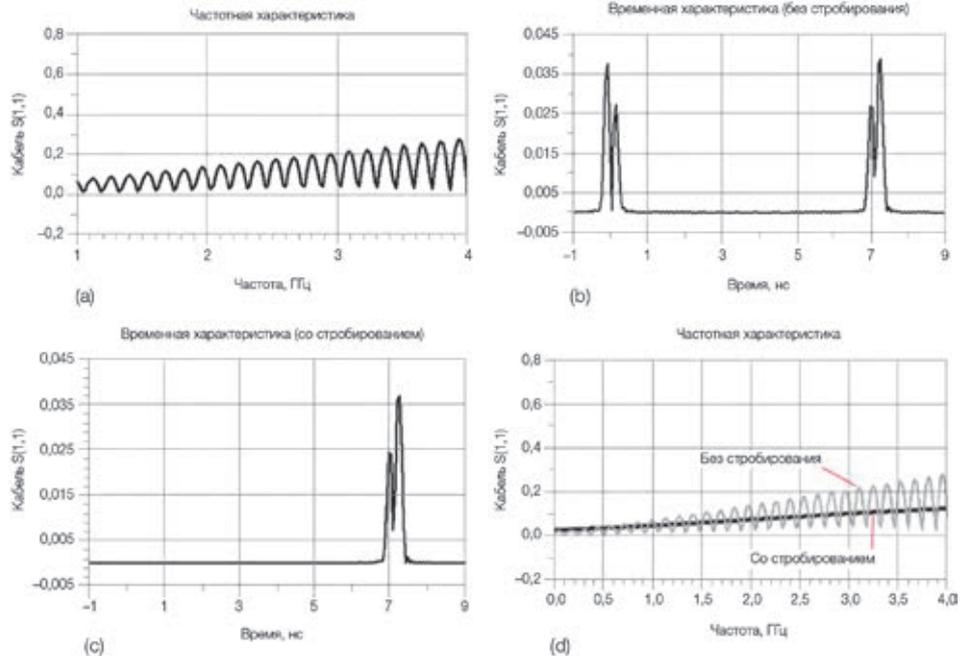


Рис. 3. Последовательность стробирования для удаления реакции на обрыв цепи

мехи могут поступать от множества трудно локализуемых источников. Поиск помех традиционно осуществляется с помощью анализатора спектра и генератора сигналов. Решение этой задачи с помощью внешнего анализатора спектра занимает некоторое время — необходимо подключить исследуемое устройство к анализатору и генератору сигналов, а затем перейти к поиску помех с использованием свипирования.

Чтобы избежать затрат времени на переключение и на сборку сложных схем измерений, можно выполнить анализ спектра на вашем анализаторе це-

пей. Современные анализаторы цепей оборудованы мощными процессорами, точными источниками сигналов и превосходными приёмниками. Благодаря им анализатор цепей превращается в универсальный прибор, обеспечивающий быстрый и точный поиск помех. Имейте в виду, что встроенная в анализатор цепей функция анализа спектра помогает при отладке устройств, но для полного исследования спектра и предварительных испытаний на соответствие стандартам требуется отдельный анализатор спектра.

С помощью анализатора цепей с

<p>Компрессия относительно линейного коэффициента усиления</p>	<p>Линейный коэффициент усиления измеряется при заданном линейном (входном) уровне мощности. Точка компрессии рассчитывается как разность линейного КУ и заданного уровня компрессии усиления</p>	
<p>Компрессия относительно максимального коэффициента усиления</p>	<p>Наибольшее значение коэффициента усиления, определяемое на каждой частоте, используется в качестве максимального коэффициента усиления. Точка компрессии усиления вычисляется как разность максимального КУ и заданного уровня компрессии</p>	
<p>Компрессия относительно уровня возврата</p>	<p>Сравниваются КУ для двух значений входной мощности, которые отличаются на заданную величину уровня возврата («backoff level»). Точка компрессии определяется как наибольшее значение уровня входной мощности, при котором КУ отличается на заданное значение уровня компрессии</p>	
<p>Метод X/Y</p>	<p>Сравниваются уровни выходной мощности при двух значениях входной мощности, которые отличаются на заданную величину ΔX. Точка компрессии определяется как наибольшее значение входной мощности, при котором уровень входной мощности отличается на заданную величину ΔY</p>	
<p>Компрессия относительно насыщения</p>	<p>Точка компрессии определяется как разность значения максимальной выходной мощности и значения, заданного как «FromMaxPout» (от максимального значения выходной мощности)</p>	

функцией анализа спектра можно быстро исследовать аномалии, одновременно выполняя измерения спектра и цепей. Отображение спектра и характеристик на выходе тестируемого устройства при одном и том же входном воздействии помогает ускорить его отладку, не тратя время на настройку другого прибора.

АНАЛИЗ КОМПРЕССИИ УСИЛЕНИЯ

Компрессия усиления определяет точку, в которой выходная характеристика усилителя перестает быть линейной и становится нелинейной. Для обе-



Рис. 4. Определение области компрессии усиления

спечения надёжной работы усилителей этот важнейший параметр должен измеряться во всём диапазоне частот.

Для исследования компрессии устройств с широким диапазоном частот требуется большое количество точек данных по частоте и мощности. Настройка измерений и обработка данных требуют значительного объёма ручной работы. Трудоемкие измерения компрессии увеличивают время испытаний и добавляют новые источники ошибок. Тенденция перехода в миллиметровый диапазон вызывает потребность в быстром определении характеристик в широком частотном диапазоне.

Прикладное программное обеспечение для измерения компрессии усиления предоставляет быстрые и точные результаты. Автоматизация измерений и анализа позволяет получать стабильные результаты и измерять компрессию различными методами за меньшее время.

Автоматизированное измерение компрессии позволяет защитить ваши устройства от опасных уровней мощности. Адаптивное свипирование плавно увеличивает мощность вблизи точки компрессии, не допуская перегрузки.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИСКЛЮЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕСТОВОЙ ОСНАСТКИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Многие современные устройства не имеют коаксиальных соединителей и требуют тестовой оснастки для подключения к коаксиальным соединителям измерительных приборов. Возможно, вам потребуется использовать пробники для измерений на пластине или закрепить небольшое устройство в коаксиальном переходнике. Всё находящееся между исследуемым устройством и прибором, включая оснастки, вносит погреш-

ность в измерения. Трудоемкая калибровка с целью исключения влияния тестовой оснастки требует использования специальных калибровочных мер и замедляет выполнение измерений.

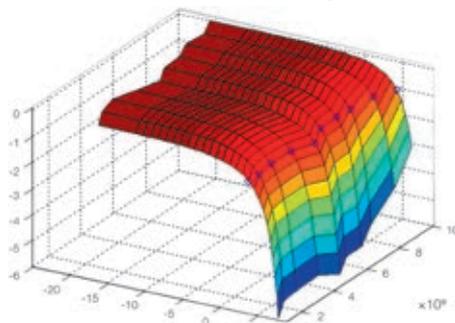


Рис. 5. Трёхмерная визуализация точек компрессии во всём диапазоне частот

Функция автоматического исключения влияния тестовой оснастки на результаты измерений предоставляет мастер настройки, который руководит подготовкой измерений, а затем автоматически выполняет их и корректирует результаты. Файлы с данными коррекции даже можно экспортировать, чтобы исключить влияние тестовой ос-

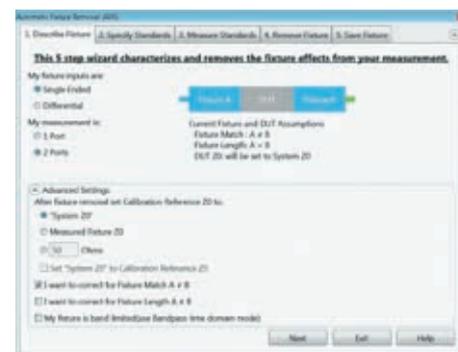


Рис. 6. Мастер настройки функции автоматического исключения влияния тестовой оснастки на результаты измерений

настки на результаты измерений другими приборами.

НОВЫЙ КЛАСС АНАЛИЗАТОРОВ ЦЕПЕЙ

Когда вам нужно измерить не только S-параметры, доверьте эту работу анализатору цепей. Вместо того, чтобы использовать отдельные приборы для анализа в частотной и временной областях, упростите схему измерений, выполняя все измерения анализатором цепей. Избавьтесь от необходимости выполнять настройку и измерения вручную, воспользовавшись функциями автоматического анализа компрессии усиления, автоматического исключения влияния тестовой оснастки на результаты измерений, а также специализированными прикладными программами.

Это только некоторые из задач, которые можно решить с помощью новых анализаторов цепей серий P50xxA, M980xA и E5080B. Разнообразное прикладное программное обеспечение, например, для анализа спектра, измерения коэффициента шума и параметров импульсных ВЧ сигналов, облегчает исследование сложных устройств.

По материалам, предоставленным компанией Keysight Technologies (www.keysight.com).

High-speed digital, wireless, aerospace and defense, and automotive companies need integrated active and passive components for devices such as cell phones, satellite communications, and 5G base stations, to increase performance and reduce size of end products. These highly integrated devices require highly integrated test solutions that address radio frequency (RF) test challenges while providing advanced functionality and performance. Keysight's E5080B, P50xxA Series, and M980xA Series network analyzers deliver next generation features and performance in benchtop, USB and PXI form factors. These analyzers combine built-in pulse generators and modulators, spectrum analysis and time domain analysis in a single instrument to save time by fully characterizing modern devices without the need for additional test hardware.

Основные возможности векторного анализатора цепей с шиной USB серии Keysight Streamline P50xxA

- Диапазон частот от 9 кГц до 4,5 ГГц.
- Универсальный, компактный, высокопроизводительный векторный анализатор цепей.
- Широкий выбор измерительных приложений помогает получить более четкое представление о поведении тестируемого устройства.
- Тот же интуитивно понятный графический пользовательский интерфейс, что и в других высокопроизводительных векторных анализаторах цепей компании Keysight.
- Быстрая и точная калибровка за счет поддержки всех модулей электронной калибровки (ECal) компании Keysight.

ЦИФРОВЫЕ RLC-МЕТРЫ

Контроль тестового уровня



0,05%

AMM-3044/3046

Новинка!

**Графический анализ
кривых резонанса**



0,05%

AM-3028

1 МГц!

Эконом-класс



AMM-3148

**Встроенный
источник смещения**



CV-метрия!

AMM-3068/3088

Встроенный компаратор



AM-3001

Анализ трансформаторов



AMM-3038/3058

Параметры	AMM-3148	AM-3001	AMM-3044/3046	AMM-3038/3058	AMM-3068/3088	AM-3028
Точность	0,1 %		0,05 %	0,05 %		0,05 %
Тестовая частота (макс.)	100 кГц		200 кГц	300 кГц/ 1 МГц		1 МГц
ЖК-дисплей	5 разрядов	6 разрядов LED	6 разрядов TFT	6 разрядов TFT (480×272)	6 разрядов TFT (800×480)	6 разрядов (320×240)
Ёмкость	0,001 пФ...10 мФ	0,0001 пФ...100 Ф		0,00001 пФ...10 Ф		
Индуктивность	0,001 мкГн...100 кГн	0,0001 мкГн...100 кГн		0,01 нГн...100 кГн		
Сопротивление	0,0001 Ом...100 МОм	0,0001 Ом...2000 МОм		0,01 МОм...100 МОм		

AM-3055



карманный

AMM-3033

Регистратор

+ мультиметр



AMM-3035

100 кГц

IP-67

+ графическая шкала



AMM-3320

DCR

Автоопределение компонентов



100 кГц

AM-3123
AM-3125

USB

DCR

10/100 кГц



Параметры	AM-3055	AMM-3033	AMM-3035	AMM-3320	AM-3123/AM-3125
Точность	1,2 %	0,5 %	0,5 %	0,3 %	0,25 %
Тактовая частота (макс.)	3 Гц	10 кГц	100 кГц	100 кГц	10 кГц (AM-3123) 100 кГц (AM-3125)
ЖК-дисплей	3 ½ разряда; однострочный	3 5/6 разрядов; однострочный	4 ½ разряда; двухстрочный	4 ½ разряда; двухстрочный	5 разрядов; двухстрочный
Схемы измерения	2-х проводная	2-х проводная	4-х, 5-ти проводная	2-х проводная	3-х, 5-ти проводная
Ёмкость	1 пФ...60 мФ	0,1 пФ...600 мкФ	0,01 пФ...20 мФ	200 пФ.../20 мФ	0,01 пФ/0,001 пФ...20 мФ
Индуктивность	—	0,1 мкГн...100 Гн	0,001 мкГн...20 кГн	20 мкГн/.../20 кГн	0,01 мкГн/0,001 мкГн...1 кГн
Сопротивление	0,1 Ом...60 МОм	0,1 Ом...60 МОм	0,001 Ом...200 МОм	20 Ом/.../2 МОм	0,1 Ом...10 МОм



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



БОЛЬШЕ
ИНФОРМАЦИИ НА
www.eliks.ru

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ СИГНАЛОВ СЕРИИ AWG-41XX



АКТАКОМ
ТОЧНО | НАДЕЖНО | ДОСТУПНО

www.aktakom.ru

АКТАКОМ



YouTube



@aktakom

- ✓ 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



ВЫСТАВКА CES 2021 ПЕРЕХОДИТ ПОЛНОСТЬЮ В ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ

CES 2021 MOVES TO AN ALL-DIGITAL EXPERIENCE

Александр Афонский (Alexander Afonskiy), Татьяна Афонская (Tatiana Afonskaya), Мария Боровская (Maria Borovskaya)

Начало 2020 года перевернуло наш привычный ритм жизни, заточив людей дома, лишив многих нормального заработка, уверенности в завтрашнем дне и даже простых радостей в виде посещения кинотеатров, торговых центров, музеев и выставок. Все, без исключения, мероприятия, предполагающие массовое скопление людей, были перенесены, а иные и просто отменены без сообщения о каких-либо новых датах и сроках.

В текущих условиях, единственным выходом из ситуации стал и продолжает оставаться интернет, в который у многих практически полностью ушла работа, и, конечно, досуг. Совещания и встречи по Skype или с помощью других технологий уже, в какой-то степени, вошли в привычку. Постепенно и практика проведения более крупных мероприятий, таких как конференции и всевозможные обучающие курсы, по интернет тоже перестала быть чем-то необычным. Виртуальные туры по музеям и выставкам также стали неотъемлемой частью жизни.

Лето принесло некоторое облегчение, но коронавирус все еще продолжает вносить свои коррективы во все сферы человеческой деятельности и диктовать свои правила. Угроза этого страшного заболевания не позволяет полностью восстановить привычный ход жизни, и мероприятия, запланированные на лето-осень, по-прежнему либо проводятся в рамках достаточно жестких ограничений, либо их проведение до конца остается под вопросом. А в отношении многих было принято решение о проведении посредством интернет-ресурсов.

К сожалению, через подобную неопределенность прошла и выставка потребительской электроники CES, которая проводится ежегодно в Лас Вегасе. Наш журнал каждый год освещает шоу, потому что это, по нашему мнению, одна из крупнейших, интереснейших и достойных для посещения выставок. Это мероприятие действительно настолько масштабное, что организаторы начинают готовиться к нему заранее — за год, а зачастую и больше. Не успев закрыть выставку текущего сезона, они уже строят планы на будущий год. Поэтому мы в течение весны-лета тщательно следили за новостями от организаторов CES.

Поначалу Ассоциация потребительских технологий (СТА)[®] — организатор



CES — предупреждала, что выставка пройдет в рамках повышенного контроля: массочный режим, использование санитайзеров, посетители будут придерживаться

строгих разметок на полу с соблюдением необходимой дистанции и т.п. Но в скором времени сами организаторы выдвинули предположение, что в 2021 году выставка будет несколько меньше обычного, хотя количество желающих по-прежнему высоко. Специалисты СТА постараются задействовать цифровые технологии, чтобы предоставить возможность принять участие в выставке тем, кто поехать не сможет.



Президент СТА Гэри Шапиро

И вот, стало известно, что одна из самых популярных международных выставок CES 2021, проведение которой было запланировано на 6-9 января 2021 г., перейдет полностью в цифровой формат. Новый онлайн-формат, по мнению организаторов, как и прежде, позволит CES стать центром встречи экспонентов, потребителей и представителей СМИ со всего мира. Участники этого масштабного мероприятия, по-прежнему, смогут увидеть самые свежие новинки, познакомиться с новыми компаниями-разработчиками, узнать еще больше нового о мировых брендах.

«Взвесив все самым тщательным образом, мы осознали, что объединить десятки тысяч людей в условиях пандемии и растущей обеспокоенности по поводу распространения COVID-19 просто не представляется возможным. — Поделится мнением президент СТА Гэри Шапиро. — Цифровые технологии помогают нам всем работать, учиться, оставаясь на связи с внешним миром, и это новшество также помогло нам пересмотреть специфику проведения CES 2021, побудив провести выставку в новом современном цифровом формате. Это будет уникальный опыт и выведет

общение экспонентов с аудиторией на новый уровень».

По мнению организаторов, за счет онлайн-формата у всех посетителей CES будет место в первом ряду, и о новейших технологиях они узнают первыми. Посещение выставки, таким образом, станет максимально комфортным, а главное — безопасным.

Уже более 50 лет CES является мировым центром инноваций. Цель CES 2021 нового формата — позволить крупным и малым компаниям продемонстрировать свои разработки, продвинуть бренд, поддержать партнерские отношения и найти новых потенциальных клиентов, сохраняя при этом самое дорогое — свое здоровье.

По-прежнему будут доступны в онлайн-формате:

- медийные мероприятия — пресс-конференции и ежедневные свежие пресс-релизы;
- демонстрация продукции в режиме онлайн;
- выступления ведущих игроков рынка потребительской электроники (Ваше место в первом ряду — гарантировано!);
- виртуальные встречи и общение.

Выставка CES 2021 пройдет с 6 по 9 января — это будет целых 4 дня с насыщенной деловой программой, будет задействовано более 30 категорий продукции и свыше 700000 новинок! И все это в рамках нового креативного формата.

«Новый формат позволит производителям и потребителям оставаться на связи, обмениваться идеями и вместе строить новое будущее. Мы еще обязательно вернемся в Лас Вегас в 2022 году, возобновим традиции живого общения и пожмем друг другу руки», — добавил г-н Шапиро.

По материалам, предоставленным СТА — организатором CES 2021 (www.cta.tech, www.ces.tech).

The Consumer Technology Association (CTA)[®] announced CES 2021[®] — January 6-9, 2021 — will be an all-digital experience connecting exhibitors, customers, thought leaders and media from around the world. The new format will allow participants to hear from technology innovators, see cutting-edge technologies and the latest product launches, and engage with global brands and startups from around the world.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ: ПРИЛОЖЕНИЯ

«КОСМИЧЕСКИЙ ТОЛЧОК» ИЛИ РАНГОВАЯ ИНВЕРСИЯ — ПРИЧИНА «ТУПИКА» В КОСМОЛОГИИ

MATHEMATICAL THEORY OF MEASUREMENT PROBLEMS: APPLICATIONS

«COSMICALLY JERK» OR RANG INVERSION — THE REASON FOR «DEAD END» IN COSMOLOGY

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

ВВЕДЕНИЕ

Продолжаем обсуждение проблем, связанных с «метрологическим и научным тупиком» [1, 2] в задаче калибровки, математический аппарат решения которой является общим для высокоточных средств измерений в метрологии и для шкал расстояний в космологии.

В статье [3] об «обнаружении ускорения расширения Вселенной» указано, что «... переход между замедлением и ускорением произошел, когда $(1+z)^2 \Omega_M / 2 = \Omega_\Lambda$, при красном смещении $z \approx 0,73$. Это было приблизительно тогда, когда взорвалась сверхновая SN 1997G, более $6 \cdot 10^9$ лет назад». В нобелевской же лекции [4] А. Рисс отметил, что «Вселенная расширялась с замедлением, прежде чем начала расширяться с ускорением (рис. 1).

Изменение значения или знака торможения обусловлено резким толчком. Для простой модели истории расширения переход между двумя эпохами ограничен $z = 0,46 \pm 0,13$. Даже одна хорошо промеренная на телескопе имени Хаббла сверхновая на вдвое большем красном смещении $z = 0,83$ стала свидетельствовать о совсем другой истории расширения».

На приведенном в лекции [4] рисунке показана зависимость модуля расстояния μ от красного смещения z . При этом фотометрическое расстояние

$$D_L = 10^{-5+0,2\mu}, \text{ [Мпк]}. \quad (1)$$

Так как зависимость (1) монотонна, нагляднее использовать расстояния в мегапарсеках.

В связи с общими проблемами калибровки средств измерений и шкал космологических расстояний возникает ряд методических вопросов: о математической модели калибровочной функ-

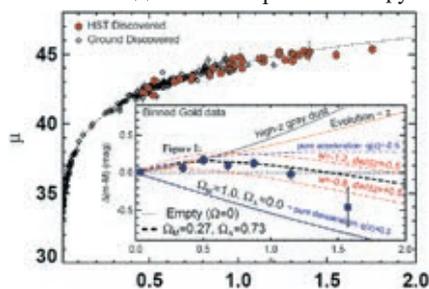


Рис. 1

ции, о данных для ее идентификации, об условиях применимости метода идентификации, об интерпретации результатов и их точности.

И, наконец, главное, как обнаружить момент (точку) изменения математической модели калибровочной функции?

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Как известно [5], основным результатом калибровки является диаграмма калибровки, обеспечивающая 1) пересчет показания откалиброванного средства измерений в искомое значение величины и 2) определение характеристики его точности. При этом следует помнить, что калибровка технического состояния средства измерений не меняет.

Шкала космологических расстояний это математическая модель зависимости $\mu(z)$, представленная на рисунке из лекции [4] — модель Фридмана–Робертсона–Уокера в явном виде

$$D_L = \frac{c}{H_0} \cdot \frac{1+z}{\sqrt{|\Omega_k|}} \begin{cases} \sin \varphi(z), \Omega_k < 0 \\ \varphi(z), \Omega_k = 0 \\ \text{sh } \varphi(z), \Omega_k > 0 \end{cases}, \quad (2)$$

$$\varphi(z) = \sqrt{|\Omega_k|} \int_0^z [(1+x)^2 (1 + \Omega_M x) - \Omega_\Lambda x(2+x)]^{-1/2} dx,$$

где c — скорость света, H_0 — параметр Хаббла, Ω_k , Ω_M и Ω_Λ — параметры кривизны, «темной материи» «темной энергии», или ее представления формулами Тейлора. Однако модель (2) используется только в простейшем случае при $\Omega_k = 0$, что обосновывается соглашением с интерпретацией данных экспериментов WMAP и Planck в рамках Λ CDM-модели [6] как «плоской Вселенной»:

$$D_L = \frac{c(1+z)}{H_0} \int_0^z \frac{dx}{\sqrt{(1+x)(1+\Omega_M x) - \Omega_\Lambda x(2+x)}}, \quad (3)$$

модель ограничена условием $\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$. (4)

Задача калибровки средства измерений методом максимума компактности [7–9] решается в два этапа.

Сначала методом совместных измерений устанавливаются в аналитическом виде характеристику положения функции поправок для калибруемого средства. Затем для отклонений данных со-

вместных измерений от характеристики положения находят характеристику рассеяния в виде распределения вероятностей в композиции с распределениями погрешностей средств калибровки и погрешностей неадекватности этих характеристик [10].

При калибровке шкалы космологических расстояний метод совместных измерений применяют дважды.

Сначала по данным фотометрии восстанавливают «по хвостам» кривые светимости сверхновых SN Ia, определяют максимумы яркости, приводят их к стандарту по Чандрасекару [11] и получают оценки D_L .

Правда, в отличие от калибровки средств измерений, моменты всплеск сверхновых пока непредсказуемы.

Сверхновым часто приписывают красные смещения галактик принадлежности, и методом совместных измерений идентифицируют модель (3) или ее разложение в ряд.

Однако, правда и то, что в обоих случаях математический аппарат статистической идентификации моделей (регрессионный анализ, схему неравноточных измерений, конъюнктный анализ и др.) применяют «без оглядки на последствия», подробно описанные в литературе [12–16, 7].

ОБ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНИМОСТИ

Детально условия применимости сформулированы в классическом линейном регрессионном анализе для метода наименьших квадратов (МНК), который реализует тот же алгоритм параметрической идентификации линейной по параметрам модели, что и метод максимального правдоподобия в случае принятия для отклонений аппроксимированных данных от модели (ее остатков) распределения Гаусса.

В общем случае характеристики положения линейных по параметрам моделей имеют вид

$$\tilde{y} = \theta_{0 \dots 0 \dots 0} + \sum_{i=1}^J \dots \sum_{j=1}^J \dots \sum_{k=1}^K \theta_{1 \dots j \dots k} \times \Omega_{i \dots j \dots k}(x_1^i, \dots, x_j^j, \dots, x_k^k) + \Xi, \quad (4)$$

где $\Omega_{i \dots j \dots k}(x_1^i, \dots, x_j^j, \dots, x_k^k)$ — заданные (базисные) функции, $\Xi \rightarrow \tilde{y}_n - \tilde{y}_n, n=1, N$, — остаток. Важный частный случай —

ПЕРВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ АКТАКОМ С РАЗРЕШЕНИЕМ 12 И 14 БИТ!

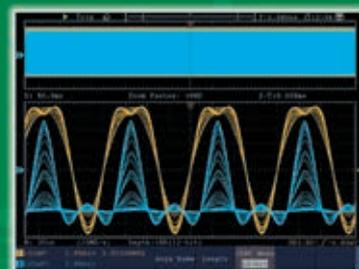


АКТАКОМ
ТОЧНО | НАДЕЖНО | ДОСТУПНО
www.aktakom.ru



@aktakom

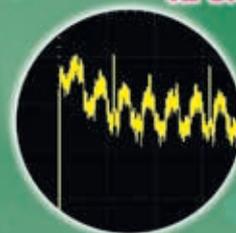
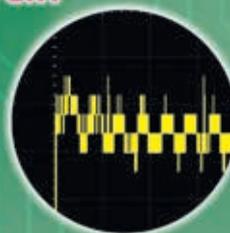
- ✓ До 4-х приборов в 1 корпусе :
 - Цифровой осциллограф с полосой 300 МГц
 - 1 или 2-х канальный генератор сигналов*
 - Цифровой мультиметр 3 ¼ разряда*
 - Анализатор протоколов I²C, SPI, RS-232, CAN*
- ✓ Большая глубина записи 40 миллионов точек
- ✓ Высокая скорость захвата осциллограмм 75000 осц/с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



Новинка!

8 бит

12 бит



14 бит!

Смотрите видео применения на сайте www.aktakom.ru

	ADS-6062H	ADS-6122	ADS-6122H	ADS-6142H	ADS-6222	ADS-6222H	ADS-6322
Количество каналов	2 + внешний запуск						
Полоса пропускания**	60 МГц	100 МГц			200 МГц		300 МГц
Максимальная дискретизация**	1 Гвыб/с				2 Гвыб/с	1 Гвыб/с	2,5 Гвыб/с
Скорость захвата	75000 осц/с						
Максимальная глубина записи**	40 М точек						
Горизонтальная развертка**	2 нс/дел до 1000 с/дел				1 нс/дел до 1000 с/дел с		
Вертикальное разрешение	8 / 12 бит	8 бит	8 / 12 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, ранг, окно, по истечению времени, N фронт, логический шаблон, сигналы последовательных шин						
Интерфейсы	Штатно: USB-device, USB-host, LAN; Опционально: VGA и AV выход						
Дисплей	Цветной 8", TFT, 800x600, 65535 цветов; опция сенсорный IPS дисплей 1024x768						

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



ЗЛИКС, 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

НОВОЕ ПАЯЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Монтажные паяльные станции



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



Термовоздушные паяльные станции

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



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



- 2 канала в 1 корпусе (монтаж/демонтаж)
- Цифровая индикация температуры
- Диапазон температур (монтажный канал) 200...500 °С
- Диапазон температур (демонтажный канал) 300...500 °С
- Мощность паяльников 60 Вт
- Эргономичная конструкция паяльников
- Схема контроля температуры

АТР-3101



$$\tilde{y} = \theta_0 + \sum_{m=1}^M \theta_m \cdot x^m + \Xi \quad (5)$$

Отсутствие зависимости по характеристике положения соответствует наличию в структуре модели только одного параметра θ_0 — константы.

Применение МНК требует для остатков Ξ , т.е. ξ_n , $n=1, \dots, N$, выполнения ряда условий.

1. Условие **стохастичности** — существование для остатков функции распределения вероятностей $F_*(\xi)$.

2. Условие **центрированности** для математического ожидания $M\{\xi_n\} = 0$, $n=1, \dots, N$.

3. Условие **некоррелированности** — $M\{\xi_i \xi_j\} = 0$ при всех $i, j=1, \dots, N$.

4. Условие **гомоскедастичности** для дисперсий —

$$M\{\xi_i \xi_j\} = D\{\xi\} = \theta_{G_2}^2, \quad i, j=1, \dots, N.$$

5. Условие **гауссовости** ($\ast = G$) для плотности распределения вероятностей —

$$f_{\Xi}(\xi) = \frac{1}{\theta_{G_2} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\{-\xi^2 / (2\theta_{G_2}^2)\}$$

6. Условие **неконфлюэнтности** — аргументами моделей (4) или (5) являются «точные» числа без погрешностей.

7. Условие **неограниченности** — на параметры модели не наложены ограничения.

8. Условие **замкнутости** — число искомым параметров модели не менее числа уравнений нормальной системы.

9. Условие **адекватности** — структура модели не избыточна, ни недостаточна.

При выполнении этих условий и использовании линейной по параметрам регрессионной модели оценки ее параметров обладают свойствами:

1) состоятельности —

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P\{|\hat{\theta}_m - \theta_m| < \varepsilon\} = 1, \quad m = \overline{0, M-1};$$

2) несмещенности —

$$M\{\hat{\theta}_m\} = \theta_m, \quad m = \overline{0, M-1};$$

3) $M\{\hat{\theta}_k, \hat{\theta}_l\} = a_{kl} \cdot \theta_{G_2}^2$

где $k, l = \overline{0, M-1}$, a_{kl} — элемент матрицы $A = (R^T R)^{-1}$, R — матрица базисных функций модели (4) в виде матриц $Y = R\theta + \Xi$;

4) **эффективности**, причем дисперсия оценки параметра θ_m

$$D\{\hat{\theta}_m\} = A_{mm} \cdot \theta_{G_2}^2 / A_0,$$

где A_{mm} — алгебраическое дополнение матрицы A , A_0 — ее определитель;

5) дисперсия оценки характеристике положения модели

$$D\{\tilde{Y}(\theta, X)\} = \Omega^T A \Omega \theta_{G_2}^2,$$

где Ω — матрица-столбец базисных функций модели;

6) $M\{\Xi^T \Xi\} = (N-M) \cdot \theta_{G_2}^2$.

Свойства 2), 4) и 6) не зависят от вида распределения остатков, если для него дисперсия существует.

Из перечисленных условий применимости МНК внимание обратим на условия 3, 6, 7 и 9.

Нарушение условия 3 **некоррелированности** приводит к явлению автокорреляции:

– оценки параметров, оставаясь несмещенными, теряют эффективность;

– дисперсии оценок параметров становятся смещенными, что может привести к признанию статистически значимыми переменных модели, которые таковыми в действительности могут и не являться;

– дисперсия оценки регрессионной модели во многих случаях занижается;

– нарушаются условия применимости критериев Стьюдента и Фишера.

Нарушение условия 6 **неконфлюэнтности** приводит к смещению, занижению оценок дисперсии и потере состоятельности оценок параметров. Возникает необходимость применения математического аппарата конфлюэнтного анализа, отличающегося более высоким уровнем сложности.

Нарушение условия 7 **неограниченности** вызывает явление стохастической мультиколлинеарности:

– неустойчивость оценок (добавление или исключение даже одного отсчета может привести к сильноному изменению оценок параметров регрессионной модели и к резкому уменьшению точности предсказания по модели);

– численная неустойчивость процедуры оценивания, вызванная погрешностями округления и их накоплением;

– параметры регрессионной модели оказываются сильно коррелированными, что лишает смысла интерпретацию;

– резко увеличиваются дисперсии оценок параметров модели;

– применение критериев значимости становится ненадежным, т.к. значения среднеквадратических отклонений входят в формулы критериев значимости.

При нарушении условия 9 **адекватности** неполнота модели ведет к смещению остатков, а избыточность — к завышению дисперсий оценок параметров.

Нарушения условий некоррелированности и неограниченности при обработке данных измерений микроволнового фонового излучения в эксперименте Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) удивили специалистов.

В отчете WMAP-7 [17] отмечен парадокс «числа параметров»: дополнение Λ CDM-модели одним-двумя параметрами увеличивает ее точность на 90...300%, но тогда СКО оценок параметра Хаббла H_0 возрастает в 1,28...6 раз!

Согласно [18], «большинство параметров хорошо определяются в рамках модели. Исключение составляют спектральный индекс n , и оптическая толщина τ . По этим параметрам существует явное вырождение: функция правдоподобия меняется только на 0,05 при изменении оптической толщины в интервале $0,11 < \tau < 0,19$ » [19]. Это явление в отчете WMAP названо degeneration of Λ CDM-model [20].

В этой связи интересно заявление

Б. Шмидта в нобелевской лекции [21]: «в 1996 году стало ясно, что мы пытались решить одни и те же статистические проблемы — не то что они не были решены наукой, это мы были на **новой для нас территории** и изо всех сил пытались выяснить их решение. Адам Рисс, который в своей диссертации подробно занимался статистическими методами, ... предложил обратить критерий χ^2 в вероятность...».

Какие же последствия нарушений условий применимости статистических методов остались «не замеченными» в работах [3, 22, 23]?

О НОВИЧКАХ В СТАТИСТИКЕ

Когда создавались группы Supernova Cosmology Project С. Перлмуттера и High-Z Supernova Search Team (HZSN), в составе которой был А. Рисс, благодаря переводам Ю.П. Адлера во Всесоюзную дискуссию по проблемам применимости статистических методов были вовлечены работы ведущих зарубежных специалистов в области математической статистики — Дж. Тьюки, Ф. Мостеллера, И. Вучкова, М. Холлендера, Д. Вулфа и др. Материалы этой дискуссии получили признание профессиональных статистиков и исследователей-прикладников.

Однако для космологов и ряда метрологов дискуссия осталась вне поля зрения.

Вряд ли метод «минимума χ^2 А. Рисса» отличается от метода «минимума хи-квадрат» К. Рао, но еще со времен А. Эйткена было известно, во сколько раз в «нормальной» теории «СКО среднего арифметического» меньше «СКО выборки».

Но казус оказался в нарушении сразу трех условий — неконфлюэнтности, неограниченности и адекватности.

Во-первых, математическая конструкция, на которой основан «метод χ^2 А. Рисса», представляет собой функцию правдоподобия для распределения Гаусса [3, формула (7)]

$$P(\mu_0 | H_0, \Omega_m, \Omega_\Lambda) = \prod_i \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_{\mu_0,i}^2 + \sigma_i^2)}} \times \exp\left\{-\frac{[\mu_p(z_i; H_0, \Omega_m, \Omega_\Lambda) - \mu_0, i]^2}{2(\sigma_{\mu_0,i}^2 + \sigma_i^2)}\right\}.$$

Здесь $\mu_p = 5 \log D_L + 25$ — модуль расстояния из (1), индексом i отмечены оценки z и μ , $\sigma_{\mu_0,i}$ и σ_i — стандартные отклонения (СКО) оценок соответственно μ и красного смещения за счет т.н. пекулярных скоростей галактик по принадлежности SN Ia в единицах μ .

Это значит, для оценивания космологических параметров используется схема неравноточных измерений (выражение в фигурных скобках) с весовыми коэффициентами, обратно пропорциональными сумме дисперсий оценок переменных модели, которые не являются «точными» числами, и задача должна решаться методами конфлюэнтного анализа.

Во-вторых, из модели (2) исключен параметр кривизны Ω_k , а на оставшиеся параметры плотностей наложено ограничение (4), т.е. нарушено условие неограниченности. Без этого ограничения метод «минимума χ^2 » дал оценки $\Omega_M = 0,72$ и $\Omega_\Lambda = 1,48$ при $\chi^2 = 1,04$. Принятие же $\Omega_k = 0$ дало $\Omega_M = 0,24$ и довело статистику χ^2 до 1,17.

Среднее абсолютное отклонение (CAO) модели (3) составило при $H_0 = 65,2 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$ 429 Мпк, но при $\Omega_M=0,28$ и $\Omega_\Lambda=0,72$ оценка $H_0=63,0 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$ дала 460 Мпк, а при $H_0=70,0 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$ еще больше — 759 Мпк [24].

Выбор «уточненных» оценок $\Omega_M=0,24$ и $\Omega_\Lambda=0,76$ при $H_0=65,2 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$ можно было бы считать обоснованным, если бы не проверка тестами на неадекватность [8, 9].

Проверка [24, 25, 1] началась одновременно с заявлением лидера проекта Hubble Space Telescope В. Фридман о «тупиковой ситуации» в космологии [26, 27]. Тогда по программе «ММК-стат М», с помощью которой в 1998 году была идентифицирована анизотропия красного смещения радиогалактик и квазаров, была обнаружена дипольная анизотропия красного смещения SN Ia, использованных [3] для обнаружения «ускорения расширения Вселенной» при $z \leq 0,97$. При этом анизотропная модель оптимальной сложности в галактических координатах (l, b) с учетом всех данных имела вид

$$D_L = (c/H_0) \cdot [(1 + a_b \cdot b) \cdot z + \frac{1}{2}(1 - q_0) \cdot (1 + a_l \cdot l) \cdot z^2], \quad (6)$$

где $H_0 = 60,804042 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$, $q_0 = -0,14378664$ — параметр замедления, $a_l = -2,56865513 \cdot 10^{-3}$ и $a_b = 2,027311498 \cdot 10^{-3}$ — коэффициенты анизотропии.

Еще в 2007 году Д. Шварц и Б. Вейнхорст по данным о SN Ia обнаружили по критерию χ^2 асимметрию диаграммы Хаббла при $z < 0,2$ с максимумом, близким к ориентации экваториальной системы. Они указали на необходимость полного исследования возможных си-

стематических эффектов и проведения калибровки SN между экваториальными полушариями, отметив, что анизотропия диаграммы Хаббла на угловых масштабах $\sim (10...20)^\circ$ вызвана ячеистостью крупномасштабной структуры Вселенной. Они считали, что большая часть свидетельств об ускорении расширения Вселенной получена по косвенным аргументам и основывается на непроверенных предположениях, а независимый от модели тест не в состоянии обнаружить ускорение Вселенной в области статистической значимости. Поэтому рано считать «ускоренное расширение Вселенной» само собой разумеющимся свидетельством, оно в значительной степени полагается на априорные предположения о Λ CDM-модели [28].

Модель (6) как разложение модели (2) в трехмерный степенной ряд при минимуме его среднего модуля погрешности неадекватности (СМПН) согласно [8] позволила сделать следующие выводы.

1. Дипольную анизотропию красного смещения SN Ia, имеющую ту же ориентацию, что и дипольная анизотропия красного смещения галактик, радиогалактик и квазаров, можно считать установленным фактом, т.к. не только CAO модели (6) составляет $226,03539 \text{ Мпк} < 429 \text{ Мпк}$, но и СМПН — $247,42842 \text{ Мпк}$. Поэтому шкала космологических расстояний (6), откалиброванная по сверхновым типа SN Ia, тоже является анизотропной.

2. Полученная группой А. Рисса в 2016 году модель [29]

$$D_L(z) = (c/H_0) \cdot [z + \frac{1}{2}(1 - q_0)z^2 - \frac{1}{6}(1 - q_0 - 3q_0^2 + j_0)z^3] \quad (7)$$

с параметром толчка j_0 [30], вызвавшая дискуссию из-за расхождения оценок параметра H_0 [1], избыточна, так как модель оптимальной сложности (6) кубических членов по красному смещению не содержит. Да и наличие j_0 с «самого начала» исключает его появление в какой-либо момент времени.



Рис. 2. ММКМЕДС-модель характеристики положения шкалы космологических расстояний с «разладками»



Рис. 3. ММКМНК-модель характеристики положения шкалы космологических расстояний с «разладками»

3. СМПН и CAO модели (6), а также анализ [31], показывают, что оценки точности шкалы космологических расстояний 2,4% [29] и менее [27] являются следствием ошибочного использования «СКО среднего арифметического» вместо «СКО выборки».

4. Избыточность модели (7) с параметром j_0 и устранение моделью (6) расхождения оценок параметра Хаббла, вызвавшего дискуссию, требуют детального рассмотрения вопроса об оценках момента перехода от «замедления к ускорению расширения Вселенной».

Возникает вопрос, что может соответствовать «толчку» в модели шкалы космологических расстояний? И был ли «толчок» вообще? Или это — интерпретация анизотропии?

АНИЗОТРОПИЯ И ИНВЕРСИЯ

Общая рекомендация для применения статистических методов решения измерительных задач, целью которых является идентификация математиче-

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗ H_0 , N_{00} и N_{000} ПО ДАННЫМ [3, 32-34] $N = 120$

Таблица 1

Алгоритм	ММКМНК							
Диапазон композиционной однородности по z	0,008...1,755							
Интервал непрерывности по z	0,008... 0,83	0,839 ...0,84	0,854...0,95	0,954...1,01	1,02...1,19	1,23...1,3	1,305...1,4	1,551...1,755
Объем выборки N	90	2	4	6	6	4	6	2
Код структуры модели	010000	000001	010000	000100	100000	010000	000100	010000
Параметры модели	5404,21	12374,1	6591,823	8214,763	7501,631	7839,505	8268,3	6678,834
Параметр H_0 , $\text{км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$	55,47387278	-	45,47944597	-	-	38,2412484	-	44,88694554
СМПН, Мпк	314,9334	491,4998	314,5989	627,3931	1025,678	719,0664	2693,149	59,33789
Общий СМПН, Мпк	497,1471932							
Алгоритм	ММКМЕДС				ММКМНК			ММКМЕДС
Диапазон композиционной однородности по z	0,008...1,755				0,172...0,83			0,216...1,755
Интервал непрерывности по z	0,008... 0,079	0,088 ... 0,215	0,3 ... 0,44	0,48 ... 0,57	0,62 ...0,97	0,172... 0,763	0,828 ... 0,83	0,216...1,755
Объем выборки N	24	3	5	3	2	40	2	41
Код структуры модели	01000	01000	01000	01000	01000	010000	100000	11000
Параметры модели	4736,893	4967,674	5800,16	6244,237	7075,912	4943,809	3533,886	-618,6035; 7897,767
Параметр H_0 , $\text{км}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{Мпк}^{-1}$	63,28883891	60,34865774	51,68692898	48,01106332	42,36803086	60,63997578	-	37,95914187?
СМПН, Мпк	11,97061	21,62077	274,2916	68,66854	1134,779	279,2859	536,0161	841,9686
Суммарный СМПН, Мпк	113,4913127				291,5111476			841,9686

ских моделей зависимостей между физическими и расчетными величинами проста — **соблюдать логику статистического вывода.**

Пример такой логики — проверка системы нулевых гипотез по критерию минимума СМПН [8]: вырожденности H_0 , непрерывности H_{00} и композиционной однородности H_{000} .

Проверка гипотезы H_0 дает ответ на вопрос, модели какого рода следует рассматривать?

То ли модели стохастических величин в виде распределений вероятностей или модели в виде случайных функций.

Проверка гипотезы H_{00} , отсутствия изменений структуры и параметров или только параметров («разладок» по А.Н. Ширяеву), не требует комментариев (рис. 2 и 3).

Проверка гипотезы H_{000} — аналог проверки данных измерений на статистическую однородность, ответ на вопрос, является ли гипотеза единой модели более правдоподобной (строго говоря, менее неадекватной), чем гипотеза об индивидуальных моделях.

При определении параметров модели могут быть использованы методы наименьших квадратов (МНК) или модулей (МНМ). Эти алгоритмы в схеме перекрестного наблюдения погрешности неадекватности обозначены ММКМНК и ММКМНМ, а интерполяционный вариант ММКМНМ, когда в качестве узлов интерполяции назначают выборочные медианы, — ММКМЕДС.

Итак, «разладка» модели шкалы соответствует «толчку».

В таблице 1 приведены результаты проверки гипотез о положении момента «толчка» по красному смещению. И действительно, при красном смещении $z = 0,44...0,48$ «разладка» соответствует оценке $0,46 \pm 0,13$ в лекции [4].

В выборке 42 SN Ia [32] обнаружена «разладка» на интервале $z = 0,763...0,828$ (рис. 4). Причем SN 1997G соответствует $D_L = 3854,783577$ Мпк и красное смещение $z = 0,763$ (в [3] допущена опечатка — 0,73).

Казус (рис. 4, табл. 2) раскрыли данные SN 1997ap: при $z = 0,83$ ее $D_L = 3265,878322$ Мпк, тогда как у SN 1996cl при $z = 0,828$ $D_L = 3801,893963$ Мпк!

Видно, оттого SN 1997ap и ярче, что на 589 Мпк ближе!

Это значит, что алгоритмы метода максимума компактности (ММК) в методе совместных измерений учитывают неадекватность моделей и ранговую ин-

Таблица 2

РАНГОВАЯ ИНВЕРСИЯ SN Ia [3, 32]

SN	z	D_L , Мпк	Источник
1996E	0,43	2228,435149	[3]
1996U	0,43	3235,936569	[3]
1997ce	0,44	2454,708916	[3]
1995K	0,48	3090,295433	[3]
1995ay	0,480	2523,480772	[32]
1996l	0,57	3564,511334	[3]
1996cf	0,570	2594,179362	[32]
1997J	0,619	3341,950400	[32]
1996H	0,62	3944,573021	[3]
1996cl	0,828	3801,893963	[8]
1997ap	0,830	3265,878322	[8]

версию данных, которая для моделей шкал расстояний не допустима.

В этом отношении показателен пример с ранговой корреляцией Спирмэна [35]: корреляция есть, а модель — средняя температура...

Таким образом, данные работ [3, 32–34] являются независимым доказательством того, что шкала красных смещений не имеет статуса ни метрической, ни порядковой.

КАЛИБРОВКА В УСЛОВИЯХ НЕКОНФЛЮЭНТНОСТИ

Вопросу построения линейных градуировочных характеристик при наличии погрешностей измерений входных величин посвящен целый раздел МИ 2175-91 [36]. И если «погрешности измерений входных и выходных величин имеют примерно одинаковый порядок, то в случае непланируемого эксперимента следует использовать методы конфлюэнтного анализа». Рассматривается случай, когда «погрешности измерений входных величин достаточно малы и не могут изменить их порядок возрастания (если расположить результаты измерений x_i в порядке возрастания, то и истинные значения X_i также возрастают)» [37]. В противном случае, который и имел место в работах [3, 32–34] — нарушение условия монотонности, методы конфлюэнтного анализа оказываются неэффективными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопленный опыт калибровки средств измерений с учетом погрешностей неадекватности [8–10, 31, 38–52] позволил выявить существенный фактор «тупиковой ситуации» в космологии.

Но, строго говоря, никакой «тупиковой ситуации» в космологии нет. Есть обычная дискордантность математических моделей, построенных по данным

измерений из различных источников, отягощенная нарушениями условий применимости статистических методов в тяжелых случаях, когда погрешностями неадекватности математических моделей пренебрегать уже нельзя.

А «проблема» оценок параметра Хаббла может быть решена и должна быть решена соблюдением логики статистического вывода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Калибровка космическая и земная — Метрологический и научный тупик? // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 2. С. 35–38.
2. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Калибровка космическая и земная — факторы масштаба и плана измерений // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2019. № 3. С. 6–10.
3. Riess A.G. et al. Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant // Astronomical Journal. 1998. V. 116. P. 1009–1038.
4. Рисс А. Дж. Мой путь к ускоряющейся Вселенной. Нобелевская лекция. Стокгольм. 08.12.2011 г. // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. № 10. С. 1090–1098.
5. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Калибровка средства измерений — Три решения одной измерительной задачи // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 1. С. 35–38.
6. Planck Collaboration. Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters // Astronomy & Astrophysics. 2016. V. 594. A13.
7. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач. Часть 10. Метод совместных измерений. // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2006. № 3, с. 23–24; № 4, с. 32–36; № 5, с. 33–34.
8. Р 50.2.004–2000. ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.
9. МИ 2916–2005 ГСИ. Идентификация распределений вероятностей при решении измерительных задач.
10. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Калибровка средства измерений — Три решения одной измерительной задачи // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 1. С. 35–38.
11. Chandrasekhar S. The Maximum Mass of ideal White Dwarfs // Astrophysical Journal. 1931. Vol. 74. P. 81–82.
12. Frisch R. Statistical Confluence Analy-

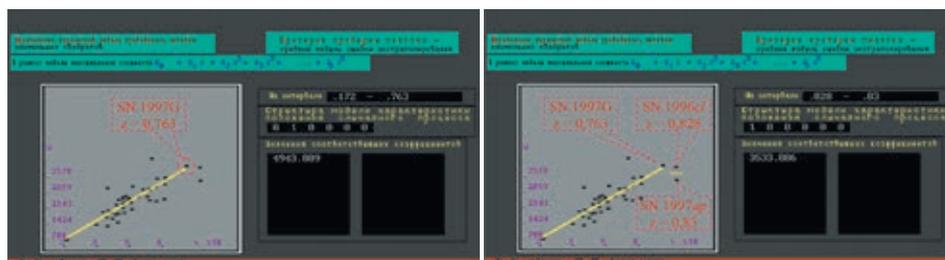


Рис. 4. «Разладка» на интервале 0,763...0,828 по данным [32]

- sis by Means of Complete Regression Systems. Oslo: 1934.
13. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. Пер. с англ. Л.И. Гальчука, А.Т. Терехина под ред. А.Н. Колмогорова. М.: Наука, 1973.
 14. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1985.
 15. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ. Пер. с болг. Ю.П. Адлера. М.: Финансы и статистика, 1987.
 16. Грешилов А.А. Анализ и синтез стохастических систем. Параметрические модели и конфлюэнтный анализ. М.: Радио и связь, 1990.
 17. Larson D. et al. 7 year WMAP observations: power spectra and WMAP-derived parameters // Preprint WMAP. 26.01.2010.
 18. Spergel D.N. et al. First-year WMAP observations: Determination of cosmological parameters // Astrophysical J. Supplements. 2003. V.148. P. 175.
 19. Сажин М.В. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Последние данные // Успехи физических наук. 2004. Том 174. № 2. С. 197.
 20. Hinshaw G. et al. 5-year Wilkinson microwave anisotropy probe observations: Data processing sky maps, and basic results // Astrophysical Journal Supplements. 2009. V. 180. P. 225–245.
 21. Шмидт Б.П. Ускоренное расширение Вселенной по наблюдениям далеких сверхновых. Нобелевская лекция. Стокгольм. 08.12.2011 г. // Успехи физических наук. Т. 183, № 10. Октябрь 2013 г. С. 1078–1089.
 22. Riess A.G. et al. Type Ia supernova discoveries at $z > 1$ from the Hubble space telescope: evidence for past deceleration and constraints on dark energy evolution // Astrophysical Journal. 2004. Vol. 607. P. 665–687.
 23. Riess A. et al. New Hubble Space Telescope discoveries of type Ia supernovae at $z \geq 1$: Narrowing Constraints of the Early Behavior of Dark Energy // Astrophysical Journal. 2007. Vol. 659. P. 98–121.
 24. Левин С.Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 5. Метрологическая экспертиза по сверхновым типа SN Ia // Измерительная техника. 2016. № 8. С. 3–10.
 25. Левин С.Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 6. Статистическая анизотропия красного смещения // Измерительная техника. 2017. № 5. С. 3–6.
 26. Beaton R.L., Freedman W.L., Madore B.F. et al. The Carnegie-Chicago Hubble program. I. An independent approach to the extragalactic distance scale using only population II distance indicators//arXiv:1604.01788v3 [astro-ph.CO] 11 Nov 2016.
 27. Freedman W.L. Cosmology at a Crossroads: Tension with the Hubble Constant // arxiv.org: 1706.02739 13 Jul 2017.
 28. Schwarz D. J., Weinhorst B. (An)isotropy of the Hubble diagram: comparing hemispheres // Astronomy & Astrophysics. 2007. V. 474. P. 717–729.
 29. Riess A. et al. A 2.4 % Determination of the Local Value of the Hubble Constant // Preprint Astrophysical Journal. arXiv:1604. 01424v3[astro-ph.CO] 9 Jun 2016.
 30. Visser M. Jerk, snap, and the cosmological equation of state // arXiv:gr-qc/0309109 31 Mar 2004.
 31. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Калибровка космическая и земная — факторы масштаба и плана измерений // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2019. № 3. С. 6–10.
 32. Perlmutter S. et al. Measurements of Ω and Λ from 42 high-red shift supernovae // Astrophysical Journal. 1999. Vol. 517. P. 565–586.
 33. Riess A.G. et al. Type Ia supernova discoveries at $z > 1$ from the Hubble space telescope: evidence for past deceleration and constraints on dark energy evolution // Astrophysical Journal. 2004. Vol. 607. P. 665–687.
 34. Riess et al. New Hubble Space Telescope discoveries of type Ia supernovae at $z \geq 1$: Narrowing Constraints of the Early Behavior of Dark Energy // Astrophysical Journal. 2007. Vol. 659. P. 98–121.
 35. Закс Л. Статистическое оценивание. Пер. с нем. В.Н. Варыгина под ред. и с предисловием Ю.П. Адлера и В.Г. Горского. М.: Статистика, 1976.
 36. МИ 2175–91 ГСИ. Градуировочные характеристики средств измерений. Методы построения. Оценивание погрешностей.
 37. Семенов Л.А., Сирая Т.Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. М.: Изд-во стандартов, 1986.
 38. Левин С.Ф. Обеспечение единства измерений при поверке средств измерений. // Измерительная техника. 2005. № 8. С. 14–18.
 39. Левин С.Ф. Обеспечение единства измерений при градуировке измерительных преобразователей. // Измерительная техника. 2006. № 7. С. 8–14.
 40. Левин С.Ф. Неопределенность в узком и широком смысле результатов поверки средств измерений // Измерительная техника. 2007. № 9. С. 15–19.
 41. Власов В.А., Зыбин Е.М., Левин С.Ф., Салунин Н.В. Дополнительная методическая погрешность расходомерных поверочных установок с многопозиционными рабочими столами // Измерительная техника. 2012. № 3. С. 69–72.
 42. МИ 3379–2012. ГСИ. Оценивание дополнительной методической погрешности при поверке счетчиков расходомеров на поверочных расходомерных установках с многопозиционными рабочими столами.
 43. Левин С.Ф. Шкала космологических расстояний. Часть 4. Калибровка по сверхновым типа SN Ia // Измерительная техника. 2015. № 5. С. 5–10.
 44. Левин С.Ф. Измерительная задача идентификации функции погрешности // Законодательная и прикладная метрология. 2016. № 4. С. 27–33.
 45. Левин С.Ф. Измерительная задача проверки соответствия средств измерений установленным требованиям // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2016. № 6. С. 27–33.
 46. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Калибровка или поверка? «Проблема» пересчета погрешности в неопределенность // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2017. № 6. С. 21–27.
 47. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Статистические процедуры контроля при высокоточных измерениях // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 3. С. 8–11.
 48. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Концепция неопределенности — Теория погрешностей: Философский спор и математические результаты // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 4. С. 32–36.
 49. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Основная измерительная задача испытаний средств измерений в целях утверждения типа // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2018. № 5. С. 32–38.
 50. Левин С.Ф. Еще раз о «достоверности» в метрологии // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2019. № 5. С. 30–34.
 51. Левин С.Ф. Задача градуировки средства измерений // Законодательная и прикладная метрология. 2019. № 4. С. 22–28.
 52. Левин С.Ф. Математическая теория измерительных задач: Приложения. Неадекватность и достоверность в метрологии // Контрольно-измерительные приборы и системы. 2020. № 2. С. 32. 

Accumulated experience in measuring instruments calibration taking into account inadequacy errors has made it possible to identify an essential factor of the «dead end» in cosmology. But strictly speaking there is no «dead end». There is usual discordance of mathematical models built basing on measurement data from various sources aggravated by violations of the conditions for statistical methods applicability when inadequacy errors of mathematical models can be no longer neglected.

ВАША ЛАБОРАТОРИЯ

В АНТИСТАТИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ ОТ **АКТАКОМ**

www.aktakom.ru

ИНСТРУМЕНТ **TRONEX**

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

СТОЛ С АНТИСТАТИЧЕСКОЙ СТОЛЕШНИЦЕЙ

АРМ-4XXX-ESD

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

ИЗМЕРИТЕЛЬ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

АТР-9365

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

АНТИСТАТИЧЕСКИЙ БРАСЛЕТ

АНТ-5163

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

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

АНТИСТАТИЧЕСКИЕ ЩЕТКИ

АТР-940X

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

АНТИСТАТИЧЕСКИЕ КРЕСЛА

АРМ-350X

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

АНТИСТАТИЧЕСКИЕ ПИНЦЕТЫ

АТР-941X

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

ВЫБОР ЗА ВАМИ!



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



Новые комбинированные цифровые осциллографы



Генераторы сигналов



Система коммутации и сбора данных



Источники питания



Цифровые мультиметры



Анализаторы спектра



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 ГГц + 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

