

ИЮЛЬ | 2016 | №2 (10)

# ЭКСПЕРТ+

ЗНАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

## Удачный апгрейд

Особенности подхода к многофункциональным осциллографам

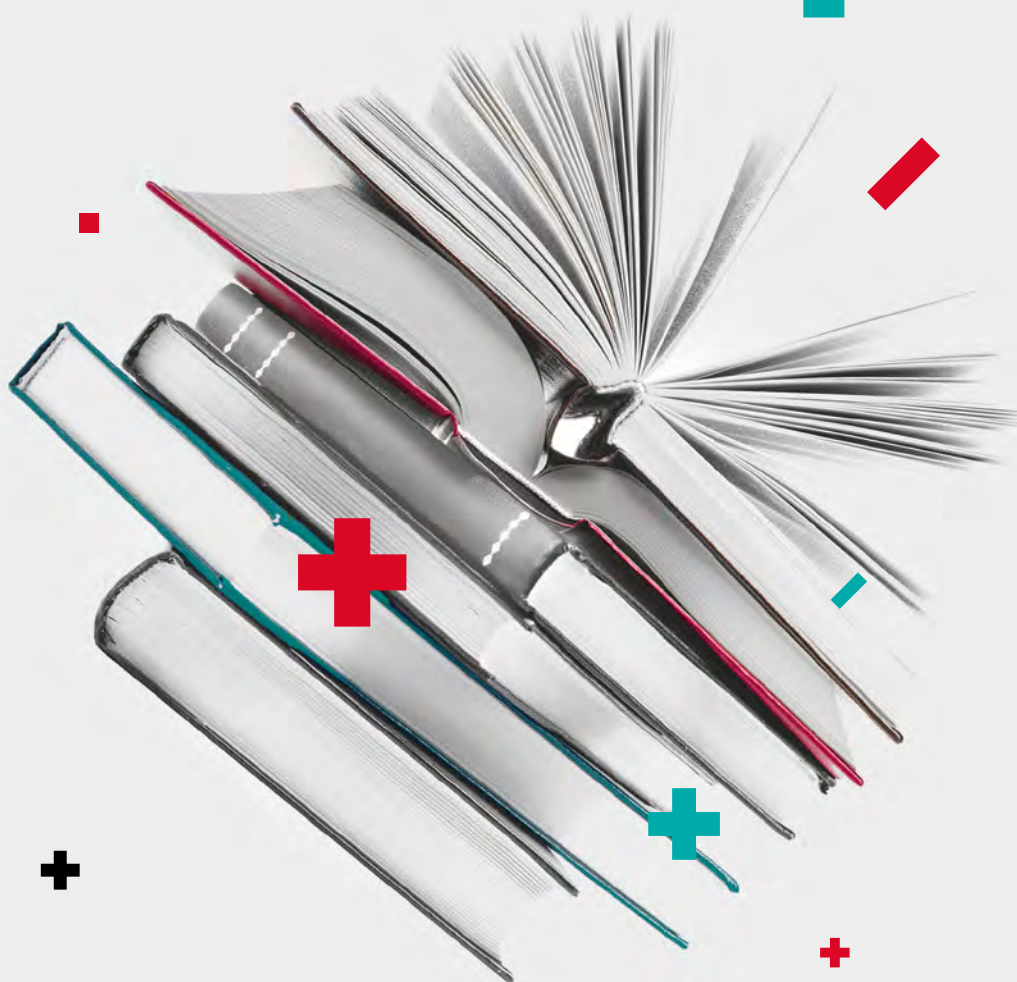
## Поколения управления

История развития современных систем управления вибростендами

## Старый конь на современной борозде

Модернизация устаревшего оборудования

# + Аккумулятор знаний



 ДИПОЛЬ

# От редакции



Алексей Смышляев,  
редактор журнала «Эксперт+»



**Редакционный совет журнала «Эксперт+» благодарит всех, кто помогал и помогает делать наш журнал интересным и востребованным**

Друзья, читатели, коллеги!

Первый выпуск нашего журнала, продолжающего информационные традиции своего предшественника — издания «SMT Эксперт», увидел свет 2,5 года назад, а сейчас вы держите в своих руках десятый, в некотором смысле «юбилейный» номер журнала.

Впрочем, как 38 попугаев не делают удава длиннее, так ни время существования, ни количество выпусков не дают объективной характеристики того, что мы делаем. И, быть может, не стоило утруждаться подведением итогов, но праздничный повод подсказал способ оценить результаты нашего совместного труда.

Итак, 10 номеров нашего журнала — это:

- 1100 страниц текста и фотографий;
- 120 статей;
- 80 авторов и соавторов;
- неоднократные публикации наших материалов в авторитетных отраслевых СМИ;
- победа на Всероссийском конкурсе корпоративных медиа «АКМР».

А сколько читателей получили новые компетенции благодаря нашим замечательным, увлеченным своим делом авторам, сколько завязалось деловых контактов, перешедших

в плодотворное сотрудничество, — об этом можно только догадываться по поступающим заявкам на рассылку издания (база наших подписчиков насчитывает уже более тысячи адресов), по тому, как настойчиво специалисты компании «Диполь» предлагают новые материалы для публикации.

Редакционный совет журнала «Эксперт+» благодарит всех, кто помогал и помогает делать наш журнал интересным и востребованным.

Присоединяйтесь к нашим авторам, предлагайте темы статей, высказывайте конструктивную критику и пожелания.

До встречи на страницах журнала!

PS. Если все-таки попробовать измерить в «попугаях»...

Если сложить все номера всех выпусков «Эксперт+» в длину, то нашим журналом можно будет обогнуть Заячий остров по периметру 2,5 раза.

Если положить все номера всех выпусков «Эксперт+» друг на друга, то получится стопка высотой с Петропавловский собор.

Если взвесить все номера всех выпусков «Эксперт+», то получится вес трех 122-мм гаубиц Д-30. Именно из такой пушки производится полуденный выстрел со стены Нарышкина бастиона Петропавловской крепости.

# Содержание



# 4.

## Событие

ТехноЭМС-2016

# 10.

## Оборудование

Удачный апгрейд



# 22.

## Технологии

Необходимые перемены,  
часть 2

# 28.

## Технологии

Избежать ремонта:  
технология процесса

# 34.

## Оборудование

Размер не важен

# 38.

## Событие

«Диполь»  
на «ЭлектронТехЭкспо-2016»

# 58.

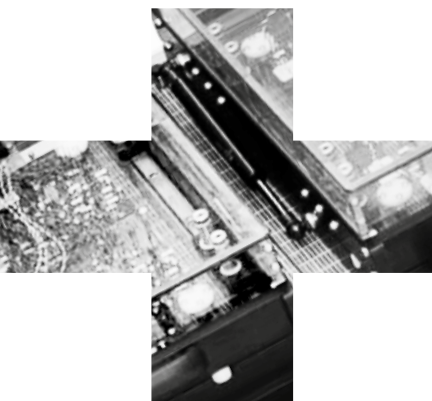
## Оборудование

Режим стабильности

# 64.

## Новость

Введен в эксплуатацию  
комплекс оборудования  
для фотолитографических  
процессов





# 66.

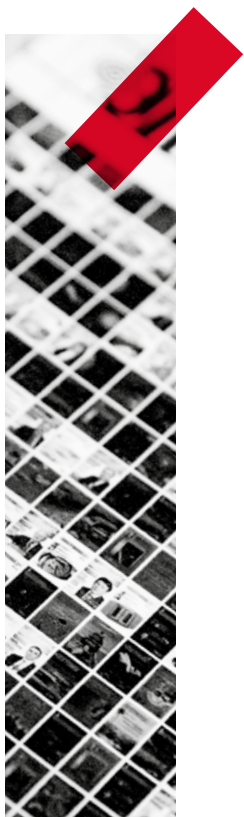
## Оборудование

Старый конь  
на современной  
борозде

# 74.

## Оборудование

Поколения управления



# 88.

## Событие

«ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ» —  
сессия в двадцать лет

# 94.

## Новость

Единая стратегия

# ЭКСПЕРТ+

ЗНАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

ИЮЛЬ | 2016 | № 2 (10)

Научно-технический журнал «Эксперт+» является корпоративным информационным изданием компании «Диполь». Журнал посвящен инновационным решениям для разработки, производства и испытаний электронной техники.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 — 58957 от 05 августа 2014 года.

Учредитель ЗАО «Диполь Технологии». Периодичность выхода — 4 раза в год. Тираж 2500 экз. Распространяется бесплатно.

Подписка на журнал осуществляется запросом в произвольной форме на электронный адрес: [expert@dipaul.ru](mailto:expert@dipaul.ru)

Редакционный совет:  
Сергей ОРЛОВ  
Алексей СМЫШЛЯЕВ  
Главный редактор:  
Алексей СМЫШЛЯЕВ  
Дизайн и верстка:  
Ольга ТИХОНОВА

Компания «Диполь»  
Санкт-Петербург  
(812) 702 12 66  
Москва  
(495) 645 20 02  
Нижний Новгород  
(831) 464 97 27  
Екатеринбург  
(343) 227-12-66  
Прага  
+420 2 5573 9633

[expert@dipaul.ru](mailto:expert@dipaul.ru)  
[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru)



# ТехноЭМС-2016

**Электромагнитную совместимость обсудили  
на представительном научном форуме**



18–20 апреля в Москве состоялась Третья всероссийская научно-техническая конференция «Технологии, измерения и испытания в области электромагнитной совместимости» («ТехноЭМС-2016»). Организаторами этого представительного мероприятия по традиции выступили компания «Диполь» и Московский

институт электроники и математики (МИЭМ) НИУ «Высшая школа экономики». Тематика конференции охватила проблемы исследований ЭМС при конструировании и моделировании технических средств, расчетной и экспериментальной оценки параметров ЭМС объектов различного назначения, защиты технических

средств от электромагнитных помех, электростатических и молниевых разрядов, искажений сети питания и других факторов, электростатических явлений как воздействующих факторов и защиты от них. Также были рассмотрены вопросы методического и технического обеспечения испытаний и измерений.





**Впервые рассматривались результаты исследований электростатических явлений, их воздействий на технические объекты, а также способы защиты**

В конференции приняли участие 74 специалиста испытательных, исследовательских и конструкторских подразделений предприятий большинства отраслей промышленности, транспорта и связи, ведущих российских университетов и институтов Росстандарта. Участники конференции заслушали и обсудили 47 научных докладов. Модераторами конференции выступили д. т. н., профессор Анатолий Кривов (компания «Диполь») и д. т. н., профессор Леонид Кечиев (МИЭМ НИУ «Высшая школа экономики»). Научные

доклады опубликованы в виде Трудов конференции, направлены в ведущие научные библиотеки страны и зарегистрированы в системе РИНЦ.

Программа конференции предусматривала пленарное заседание и работу трех секций. На пленарном заседании состоялась дискуссия по трем докладом, отражающим различные направления тематики конференции. В докладе ТК 30 «Электромагнитная совместимость» (В.С. Кармашев, Н.И. Файзрахманов) были рассмотрены текущие изменения и перспективы





дальнейшего развития нормативной базы ЭМС, включая технический регламент «Электромагнитная совместимость технических средств», международные и отечественные стандарты. Представитель ВНИИ пожарной охраны В. Н. Веревкин подверг детальному анализу состояние работ по техническому регулированию в области электростатической искробезопасности объектов и процессов с целью обеспечения их пожаровзрывобезопасности. Сравнение способов расчета грозопоражаемости

наземных объектов представлено в докладе сотрудников Вологодского государственного университета В. Е. Мещерякова и С. Л. Шишигина. Профессор Л. Н. Кечиев (МИЭМ НИУ ВШЭ) сделал сообщение о деятельности Русского технического общества, с которым связана деятельность многих выдающихся отечественных ученых и инженеров, в связи с его 150-летним юбилеем.

На секционных заседаниях большинство докладов было посвящено схемотехническим и конструкторско-

технологическим методам обеспечения ЭМС технических средств. Применение новых материалов для защиты, эффективное методическое и программное обеспечение для моделирования процессов и мониторинга электромагнитных излучений и молниевых разрядов стали предметом рассмотрения многих докладов, посвященных ЭМС космической аппаратуры, аппаратуры связи, железнодорожного транспорта, беспилотных ЛА, систем электропитания, технических объектов морского базирования.



Впервые на отдельной секции конференции рассматривались результаты исследований электростатических явлений, их воздействий на технические объекты, а также способы защиты. Оживленную дискуссию специалистов по электростатике вызвали результаты анализа работ по стандартизации в области электростатики, прикладных исследований физических процессов образования и релаксации зарядов, моделирования электростатических разрядов. Большой интерес участники конференции проявили к научным докладам, посвященным применению новых

материалов в космической аппаратуре, экспериментальным исследованиям способа электростатической диагностики авиационных двигателей, поверке и калибровке средств измерений электростатического поля.

Традиционно актуальными для специалистов по ЭМС были вопросы, рассмотренные в докладах по метрологическому обеспечению испытаний технических средств на ЭМС. На прошедшей конференции большое внимание было уделено вопросам испытаний на устойчивость и эмиссию высокочастотных и мощных импульсных помех, использования реверберационных

камер, методам и средствам измерения импульсных величин и свойств радиопоглощающих материалов.

На заключительных заседаниях участники конференции поблагодарили организационный комитет, сотрудников МИЭМ НИУ ВШЭ и компании «Диполь» за организацию работы, техническое и методическое обеспечение мероприятия. Подчеркивался высокий научный уровень докладов и заинтересованность в регулярном проведении подобных научных совещаний. Рекомендовано провести следующую конференцию «ТехноЭМС» в 2017 году. 📌



## «Диполь» попал в Сети

В карельском филиале РТПС прошла презентация измерительного оборудования компании Keysight

Компания «Диполь» и российское представительство Keysight Technologies провели совместную презентацию измерительного оборудования Keysight для метрологической службы филиала российской телевизионной и радиовещательной сети «РТПЦ Республики Карелия».

Сотрудники карельского филиала РТПС познакомились с широким

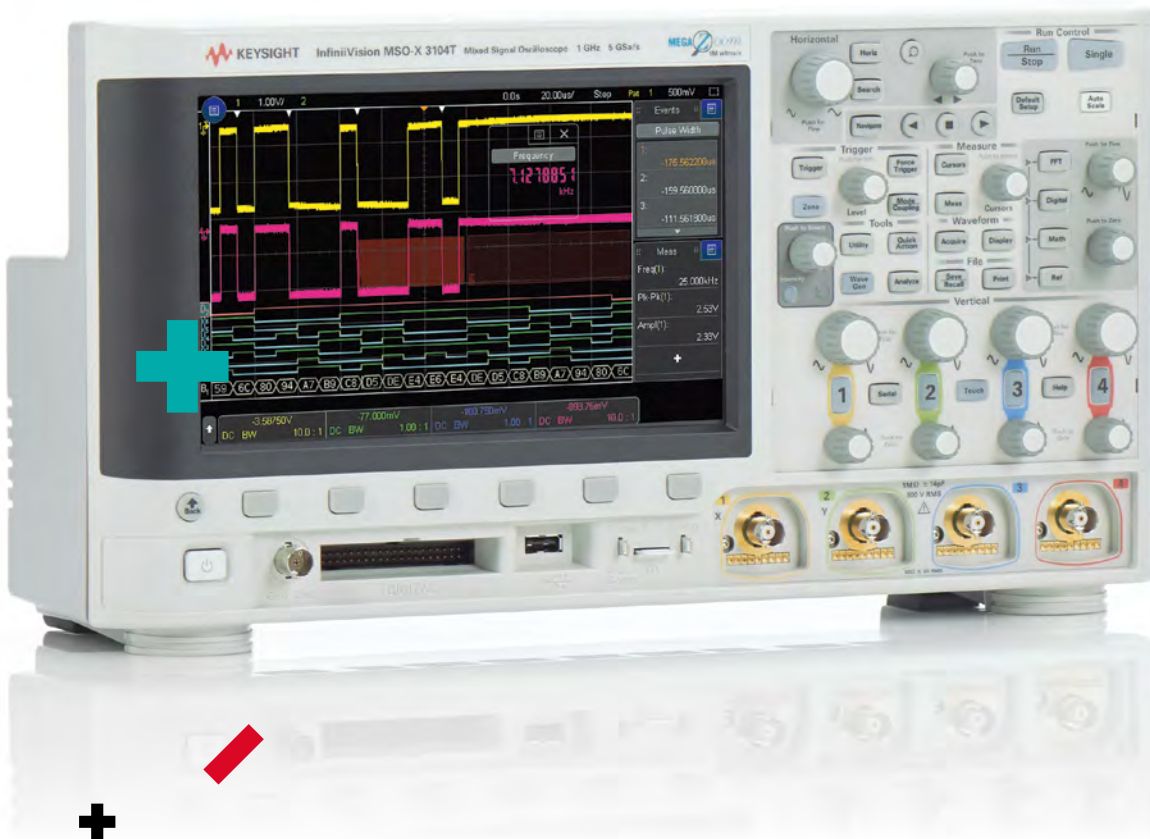
спектром цифрового и цифро-аналогового измерительного оборудования, возможностями высокочастотного генератора векторных сигналов и анализаторов спектра, в том числе по созданию и анализу сигналов DVB-T2, с работой генератора сигналов сложной формы, цифровых осциллографов, измерителей параметров кабелей и датчи-

ков мощности, а также рассмотрели пути решения измерительных задач.

Компании «Диполь» и Keysight Technologies подтвердили желание руководства метрологической службы филиала РТПС развивать начавшееся сотрудничество.

# Удачный апгрейд

Особенности подхода  
к многофункциональным  
осциллографам





Максим Писковацков, руководитель направления измерительного оборудования общего назначения, компания «Диполь»  
mvp@dipaul.ru

На весенней московской выставке «ЭлектронТехЭкспо-2016» — одном из крупнейших российских событий в области электронных компонентов и технологического оборудования — многие компании-участники представили инструменты и измерительные приборы, уже поступившие в продажу или ожидаемые в ближайшее время. Это оборудование определяет, в каком направлении движется индустрия, и характеризует

происходящие изменения. Сегодня наблюдается интенсивное обновление линеек, которые актуализируются в соответствии с последними трендами, однако не обходится и без интересных новинок.

Сегодня мы поговорим об осциллографах общего назначения, поскольку именно эти приборы наиболее востребованы у разработчиков и занимают большую часть рынка цифровых осциллографов.

Компания Keysight Technologies (США), развивая свой пятилетний опыт успешных продаж осциллографов общего назначения, внедряет все более широкие функциональные возможности в семейство осциллографов InfiniiVision. На сей раз обновление коснулось хорошо известной и зарекомендовавшей себя серии 3000А, которая впервые продемонстрировала пользователям возможности интеграции нескольких измерительных приборов в единую систему. Новинка, по сути, выглядит почти идентично модели 3000А, за исключением клавиши Touch, добавленной в область управления вертикальной развертки передней панели прибора и предназначенной

для активации сенсорного дисплея. Именно благодаря ему модель получила название 3000Т (Т — тачскрин). Производитель не зря выбрал в качестве основы серию 3000А, поскольку она полностью покрывает диапазон полосы пропускания 100 МГц — 1 ГГц, требуемый в этой области применения, и имеет высокопроизводительную архитектуру Megazoom IV поколения, о возможностях которой и пойдет речь в статье. Также будут рассмотрены нововведения, перенятые от старшей серии InfiniiVision-X 4000А при внедрении сенсорного емкостного дисплея.

## Технология MegaZoom IV по-прежнему уникальна

Еще на этапе проектирования серии 3000A перед производителем стоял вопрос: какая архитектура памяти должна стать основой для будущих моделей? Пойти проторенной дорогой, выбрав архитектуру на основе центрального процессора (ЦПУ), или разработать принципиально новую схему? Этот вопрос важен потому,

что в основе любого цифрового осциллографа находится процесс дискретизации аналогового сигнала, его последующей записи и вывода на экран. Следовательно, каждого пользователя цифрового осциллографа в первую очередь интересует два зависящих друг от друга параметра: частота дискретизации и глубина

записи, от которых напрямую зависит точность оцифровки сигнала на различных коэффициентах временной развертки. Рассмотрим пример, в котором сравниваются значения частоты дискретизации двух одинаковых осциллографов с разной глубиной записи на общих коэффициентах развертки.

Таблица 1. Частота дискретизации двух одинаковых осциллографов с различной глубиной записи при общих коэффициентах горизонтальной развертки

КОЭФФИЦИЕНТ РАЗВЕРТКИ	ГЛУБИНА ЗАПИСИ, 4 М ТОЧЕК	ГЛУБИНА ЗАПИСИ, 20 М ТОЧЕК
400 пс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
1 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
2 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
4 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
10 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
20 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
40 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
100 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
200 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
400 нс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
1 мкс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
2 мкс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
4 мкс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
10 мкс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
20 мкс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
40 мкс/дел	5 Гвыб/с	5 Гвыб/с
100 мкс/дел	4 Гвыб/с	5 Гвыб/с
200 мкс/дел	2 Гвыб/с	5 Гвыб/с
400 мкс/дел	1 Гвыб/с	5 Гвыб/с
800 мкс/дел	500 Мвыб/с	2,5 Гвыб/с
2 мс/дел	200 Мвыб/с	1 Гвыб/с
4 мс/дел	100 Мвыб/с	500 Мвыб/с
8 мс/дел	50 Мвыб/с	250 Мвыб/с
20 мс/дел	20 Мвыб/с	100 Мвыб/с





Если проанализировать таблицу 1, в которой значения частоты дискретизации были получены из расчета: глубина записи / ((коэфф. развертки) × 10 делений), где 10 делений — типовое значение количества делений координатной сетки осциллографа по оси X, становится очевидным, что чем больше глубина записи, тем точнее пройдет оцифровка при длительном захвате сигнала. Почему же разработчики 3000A отказались от стандартной архитектуры записи сигнала, тогда как можно было просто увеличить глубину

памяти? Ответ кроется в блок-схеме самой архитектуры сбора данных на базе ЦПУ и концепции разрабатываемого прибора.

При проектировании серии InfiniiVision производитель стремился к созданию многофункционального прибора, объединяющего несколько функций отдельных устройств в единую систему, а также к высокому качеству отображения сигнала, приближенного к качеству и скорости обновления осциллограмм аналоговых осциллографов.

Рассмотрим блок-схемы двух принципиально разных архитектур захвата и обработки сигнала. На схеме (рис. 1) видно, что большая часть функций прибора, таких как интерполяция точек  $\sin X/X$ , усреднение осциллограмм, построение осциллограмм логического анализатора (ЛА), математические вычисления, а также расчет автоматических измерений, полностью ложится «на плечи» ЦПУ. Отсюда следует, что чем больше глубины записи мы предоставляем осциллографу и задействуем его функций, тем сильнее увеличивается нагрузка на ЦПУ.

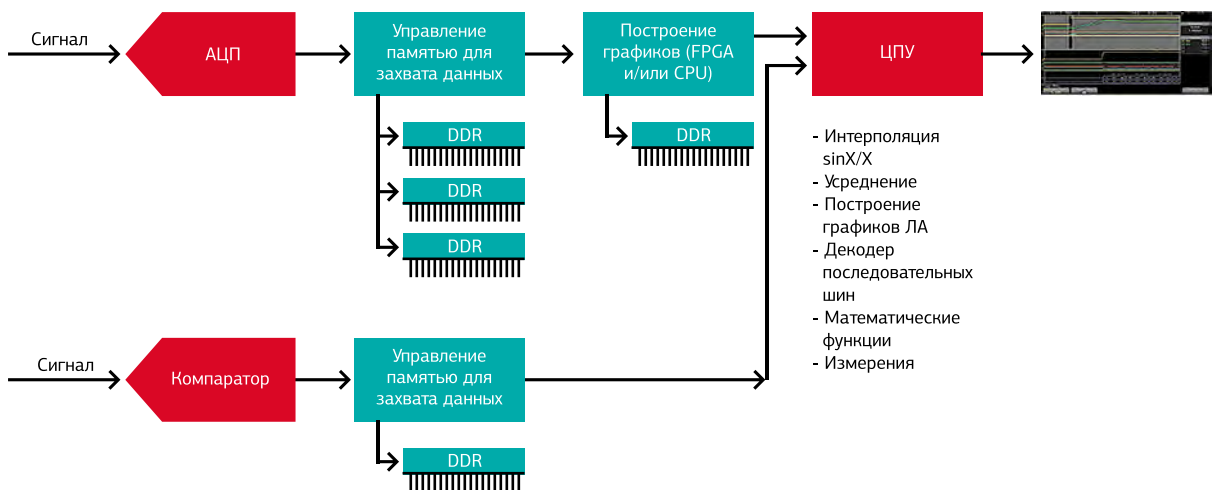


Рис. 1. Блок-схема архитектуры на основе процессора демонстрирует, насколько система ЦПУ является узким местом на пути к общему отображению сигнала

Перейдем к архитектуре Megazoom. Как можно видеть из схемы на рис. 2, за каждую функцию осциллографа отвечает своя часть интегральной схемы, что позволяет ЦПУ сосредоточиться на том, что он делает лучше всего — отображает сигнал. Другой причиной отказа производителя от архитектуры на базе ЦПУ стал низкий показатель скорости обновления осциллограмм на экране прибора, который в данном случае полностью зависит от нагрузки процессора.

Скорость обновления (обратная «мертвому времени») — это параметр

осциллографа, который определяет, насколько быстро осциллограф может произвести запуск, обработать захваченные данные и затем отобразить их на экране (рис. 3).

На самом деле параметр «скорость обновления» не менее важен, чем частота дискретизации и глубина памяти, так как от него во многом зависят ваши шансы обнаружения редких событий сигнала. Подсчитать эти шансы вполне возможно. Для этого воспользуемся нижеприведенной формулой. Сразу следует отметить, что

рассчитываются они как вероятность захвата редкого события за определенное количество времени:

$$P_t = 100 \times (1 - [1 - RW](U \times t)) \times (1)$$

Здесь  $P_t$  — вероятность захвата аномалии за  $t$  секунд;  $t$  — время наблюдения;  $U$  — значение скорости обновления осциллографа;  $R$  — частота возникновения редкого события;  $W$  — ширина окна визуализации сигнала (то есть коэффициент временной развертки  $\times 10$ ).

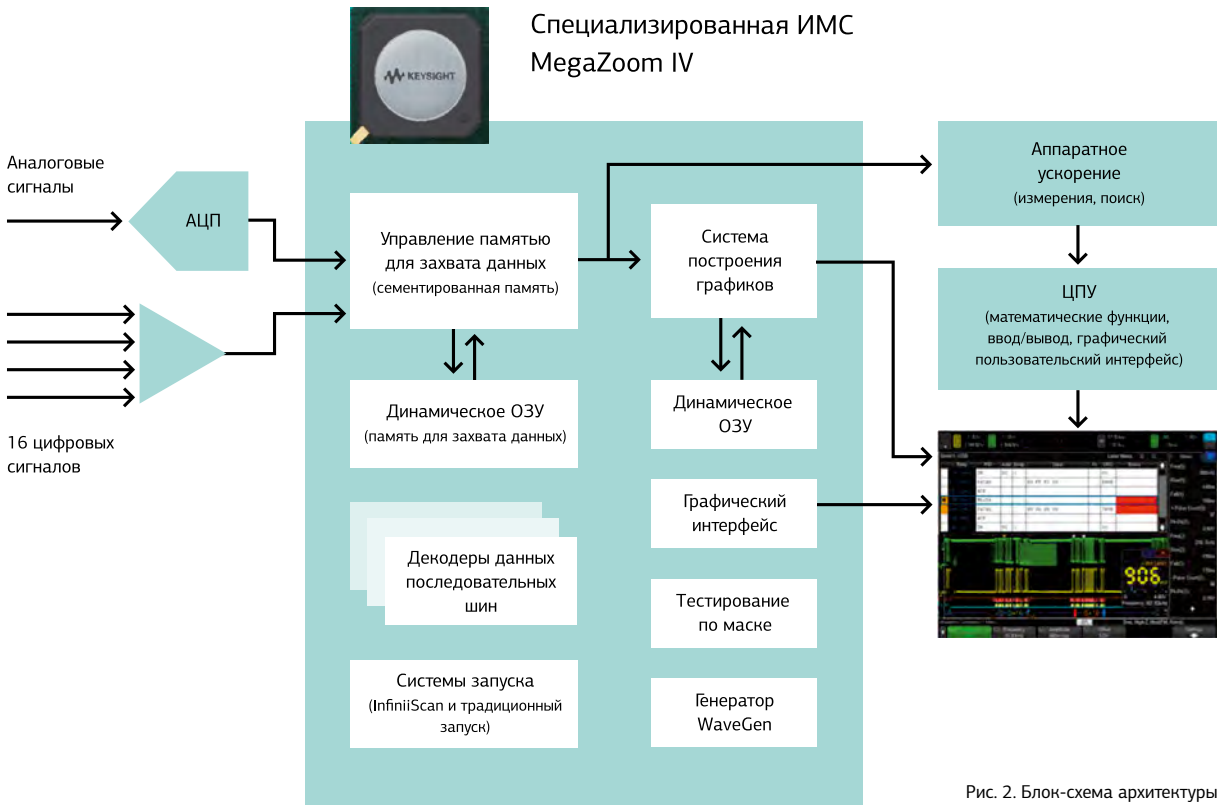


Рис. 2. Блок-схема архитектуры MegaZoom IV с интегральной схемой специального назначения, которая обеспечивает непосредственную передачу данных из памяти для построения осциллограмм



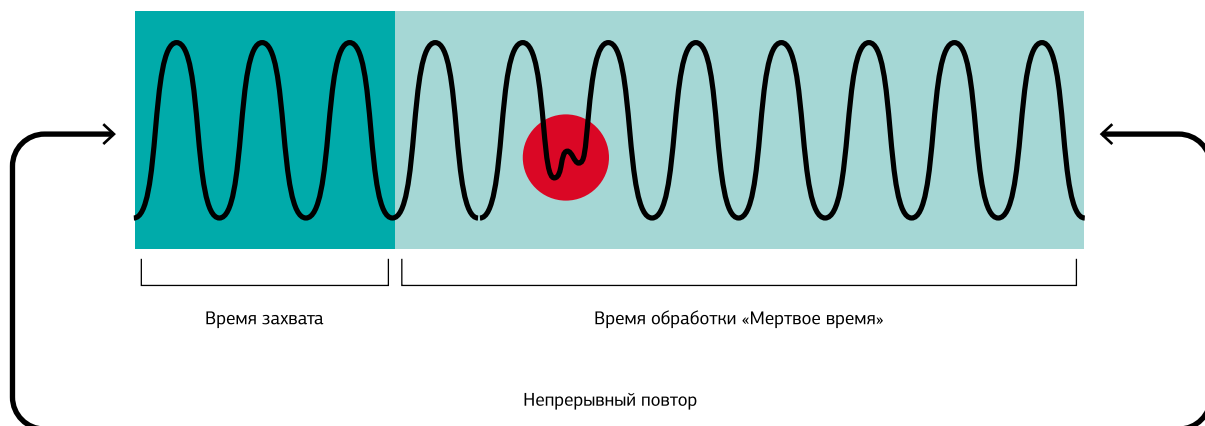


Рис. 3. Графическое представление процесса обновления осциллограмм. «Мертвое время» скрывает редкие события, которые могут возникать в сигнале, в то время как высокая скорость обновления (обратная «мертвому времени») увеличивает шансы их обнаружения

№ П/П	КОЭФФИЦИЕНТ РАЗВЕРТКИ	ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР	АРХИТЕКТУРА MEGAZOOM			АРХИТЕКТУРА НА БАЗЕ ЦПУ		
			ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ	СКОРОСТЬ ОБНОВЛЕНИЯ	ГЛУБИНА ЗАПИСИ	ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ	СКОРОСТЬ ОБНОВЛЕНИЯ	ГЛУБИНА ЗАПИСИ
1	10 нс/дел	Выкл.	5 Гвыб/с	1 090 000 осц/с	Авто	5 Гвыб/с	3 000 осц/с	10 к точек
2	20 нс/дел	Выкл.	5 Гвыб/с	840 000 осц/с	Авто	5 Гвыб/с	64 000 осц/с	10 к точек
3	100 нс/дел	Вкл.	5 Гвыб/с	238 000 осц/с	Авто	5 Гвыб/с	120 осц/с	10 к точек
4	400 нс/дел	Выкл.	5 Гвыб/с	74 000 осц/с	Авто	2,5 Гвыб/с	57 000 осц/с	10 к точек
5	400 нс/дел	Выкл.	5 Гвыб/с	74 000 осц/с	Авто	5 Гвыб/с	12 400 осц/с	100 к точек
6	4 мкс/дел	Выкл.	5 Гвыб/с	7 800 осц/с	Авто	5 Гвыб/с	400 осц/с	1 М точек

Таблица 2. Сравнительные характеристики скорости обновления, частоты дискретизации и глубины записи

Из формулы (1) следует, что для успешного захвата редкого события сигнала потребуется либо высокая скорость обновления осциллограмм, либо больше времени на его наблюдение. Другими словами, для захвата редкого события, происходящего

пять раз в секунду, время наблюдения на одном осциллографе займет 5 секунд, а на другом — свыше 12 часов.

Теперь рассмотрим, как архитектура захвата и обработки сигнала, используемая в осциллографах, влияет на параметр скорости обновления.

Для этого обратимся к таблице 2, в которой сравниваются параметры скорости обновления, частоты дискретизации и глубины памяти двух одинаковых осциллографов с разными архитектурами захвата и обработки сигнала.

Видно, что по строке 3 таблицы 2 при включении дополнительной функции — логического анализатора — скорость обновления осциллограмм на приборе с архитектурой на базе ЦПУ резко падает, в то время как у Megazoom скорость меняется только за счет переключения коэффициента развертки. То же самое происходит при увеличении глубины записи (строка 5 таблицы 2). Если мы установим глубину записи в размере 100 к точек для поддержания параметра частоты дискретизации 5 Гвыб/с, скорость обновления осциллографа с архитектурой на базе ЦПУ упадет в 4,5 раза.

Еще один момент, на который нужно обратить внимание, — автоматическая подстройка глубины записи архитектуры Megazoom, которая позволяет поддерживать параметр частоты дискретизации на нужном уровне (5 Гвыб/с, строка 4 таблицы 2). Осциллограф с архитектурой на базе ЦПУ ведет себя иначе, он сохраняет параметр глубины записи на прежнем уровне (10 к точек), видимо, для поддержания приемлемой скорости обновления, а частота дискретизации падает в два раза.

Вообще, максимальный объем памяти, который поддерживает

технология Megazoom IV, равен 4 М точкам. Не так много, если требуется захват продолжительного по времени сигнала. Но всегда ли нам нужен полный захват сигнала со всеми его участками простоя между событиями (например, радарный импульс) или посылка кадра/пакета последовательной шины? Несмотря на то, что такие участки присутствуют в сигнале, стандартный осциллограф все равно произведет их запись. Архитектура Megazoom предлагает иной подход к расходу памяти под названием «Сегментированная память».

## Сегментированная память

Захват с применением сегментированной памяти позволяет выборочно собирать и хранить информацию о важных особенностях поведения сигнала без сбора ненужных данных о периоде отсутствия активности сигнала, сохраняя при этом временную метку каждого сегмента относительно первого события запуска, что помогает анализировать частоту события. У осциллографов 3000T серии X сегментированная память входит в стандартную комплектацию. На рис. 4 показан успешный захват 100

малых и крупных выбросов с помощью сегментированной памяти при 5 Гвыб/с за 47 с. При традиционной архитектуре памяти для получения такого результата потребовалась бы память глубиной почти 203 Гвыб! Подобной памяти нет ни у одного представленного на рынке осциллографа.

Подводя итог темы архитектуры захвата и обработки сигнала, можно сказать следующее: для классических цифровых запоминающих осциллографов, обладающих 2 или 4 аналоговыми каналами

и необходимых в основном для точной оцифровки и единичного захвата продолжительного по времени сигнала, архитектура на базе ЦПУ вполне приемлема. Многофункциональные осциллографы, объединяющие функции отдельных приборов, в частности логического анализатора, анализатора протоколов, генератора сигналов, требуют иного подхода, такого как Megazoom IV. Именно его выбрал производитель при разработке модели 3000A Keysight Technologies (панель Agilent).

## InfiniiVison 3000T

Теперь рассмотрим новшества, которые перешли от старшей серии InfiniiVision-X 4000A при внедрении сенсорного емкостного дисплея. Первое, на что необходимо обратить внимание, — возможность управ-

ления прибором тремя различными способами, удовлетворяющими любого пользователя. Программные клавиши и ручки на передней панели предназначены для пользователей осциллографов, верных тради-

циям, выпадающие меню Keysight Insight (рис. 5) — для пользователей, которым больше нравится работа с интерфейсом типа Windows, а сенсорный экран — для тех, кто привык к планшетами и смартфонам.

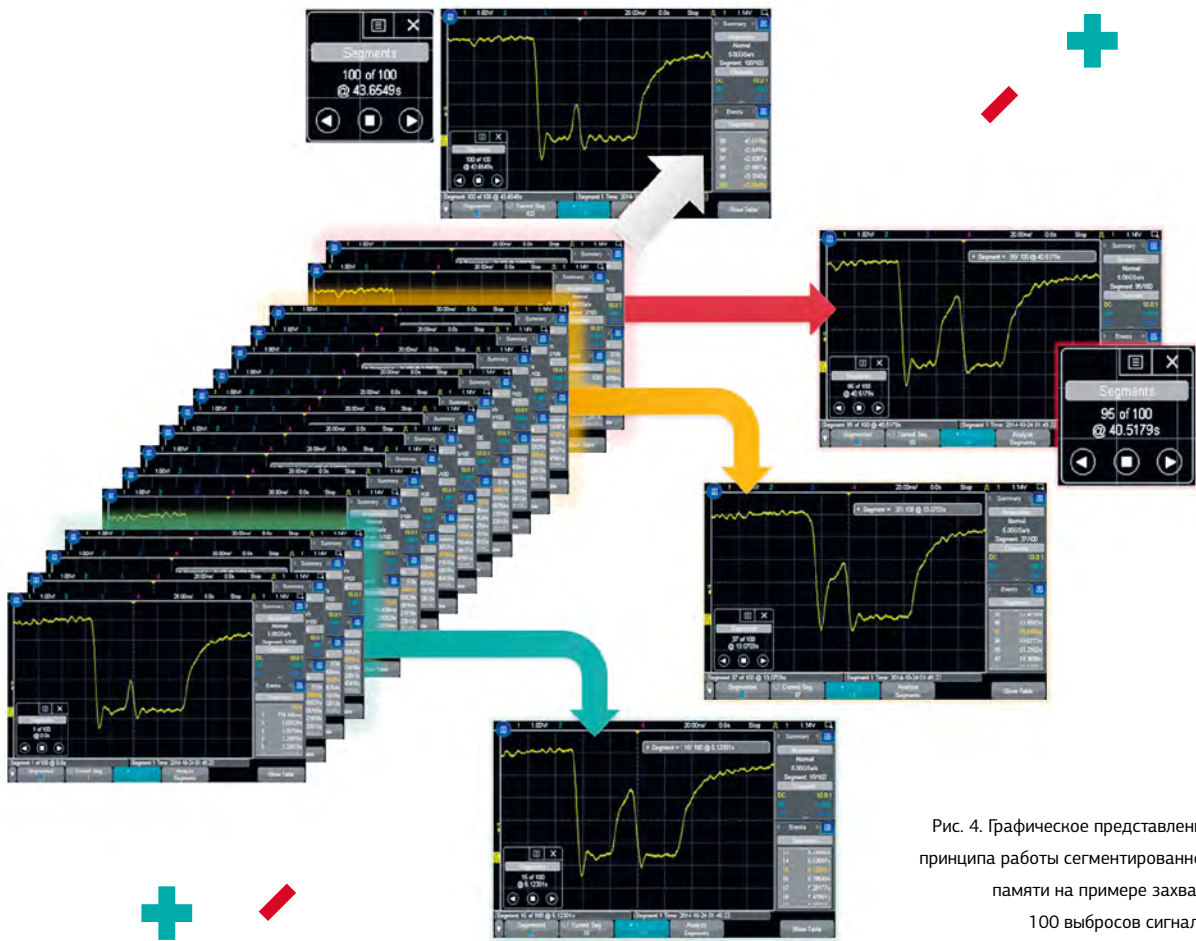


Рис. 4. Графическое представление принципа работы сегментированной памяти на примере захвата 100 выбросов сигнала.

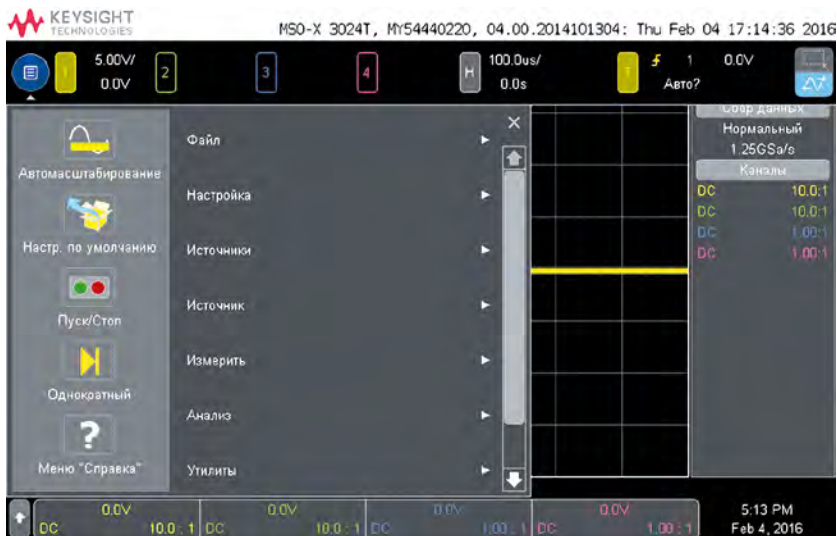


Рис. 5.



Рис. 6.

У большинства пользователей может возникнуть вопрос, зачем оснащать осциллограф сенсорным экраном, когда на практике удобнее использовать ручки и клавиши. Существует как минимум две причины

использовать сенсорный экран на 3000Т. Первая — это удобство навигации и перемещения осциллограмм по экрану, сравнимое с удобством скроллинга веб-страниц на смартфоне, и вторая — зонный триггер (запуск

по выделенной зоне). Управление прибором с помощью сенсорного экрана стало значительно удобнее благодаря полной переработке графического интерфейса, который специально адаптирован для работы пальцем (рис. 6).

## Зонный триггер

С возникновением осциллографа появился и утомительный процесс синхронизации развертки с исследуемым сигналом. При работе с аналоговым осциллографом для этого приходится набраться терпения,

цифровые же устройства несколько упрощают процесс, предоставляя пользователю набор критериев, по которым можно произвести синхронизацию (уровень сигнала, ширина импульса, время нарастания и т. д.).

Однако не всегда этих критериев достаточно, и процесс синхронизации отнимает много времени. Хороший пример — сигнал с редкой помехой или прямоугольный импульс с немонотонным фронтом (рис. 7).

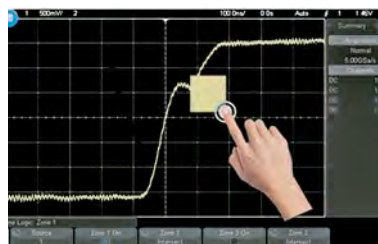
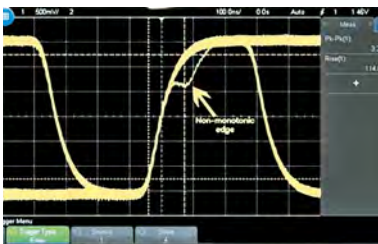


Рис. 7.

Представьте, что для понимания причин сбоев необходимо произвести запуск по нестабильным участкам сигнала. Вы готовы сделать это за несколько секунд? Скорее всего, нет, а с 3000Т на это потребуются не больше трех секунд! На осциллографе 3000Т процесс синхронизации с использованием зонного триггера сводится к двум основным действиям:

- выделить пальцем на экране область вокруг интересующего участка сигнала;
- выбрать условия запуска (должен или не должен пересекать).

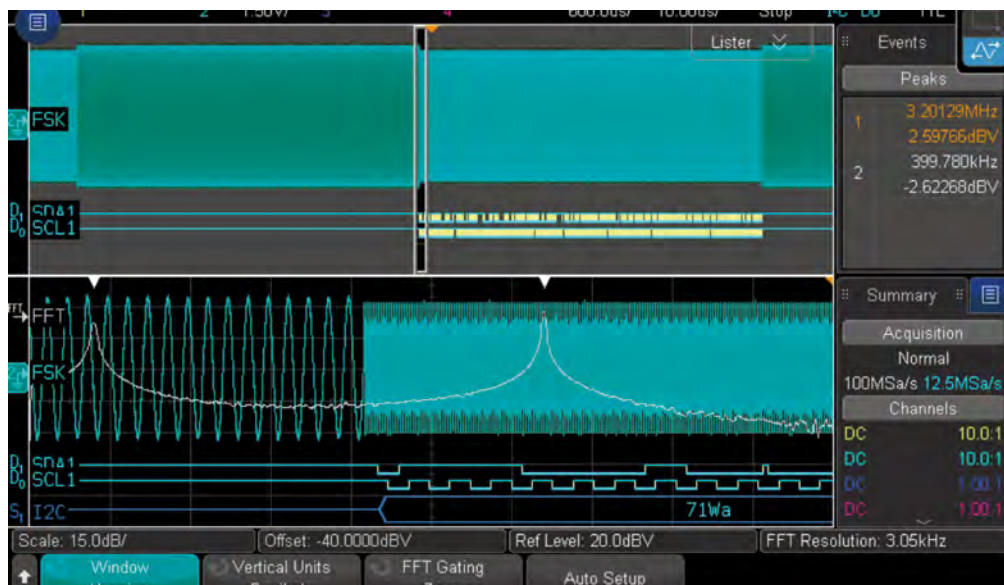


Рис. 8.

В итоге пользователь получает неподвижное изображение на экране в непрерывном режиме работы захвата сигнала. В общей сложности можно

задать до четырех зон условия, что идеально подходит для отладки сигналов последовательных шин передачи данных. Зоновый триггер является

стандартной функцией моделей серии 3000T и доступен в базовой конфигурации прибора.

## Оконное БПФ

Еще одна полезная функция, прежде отсутствовавшая в осциллографах серии 3000A, — оконное БПФ, позволяющее выполнять коррелированный анализ сигнала в частотной и временной областях. При задействовании оконного БПФ осциллограф переходит в режим зума (рис. 8). Результат анализа БПФ, отображаемый в окне увеличения (нижнем окне), соответствует периоду времени, заданному рамкой в основном (верхнем) окне. Для исследования изменения результатов БПФ во времени достаточно прикоснуться к рамке и протянуть ее

по захваченной области, устанавливая корреляцию РЧ-событий с событиями в аналоговых и цифровых сигналах.

На рис. 8 показан простой пример оконного БПФ, соответствующего изменению частоты РЧ-сигнала от 400 до 200 МГц с временной корреляцией как с управляющим сигналом шины SPI (цифровым сигналом), так и с сигналом управления генератора, управляемого напряжением (аналоговым сигналом). Следует обратить внимание на возможность визуализировать и сам РЧ-сигнал во временной области для получения дополнительных сведений, таких

как пропуск в РЧ-сигнале во временной области. Из отличий от предыдущего флагмана 3000A нужно отметить, что для включения БПФ теперь предусмотрена отдельная клавиша в правой части панели управления прибором. Ранее преобразование приходилось отыскивать в меню математических измерений, что было очень неудобно.

Кроме того, встроенный генератор сигналов стандартной/произвольной формы на 20 МГц получил несколько улучшений, повышающих простоту и удобство работы. Главный плюс заключается в возможности

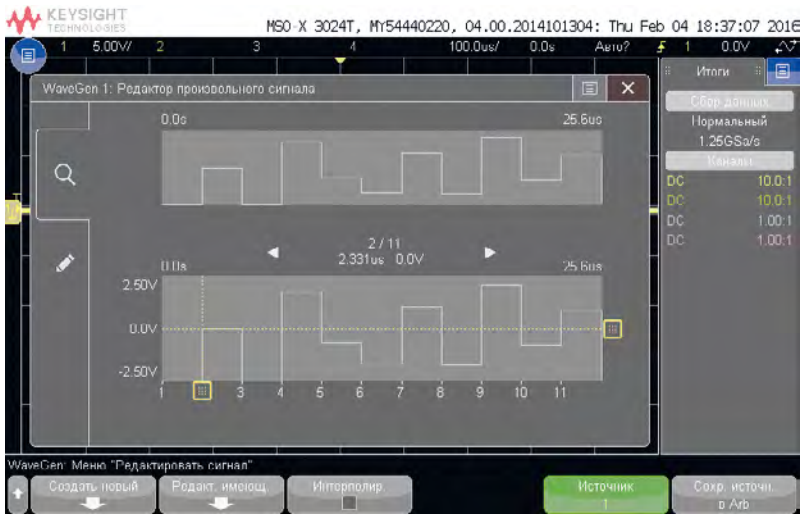


Рис. 9.

сохранения в памяти захваченного осциллографом сигнала в формате .arb и последующего его воспроизведения на генераторе произвольной формы. Такое копирование особенно

полезно, когда используемый для стимуляции разрабатываемого устройства сигнал имеет сложности с повторяемостью. К дополнительным преимуществам можно отнести обновленный

интерфейс редактора сигналов произвольной формы, который позволяет начертить нужный сигнал одним пальцем, опять же не без участия емкостного сенсорного экрана (рис. 9).


## Цена и эксплуатационные расходы

Что касается стоимости новой разработки, она практически не изменилась по сравнению с 3000A, более того, такие опции, как расширенная память до 4 М точек, сегментированная память, расширенные математические функции, за которые ранее приходилось выкладывать приличную сумму, входят в базовую конфигурацию модели 3000T. К примеру, самая младшая модель серии DSOX3012T с полосой пропускания 100 МГц и 2 аналоговыми каналами обойдется примерно в \$4200, а топовый MSOX3104T с полосой 1 ГГц, 4 аналоговыми каналами и 16-канальным логическим анализатором — примерно

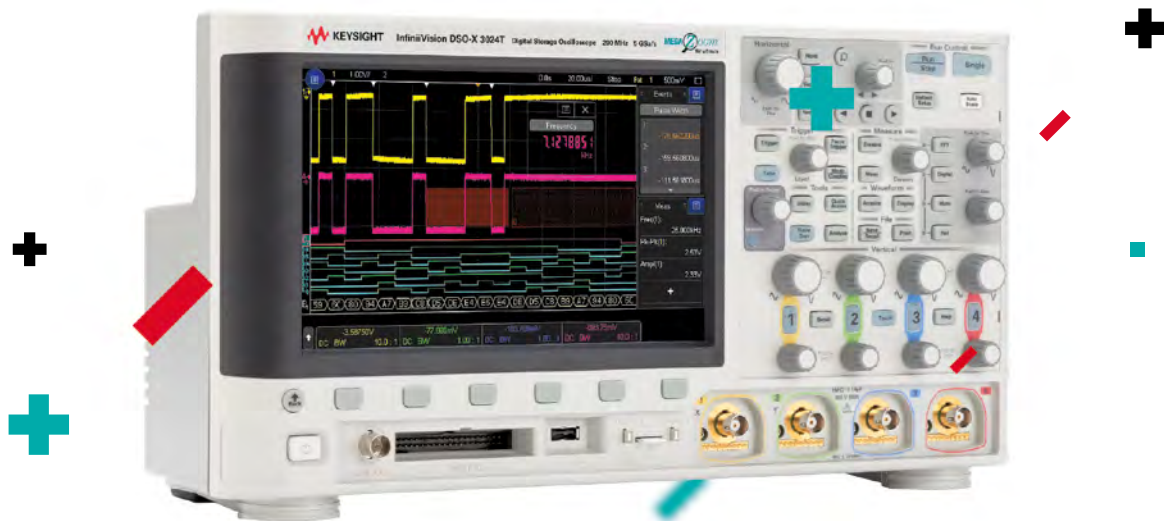
в \$19200. К другим приятным отличиям можно отнести единое для всех моделей значение частоты дискретизации 5 Гвыб/с, возможность выбора 2-канальных моделей на 200 МГц (ранее были доступны только 4-канальные), а также 500-МГц пассивные пробники в стандартной комплектации, в том числе и для моделей осциллографов с полосой 100, 200 и 350 МГц.

Осциллографы 3000T обладают крайне низкой стоимостью эксплуатационных расходов. Благодаря стандартной для серии 3-летней гарантии, средней наработке на отказ более 250 000 ч (показатель, лидирующий

в отрасли) и межповерочному интервалу (2 года) можно быть уверенными, что инвестиции в осциллографы 3000T будут защищены на несколько лет вперед. Кроме того, поскольку потребности со временем меняются, приобрести можно то, что требуется именно сегодня, а затем, по мере развития своих проектов, легко модернизировать осциллограф, включая расширение полосы пропускания и дополнительные функциональности.

Можно сказать, что у Keysight получился весьма удачный апгрейд. А как дела обстоят у других? Узнайте это в следующих выпусках нашего издания. 

# ДИПОЛЬ



## Новые осциллографы Keysight Technologies InfiniiVision 3000T серии X

Производительность старших серий осциллографов теперь доступна в сегменте среднего класса! Революционная технология сенсорного запуска InfiniiScan Zone Trigger, емкостный сенсорный экран, специально разработанный пользовательский интерфейс, функциональность нескольких приборов в одном — и все это в сочетании с бескомпромиссной скоростью обновления более 1 млн. осциллограмм в секунду.

- Функциональность «6 приборов в 1»: осциллограф, частотомер, вольтметр, генератор, логический анализатор и анализатор протоколов
- Полоса пропускания до 1 ГГц
- Скорость обновления осциллограмм на экране — 1 млн. осцилл./с
- Аппаратное декодирование протоколов и тестирование по маске
- Расширенный математический анализ в базовой конфигурации, 38 автоматических измерений

## Инновационные решения для электронной промышленности

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород  
[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru) / [info@dipaul.ru](mailto:info@dipaul.ru) / тел. (812) 702-12-66



# Необходимые переменны

Там, где нет перемен  
и необходимости  
в переменных,  
разум погибает.

Герберт Уэллс

В первой части статьи (журнал «Эксперт+», № 9) шла речь об организации автоматизированного электрического тестирования изделий, выпускающихся небольшой серией. Эти условия характерны для предприятий оборонного комплекса, опытных производств, а также для части контрактных производителей. Если серия мала, а номенклатура производимых изделий широка и постоянно меняется, на первый план при построении участка автоматизированного тестирования выходит скорость переналадки оборудования. Именно поэтому наиболее эффективным решением здесь являются тестовые системы с «летающими щупами».







Алексей Зайцев, руководитель направления  
тестового оборудования  
az@dipaul.ru

Однако те особенности, благодаря которым такое решение является оптимальным для производств малой и средней серии, не являются значимыми, когда речь заходит о тестировании изделий крупносерийного производства. При объемах выпуска, исчисляемых тысячами и десятками тысяч изделий в месяц, подход к автоматизированному тестированию должен быть принципиально иным, нежели в случае с малой серией. Как правило, в крупносерийном производстве смена номенклатуры изделий происходит нечасто, а один тип изделия может производиться месяцами, а то и годами (до смены

поколений). В этих условиях критерии применения тестового оборудования меняются. Приоритеты смещаются от скорости переналадки и от универсальности оборудования к максимизации общей скорости тестирования большой партии изделий. Поэтому сам подход к организации автоматизированного тестирования здесь должен кардинально отличаться от того, который подошел бы предприятиям из предыдущей группы. Наиболее эффективным базовым решением в данном случае станут тестовые системы на основе технологии «ложе гвоздей» (Bed of nails).

Данная технология в своей основе имеет принцип адаптерного тестирования, а значит, позволяет обеспечить одновременный доступ ко всем тестовым точкам проверяемого модуля. Основное преимущество данного метода — минимальное время тестирования изделия (иногда это доли секунды). Однако, решая задачу по увеличению скорости тестирования, крайне важно при этом обеспечить качество результата. В случае с системами адаптерного тестирования есть два наиважнейших фактора, влияющих на качество тестирования.

Первый — это длина линий передачи сигналов, второй — исполнение измерительной части системы.

С линиями передачи, кажется, все просто: чем короче провода, тем меньше потери. На деле же, из-за особенностей конструкции подобных систем, это является непростой задачей. Традиционная схема размещения адаптерной части относительно основания представлена на рис. 3.

Данная схема проста в реализации, но имеет один серьезный недостаток: из-за большой длины проводов, соединяющих основание установки с адаптерной частью, тестовые сигналы могут быть искажены вследствие воздействия помех и влияния паразитной емкости самих проводов. В конечном итоге результаты тестирования могут иметь серьезные погрешности. И с точки зрения эргономики это выглядит весьма сомнительно (рис. 4).

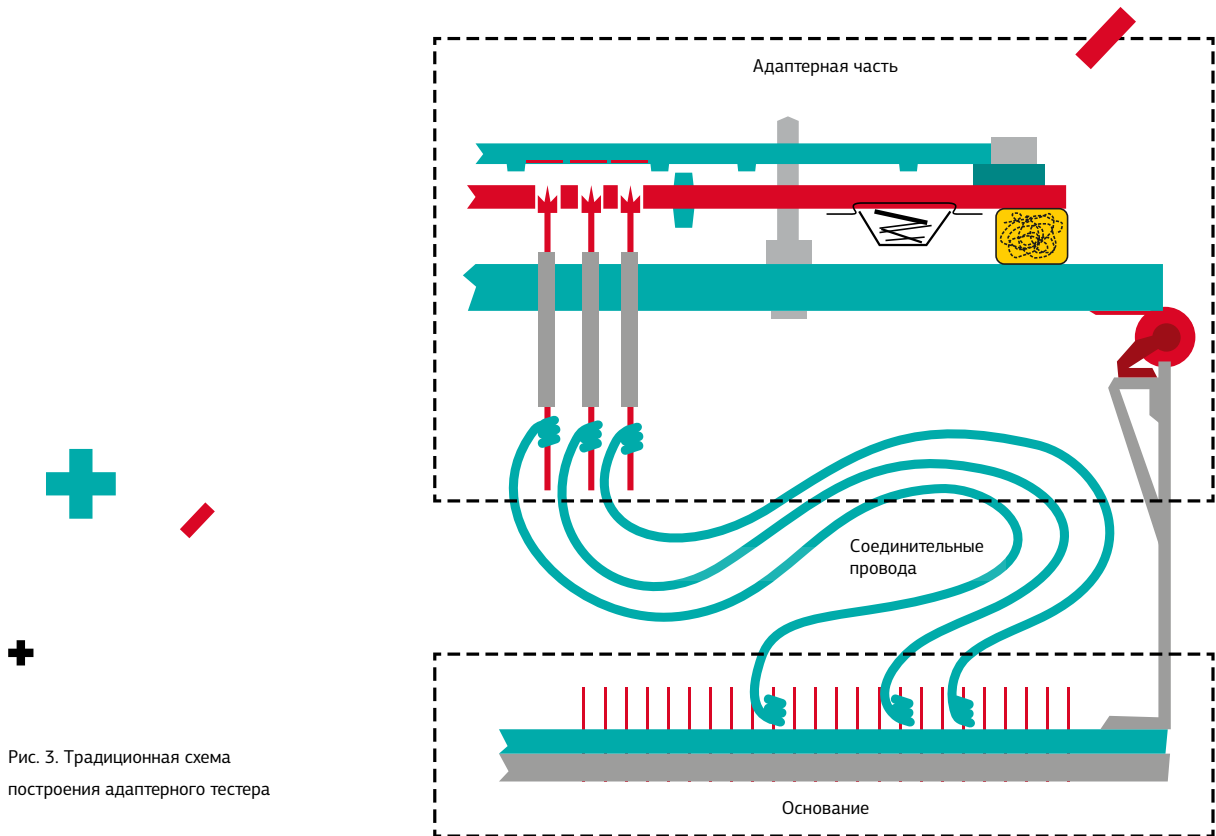


Рис. 3. Традиционная схема построения адаптерного тестера

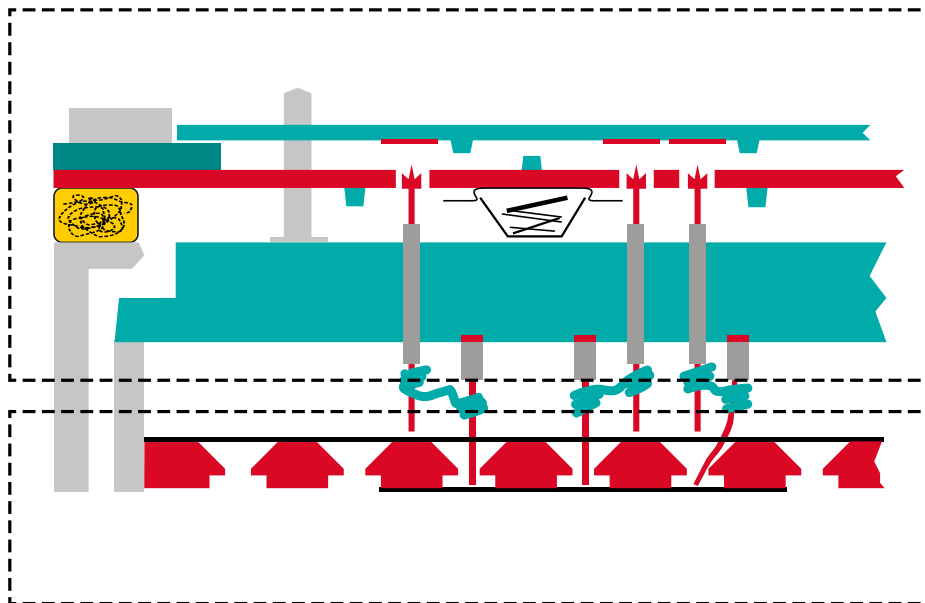


Рис. 4. Схема построения адаптерного тестера, реализованная в системах Keysight Medalist



Рис. 5. Соединительные провода в традиционном адаптерном тестере

Для того чтобы снизить потери в линиях передач, компания Keysight (ранее Agilent), ведущий мировой производитель средств измерения, предложила принципиально иную схему построения своих тестовых адаптерных систем Medalist (рис. 5).

В итоге в тестовых системах Medalist потери при передаче сигналов сведены к минимуму, что, в совокупности с мощным измерительным наполнением (Keysight — мировой лидер в области измерительных систем), привело к созданию лучшего решения для организации

автоматизированного тестирования электронных модулей в условиях крупносерийного производства.

Таким образом, для каждого типа предприятий, в зависимости от объемов выпуска и частоты смены номенклатуры, имеет место свой подход к организации участка автоматизированного тестирования:

более гибкие и универсальные решения — для мелко- и среднесерийных производств с широкой номенклатурой, более скоростные — для предприятий с крупными объемами выпуска.

Но внедрение новых технологий всегда должно давать результат, ина-

че это будет бесполезной тратой ресурсов. Иными словами, какие выгоды принесет внедрение автоматизированного электрического тестирования на предприятии?

Конечно, любое решение — техническое или организационное — должно быть своевременно, экономически

оправдано и грамотно реализовано, но в общем смысле значение и эффективность тестовых систем сложно переоценить.

Если рассматривать этот вопрос в контексте мелкосерийных производств (в том числе выпускающих продукцию специального и военного применения), то здесь применение автоматизированного электрического контроля (на базе технологии «летающих щупов») становится прекрасным инструментом для сокращения процента брака на производстве и для упрощения процедуры исследования отказов.

Не секрет, что в условиях опытного производства конечная стоимость изделия на выходе может быть достаточно высокой (в нее закладываются затраты на все этапы производства,

настройку, регулировку, накладные расходы и т. д.). Учитывая применение комплектующих в специальном исполнении, стоимость одного печатного узла может исчисляться сотнями тысяч рублей. При этом процент брака на предприятиях военно-промышленного комплекса по факту может достигать до 10–12% от общего числа продукции. И это только те изделия, причины дефектов которых установить не удается. То есть эти 10–12% продукции теряются безвозвратно, в лучшем случае становясь «донорами» дорогостоящих комплектующих для других изделий. Такая ситуация стала возможной из-за того, что методы контроля, применяемые на предприятиях, безвозвратно устарели, а структуры ОТК неэффективны. В итоге это приводит к убыткам, исчисляемым уже миллионами рублей.

Опыт внедрения тестовых систем с «летающими щупами» показывает, что их использование способствует снижению доли бракованной продукции до десятых долей процента, то есть до нормы качества, принятой на ведущих европейских производствах. Возможность локализации неисправности с точностью до компонента — это та особенность, которая делает автоматизированные тестеры самым эффективным инструментом для исследования причин отказов электронных модулей.

Возможность экономить особенно важна и для коммерческих компаний, выпускающих электронную продукцию, ведь основной целью их деятельности является получение прибыли. Минимизация издержек здесь — одна из важнейших задач. Именно поэтому любое

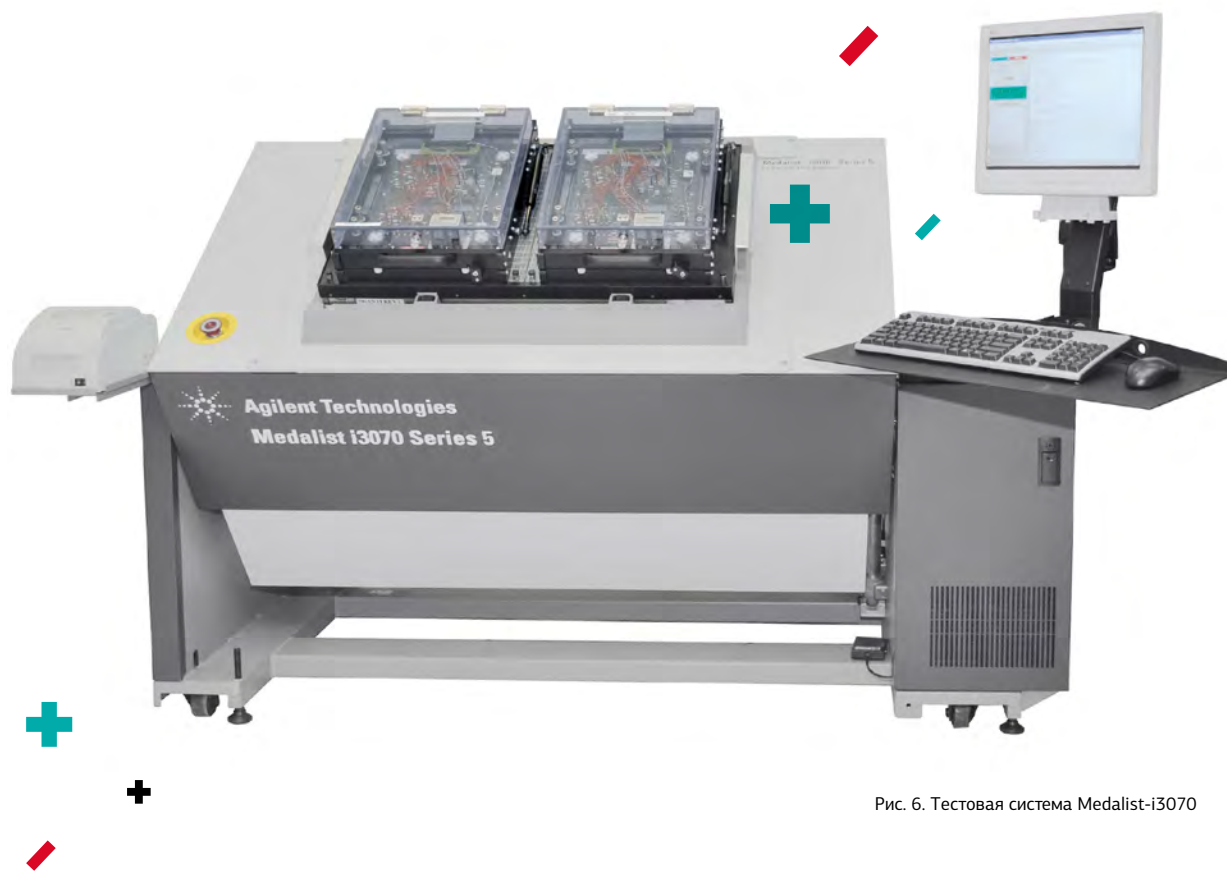


Рис. 6. Тестовая система Medalist-i3070


решение, которое планируется к реализации, просчитывается с особой тщательностью. Примеры ведущих мировых производителей, таких как Siemens, Bosch, Nokia, Alcatel и многих других, уже не одно десятилетие активно использующих на своих предприятиях системы автоматизированного тестирования на базе установок TAKAYA, доказывают эффективность этих решений.

Особые причины внедрять технологии автоматизированного тестирования на своих предприятиях существуют и у тех компаний, которые занимаются контрактной сборкой электроники. Уже сейчас многие заказчики требуют проведения внутрисхемного контроля при заказе монтажа печатных плат. Со временем эта тенденция будет только усиливаться, так как требования к качеству изделий,

как уже было сказано выше, постоянно растут. Кроме того, наличие участков автоматизированного тестирования предоставляет им неоспоримые конкурентные преимущества для привлечения новых заказчиков.

Резюмируя вышесказанное, нетрудно сделать вывод, что внедрение систем автоматизированного электрического контроля дает следующие выгоды:

- возможность комплексного тестирования печатных узлов, включающего их программирование и проверку функционирования;
- ощутимое снижение затрат на производство;
- значительное повышение уровня качества продукции за счет исключения человеческого фактора, влияющего на результаты тестирования.

Любая модернизация должна отвечать трем принципам: своевременность, необходимость и грамотная реализация. Время для внедрения технологий автоматизированного тестирования на российских производствах давно наступило. Становится понятно, что они необходимы — без них развитие электронной отрасли зайдет в тупик. Крайне важно правильно реализовать эти начинания. Именно тогда необходимые перемены станут переменами к лучшему. 

# Избежать ремонта: технология процесса

**Стопроцентное измерение  
параметров нанесения паяльной  
пасты без снижения скорости**

Материал подготовила Ксения Бунатян,  
руководитель направления контрольного  
оборудования компании «Диполь»

Перевод: Артем Вахитов



За последние годы вышло множество публикаций, посвященных контролю миниатюрных деталей и компонентов печатных узлов. Уменьшение размеров компонентов влечет необходимость сужать допуски на параметры технологических процессов и совершенствовать как технологическое оборудование, так и сами процессы. Габариты посадочного места компонента типоразмера 0201 составляют всего 300×600 мкм. Каковы же тогда размеры наносимого слоя паяльной пасты? Для компонентов в корпусах  $\mu$ BGA и CSP его диаметр может начинаться от 200 мкм. Чем меньше и легче компонент, тем выше вероятность его



Ксения Бунтян

вздыбливания (tombstoning) в результате установки на контактные площадки с неодинаковыми размерами слоя паяльной пасты (рис. 1). Традиционно при проектировании систем управления технологическим процессом в контур обратной связи включались только автоматы установки компонентов. Но паяльная паста находится в основе процесса пайки, поэтому операцию ее нанесения также следует включить в систему управления. При этом недостаточно только определять присутствие или отсутствие паяльной пасты, необходимо также измерять высоту, площадь и объем ее слоя.

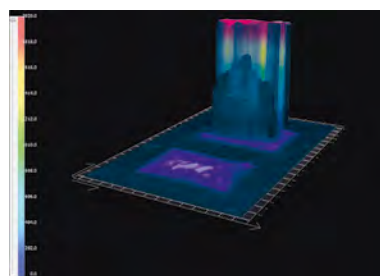
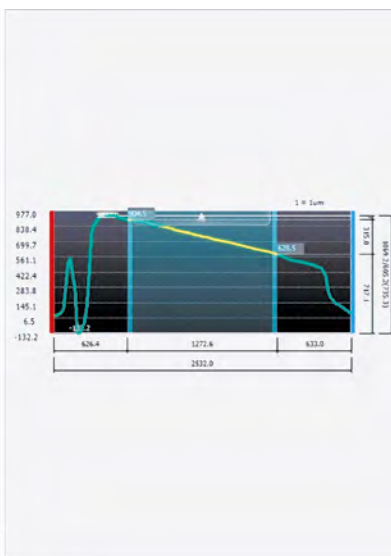
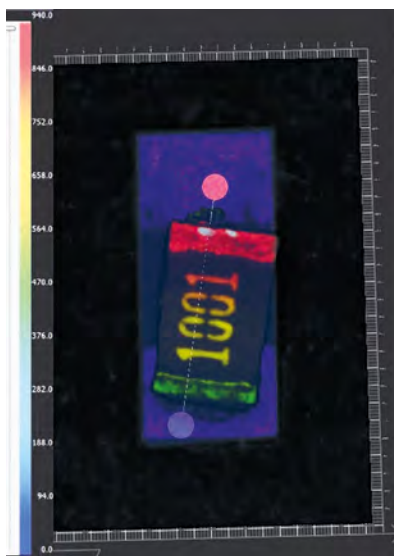



Рис. 1. Дефект «надгробный камень»

Технологический процесс поверхностного монтажа (SMT) состоит из двух основных подпроцессов: нанесение (печать) паяльной пасты и установка компонентов. Теоретически пайка оплавлением может рассматриваться как третий подпроцесс, но она, как правило, не является значимым источником дефектов. Печь для пайки оплавлением работает как преобразователь дефектов: если на ее входе присутствуют какие-то отклонения (например, сдвиг компонентов), на выходе компоненты располагаются правильно, и наоборот, если компонент установлен ровно на



контактные площадки с неравномерно нанесенной паяльной пастой, результатом является вздыбливание.

В последние годы установке компонентов уделялось серьезное внимание, и целый ряд компаний, специализирующихся на оборудовании автоматизированного оптического контроля и установки компонентов, работал над ее включением в систему статистического управления технологическим процессом по замкнутому контуру. В результате удалось заметно усовершенствовать процесс установки компонентов и повысить вероятность обнаружения

отклонений от заданных параметров. При этом процессу трафаретной печати паяльной пасты придавалось недостаточное значение. В стандарте IPC 610 определены допуски на положение компонентов для поверхностного монтажа и объем припоя. Допусками из стандартов IPC можно пользоваться при измерении положения компонентов до пайки оплавлением, но для технологического процесса трафаретной печати параметры управления не определены. Общепринятые нормы на объем или смещение отпечатков паяльной пасты отсутствуют.



**С ростом количества скрытых паяных соединений важность измерения и контроля параметров качества нанесения паяльной пасты только повышается**



Признанный эксперт в области производства трафаретных принтеров, компания Speedline, опубликовала план и результаты эксперимента по оценке эффектов сдвига компонентов и смещения отпечатков паяльной пасты при пайке паяльными пастами на основе бессвинцовых и оловянно-свинцовых припоев. Выводы содержали, в частности, следующие утверждения: 1) доля дефектов, обусловленных смещением отпечатков паяльной пасты, в 2 раза превышает долю дефектов, обусловленных сдвигом компонентов; 2) при использовании паяльной пасты А на основе оловянно-свинцового припоя не было выявлено ни одного дефекта в паяльном узле с компонентами типа-размера 0402 (сдвиг компонентов). При использовании паяльных паст А и В на основе бессвинцовых припоев доля дефектов в печатном узле составила 20%. Это указывает на то, что пасты

на основе бессвинцовых припоев требуют более высокой точности трафаретной печати и установки компонентов по сравнению с пастами на основе оловянно-свинцовых припоев. Тем самым высвечивается проблема сдвига отпечатков паяльной пасты — всего одна проблема, которая способна стать причиной множества дефектов. Подтверждается и широко обсуждаемый тезис о том, что пайка оплавлением может маскировать погрешности трафаретной печати и установки компонентов. Следовательно, после перехода на бессвинцовые припои эти погрешности обернутся дефектами на выходе с технологической линии.

Автоматизированный оптический контроль, выполняемый после установки компонентов (или перед пайкой оплавлением), применяется уже на протяжении ряда лет во многих компаниях — особенно в тех, чей подход



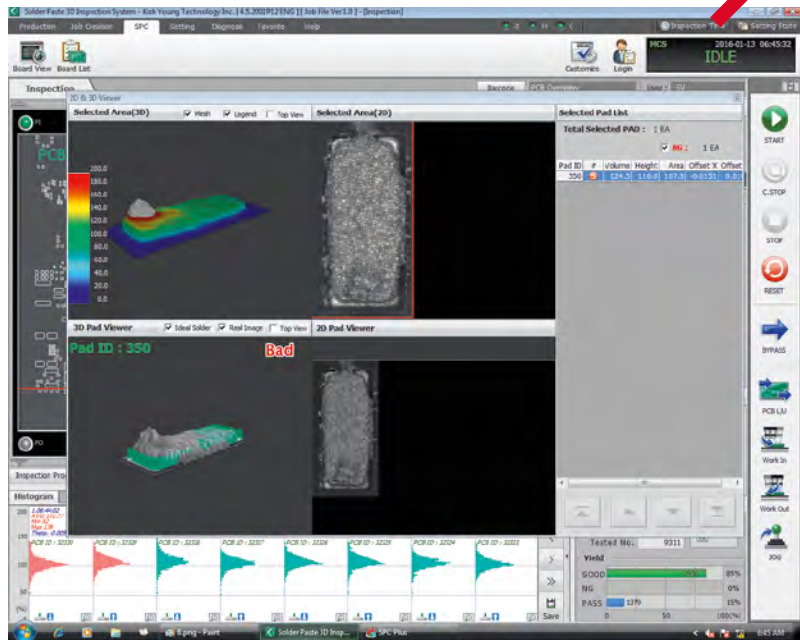


Рис. 2. Дефект «собачьи уши»

к производству основан на управлении технологическими процессами. Существующее оборудование отвечает основным требованиям к системе контроля: малое время программирования, работа на скорости технологической линии и приемлемая частота ложных срабатываний (отбраковок). Системы измерения геометрических параметров компонентов встраиваются в технологическую линию поверхностного монтажа для того, чтобы устранить систематические дефекты процесса установки компонентов и обеспечить выявление случайных дефектов. Если процесс установки хорошо налажен, частота дефектов не превышает 20 ppm. Если после установки системы автоматизированного оптического контроля добавятся ложные срабатывания в объеме 20 ppm или больше, это будет отвлекать оператора от реальных проблем на технологической линии.

Основная задача при установке компонентов — точное их позиционирование по X/Y-координатам. Это задача двумерная.

Трафаретная печать паяльной пасты — трехмерная задача, так как в этом случае одного только правильного расположения отпечатка в плоскости недостаточно. Соответственно, трехмерной задачей является и измерение параметров качества нанесения паяльной пасты. Чтобы обнаружить все возможные отклонения от заданных параметров технологического процесса помимо смещения отпечатка по осям X и Y, необходимо также измерить высоту, площадь и объем каждого отпечатка.

Почему третье измерение столь важно при контроле качества нанесения паяльной пасты? Отклонения в ходе этого процесса, такие как недостаток или избыток паяльной пасты,

приводят к возникновению дефектов на этапе после пайки, определенных в стандарте IPC 610. Недостаточный объем паяльной пасты трудно выявить при автоматизированном оптическом контроле после пайки и невозможно путем внутрисхемных измерений. Между тем паяные соединения с этим дефектом первыми отказывают в ходе эксплуатации. Затраты на ремонт огромны в сравнении со стоимостью оборудования, а ущерб от потери доверия клиентов вообще неизмерим в денежном выражении. Кроме того, может возникать ряд других отклонений, таких как «собачьи уши» (рис. 2) или «хвосты». Если эти «хвосты» слишком длинные, они оседают и образуют перемычки с соседними контактными площадками. Выявление подобных дефектов может быть затруднено, особенно если они затрагивают выводы компонента в корпусе QFP.

С ростом количества скрытых паяных соединений, например в связи с использованием компонентов типа BGA, CSP (корпус, соизмеримый с размером кристалла) или FlipChip (с перевернутым кристаллом), важность измерения и контроля параметров качества нанесения паяльной пасты только повышается. Обнаружение дефектов на этих компонентах или под ними требует дорогостоящего рентгеновского оборудования, а процесс ремонта гораздо более деликатный и длительный, чем в случае видимых паяных соединений. Продолжительное воздействие тепла может привести к повреждению как самого BGA-компонента, так и области вокруг него. При использовании бессвинцовой технологии температура пайки выше, а эффективная длительность временного окна теплового воздействия (от расплавления до повреждения компонента) — меньше.

Тогда зачем устанавливать обычный дорогостоящий компонент на участок с некачественным отпечатком паяльной пасты, если это можно предотвратить?

Можно возразить, что процесс с фактической частотой дефектов 20–30 ppm не требует особого дополнительного контроля, но статистическое управление технологическим процессом по выборке изделий не позволит снизить частоту дефектов. На уровне 20 ppm все систематические погрешности устранены, и возникают только случайные дефекты. Их нельзя обнаружить путем выборочного контроля, необходим сплошной контроль.

Сам по себе технологический процесс трафаретной печати предусматривает множество параметров, влияющих на результат. Скорость и давление принтера в большинстве случаев подбирают эмпирическим путем, но помимо этого результат определяется также вязкостью паяльной пасты, временем открытия, влажностью окружающего воздуха и периодичностью очистки. Количественно охарактеризовать влияние этих параметров труднее. Следовательно, измерение сразу после печати позволит своевременно определить, годится ли печатная плата для дальнейшей обработки. Пожалуй, время автоматического управления трафаретной печатью паяльной пасты по замкнутому контуру еще не пришло, но оператор может расшифровывать данные измерений и на их основании управлять системой в параметрическом режиме. Таким образом, можно оперативно оценить результат изменения параметров трафаретного принтера и определить наилучшие параметры. За счет этого сокращается время наладки технологического процесса и выхода на серийное производство.

Точные измерения — необходимое условие статистического управления технологическими процессами (SPC). Повторяемость и воспроизводимость результатов должны быть чрезвычайно высоки, поскольку статическое управление по выборке, содержащей чрезмерное количество ложных

срабатываний, бессмысленно. Поэтому определение параметров качества нанесения паяльной пасты следует относить скорее к измерениям, а не к контролю. При контроле полагаются на анализ «в оттенках серого», а при измерениях — на результаты в численном выражении.

На рынке трехмерного измерения параметров качества нанесения паяльной пасты присутствует несколько технологий. Две основные технологии — лазерная триангуляция (рис. 3) и проецирование белой световой сетки, или многочастотный муар — (рис. 4), обычно применяются в сочетании с интерферометрическими методами. Лазерные системы, используемые в качестве сканеров, выдают всего один набор данных на каждую точку измерения. Проекторы муара регистрируют несколько изображений и выдают по несколько наборов данных на каждый участок, благодаря чему результаты измерения оказываются надежнее, а доля ложных срабатываний — меньше. Это, как правило, подтверждается большей повторяемостью и воспроизводимостью результатов. Проекторы муара обычно нечувствительны к цвету печатной платы, а красные лазеры могут затруднять работу с печатными платами темных и других цветов, и тем более красных.

Для того чтобы встраивание таких систем в производственную линию было целесообразным, они должны



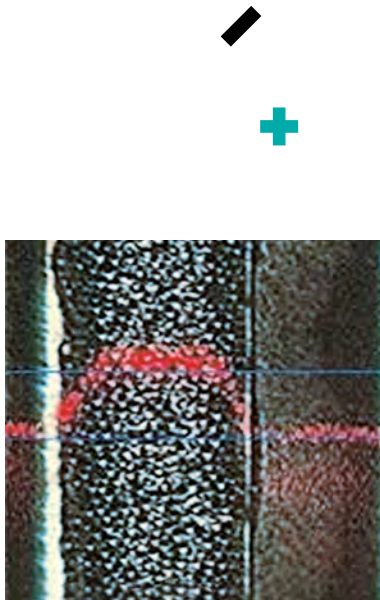


Рис. 3. Измерение при помощи лазера

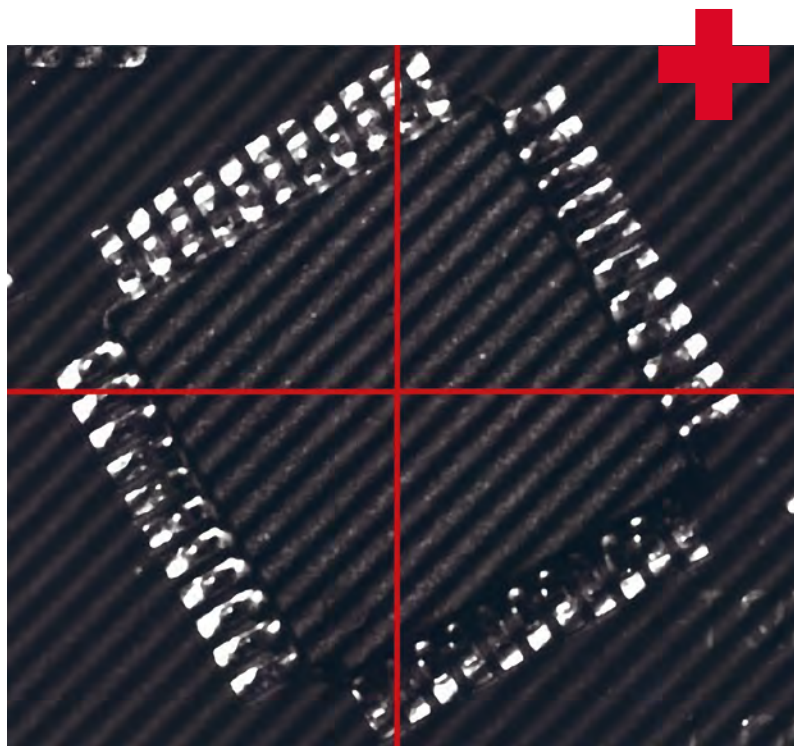



Рис. 4. Измерение при помощи многочастотного муара

удовлетворять вышеупомянутым критериям: малое время программирования, работа на скорости линии и отсутствие ложных срабатываний. За последние несколько лет системы контроля и измерения параметров качества нанесения паяльной пасты были значительно усовершенствованы, и теперь их можно полностью интегрировать в производственную линию, чтобы инженеры-технологи и операторы могли получать ценную обратную связь для статистического управления производственным процессом.

Технологический процесс поверхностного монтажа (SMT) состоит из двух основных подпроцессов: нанесение (печать) паяльной пасты и установка компонентов. Управление обоими этими подпроцессами не только

идеальный вариант, но и единственная стратегия достижения максимально возможного выхода годных изделий. При фактической частоте дефектов в 20 ppm очевидно, что для выявления всех случайных дефектов необходим сплошной контроль. Кроме того, измерительные системы в составе технологической линии помогут предотвращать дефекты и исключать проникновение дефектных изделий на последующие технологические участки. Упрощать процесс контроля всегда желательно, но уменьшение числа дефектов посредством сложного контрольно-измерительного оборудования позволит снизить затраты на отладку и проверку сложных цепей силами высококвалифицированных специалистов-ремонтников. Финан-

совые и трудовые затраты на поиск и исправление смещенного отпечатка паяльной пасты или сдвинутого компонента незначительны по сравнению с тем, во что обходится контроль на более поздних стадиях.

Полностью избавиться от контроля на выходе с производственной линии нельзя, но управление производственным процессом — один из лучших способов достичь максимально возможного выхода годных изделий. Качество продукции не обеспечить за счет ремонта: оно должно быть заложено в производственном процессе. 

Автор выражает благодарность президенту Christopher Associates Мэтью Т. Хольцману (Matthew T. Holzmann) за предоставленные материалы.

# Размер не важен

**Инспекция плат размеров XXL  
с высокой скоростью:  
новое решение  
в области АОИ  
от SAKI**

Ксения Бунатян, руководитель  
направления контрольного  
оборудования компании «Диполь»



Компания SAKI Corporation, основанная в 1994 году, за короткий период завоевала мировую известность на рынке оборудования автоматической оптической инспекции для электронных изделий. Девиз «Стремись создать новое и ценное», который помог этого добиться, стал неотъемлемой частью корпоративного принципа компании. На рынке оборудования электроники представлено огромное количество производителей 2D АОИ систем, а потому для удержания завоеванных позиций

SAKI не останавливается в разработках и расширении модельного ряда продукции. В результате этой деятельности появилась новая модель BF-10Z, предназначенная для печатных плат больших размеров.

Новая система АОИ SAKI использует уникальную технологию линейного сканирования для проверки печатных плат размером 686×870 мм, позволяя увеличить площадь сканирования на 40% по сравнению с предыдущей моделью XXL SAKI. Новинка содержит инновационный метод сканирования

Multi-Threading, обеспечивающий инспекцию плат XXL-размера, несмотря на небольшие габариты самой машины, что в свою очередь позволяет уменьшить производственные площади для системы такого класса.

BF-10Z SAKI использует технологию мощного коаксиального освещения SAKI, работающую с поверхностью печатной платы под углом 90 градусов, что исключает тень, которая могла бы появиться на низких компонентах из-за более высоких соседних элементов. Библиотека компонентов,

В ближайшие десятилетия электронная промышленность будет играть ключевую роль в развитии глобальной экономики.  
Саки Джоди Акияма, генеральный директор и основатель SAKI Corporation


созданная при помощи коаксиального освещения, легко перемещается в системе ПО — с места на место, с платы на плату, с машины на машину. Как и другие 2D АОИ SAKI, BF-10Z может быть оборудована возможностью считывания с 1D- или с 2D-штрихкодами (QR-код и данные матрицы). Эта опция делает сборку и отслеживание дефектов более эффективными.

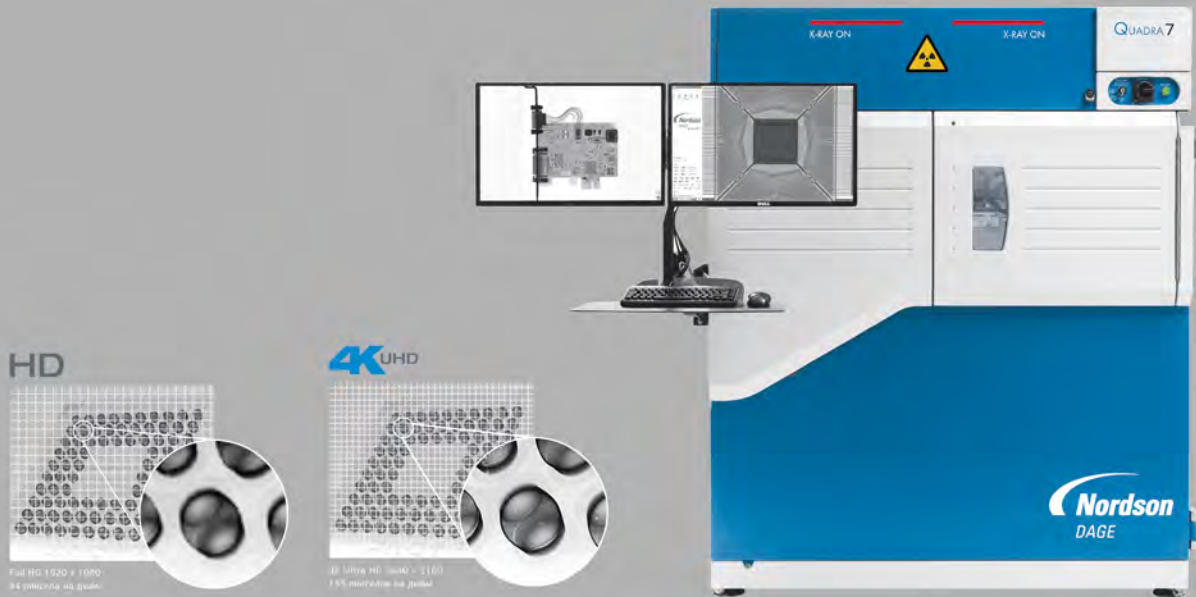
Для производителей XXL-плат с установкой сверхмалых компонентов, таких как 01005, SAKI оснастила новую BF-10Z мощным 10-мм разрешением сканирования для точной инспекции. При работе с разрешением 10 мкм BF-10Z способна инспектировать плату максимального размера за 63 с. Теперь пользователи могут выбирать между любым разрешением в зависимости от режима работы, останавливаясь на том, который наилучшим образом соответствует потребностям в точности и производительности. При работе в стандартном режиме разрешения 20 мкм, скорость сканирования у новой BF-10Z на 10% выше, чем у предыдущих XXL-моде-

лей, даже с 60%-ным увеличением зоны сканирования. У системы BF-10Z время инспекции платы размером 686×870 мм занимает лишь 39 с. Также BF-10Z имеет зазор 4 см над и под платой, предоставляя достаточно места для самых крупных SMT-компонентов. Это позволяет установить BF-10Z в любом месте в процессе сборки: после нанесения пасты, после установки компонентов, после оплавления или ручной пайки.

Функциональные возможности встроенной в режиме реального времени программной опции статистики и анализа SPC помогают объединить исключительное качество с высокой производительностью процесса SMT. Для большей эффективности BF-10Z, как и все модели SAKI, имеет дополнительные рабочие места (опции), такие как: BF-Editor (офлайн-программирование), BF-RP1 (ремонтная станция), BF-View (станция обзора) и BF-Monitor (статистика и управление).

Главный офис SAKI Corporation расположен в Токио (Япония), а для обеспечения поддержки и сервиса заказчиков

по всему миру выстроена солидная дистрибьюторская сеть в разных странах — это Китай, Тайвань, Корея, Сингапур, Таиланд, Германия, Турция, Россия, США. Такие задачи, как удовлетворение потребностей заказчика, высокое качество оборудования, высокий уровень сервиса, комфортная атмосфера в компании, SAKI включила в свой комплексный план управления. Но главная цель корпорации неизменна — не останавливаться на достигнутом, создавать новое, учитывая изменения потребностей рынка. Компания «Диполь», являясь официальным дистрибьютором продукции SAKI Corporation на территории Российской Федерации, регулярно организует практические семинары, на которых демонстрируются основы инспекции печатных плат: программирование компонентов различной сложности, методы и алгоритмы проверки, отчетности. Наши специалисты с готовностью выслушают ваши вопросы и дадут необходимые консультации. 



## Новая QUADRA — новый уровень рентгеновской инспекции

Компания Nordson DAGE запустила новую серию систем рентгеновского контроля QUADRA с новым уровнем разрешения, надежности и производительности.

В апреле 2016 г. подразделение Nordson Corporation компании Nordson DAGE — лидера в рентгеновской инспекции для электроники — представило четвертое поколение систем рентгеновского контроля ультравысокого разрешения серии Quadra. Впервые системы были показаны на выставке Nercon China в Шанхае (Китай) и SMT/Hybrid/Packaging в Нюрнберге (Германия). Благодаря авторской разработке компании — трубке QuadraNT, а также детектору Aspire FP, инспекционному программному обеспечению Gensys и высоковольтному генератору QuadraGen, компания Nordson DAGE

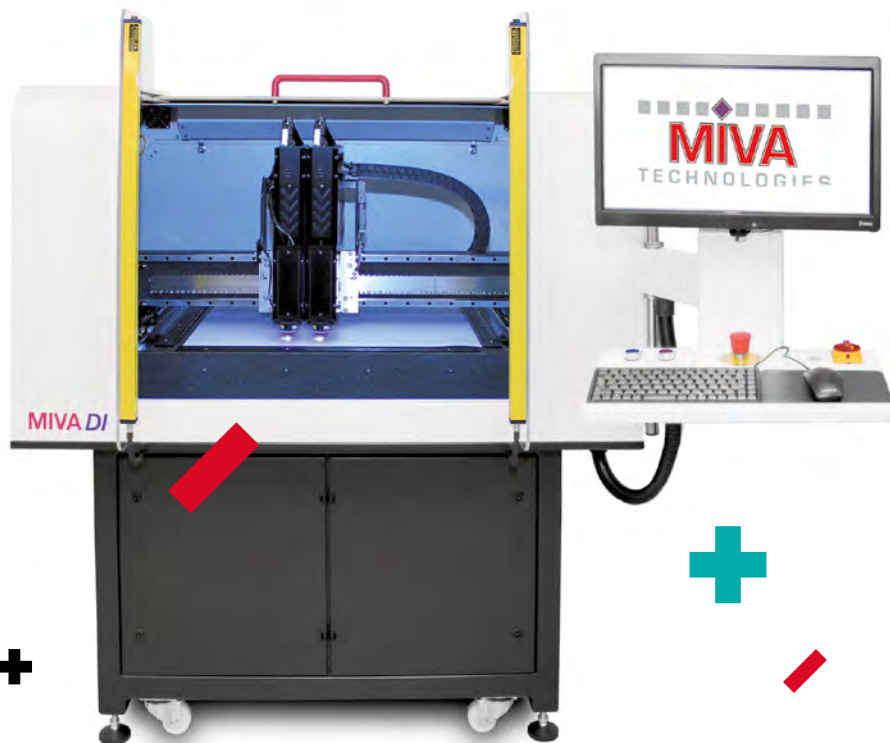
предлагает заглянуть в будущее разрешения, надежности и производительности рентгеновского контроля.

Ведущая система Nordson DAGE Quadra 7 с разрешающей способностью 0,1 мкм оборудована двумя экранами 4K Ultra-HD ультравысокого разрешения: 8 млн пикселей нужны, чтобы полностью раскрыть возможности нового детектора Aspire FP с размером пикселя 50 мкм и разрешением 6,7 Мпикс. Экраны 4K Ultra-HD обеспечивают вчетверо большую детализацию по сравнению с обычными HD-экранами. Это позволит разработчикам перейти на субмикронный уро-

вень детализации, достигая полного увеличения в 68 тыс. раз.

Использование новейших технологий в системе Quadra 5 обеспечивает высокую производительность и простоту использования в 2D и 3D рентгеновской инспекции. Разрешающая способность 0,35 мкм и мощность до 10 Вт (опционально 20 Вт) делает Quadra 5 лучшим выбором для рентгеновской инспекции печатных плат и микроэлектронных компонентов.

Появление систем рентгеновского контроля серии Quadra положило начало новой главы в решениях для инспекции для производства электроники.



## Новое поколение установок безмасковой литографии и прямого экспонирования Miva – 2030X/2060X

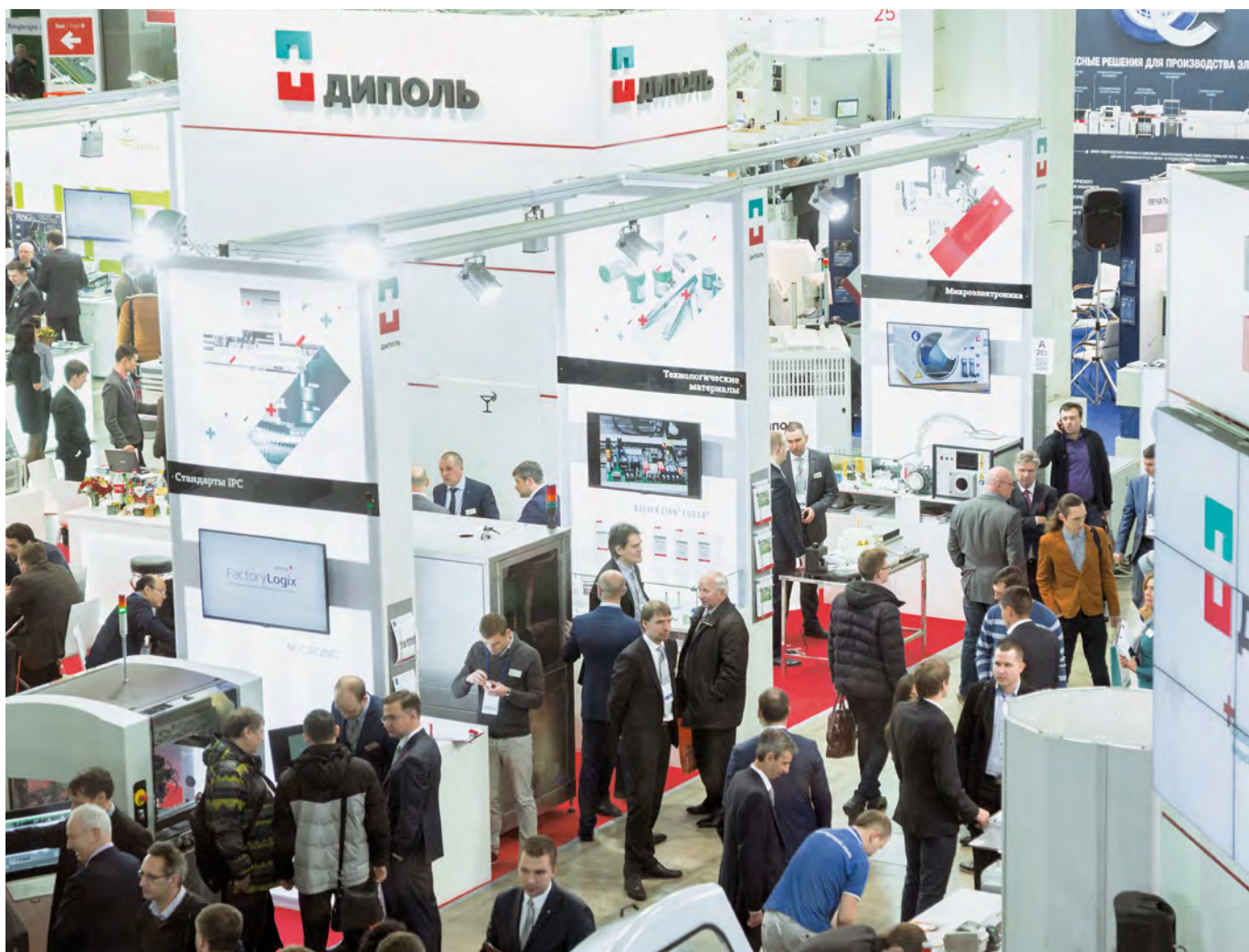
- Производство фотошаблонов и прямое экспонирование: разрешение до 2 мкм
- Поштучная обработка или обработка партии пластин: поле 500×600 мм
- Два светодиода: возможность работы с фоторезистами и фотоэмульсией
- Высокая производительность: 10-30см<sup>2</sup>/мин (зависит от материалов)
- Камера высокого разрешения: режим совмещения и автофокус
- Гранитная плита в основании для защиты от вибраций
- Низкая цена и стоимость эксплуатации, отсутствие «проблем» лазерных генераторов

## Инновационные решения для электронной промышленности

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород  
[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru) / [info@dipaul.ru](mailto:info@dipaul.ru)

# «Диполь»

## на «ЭлектронТехЭкспо-2016»







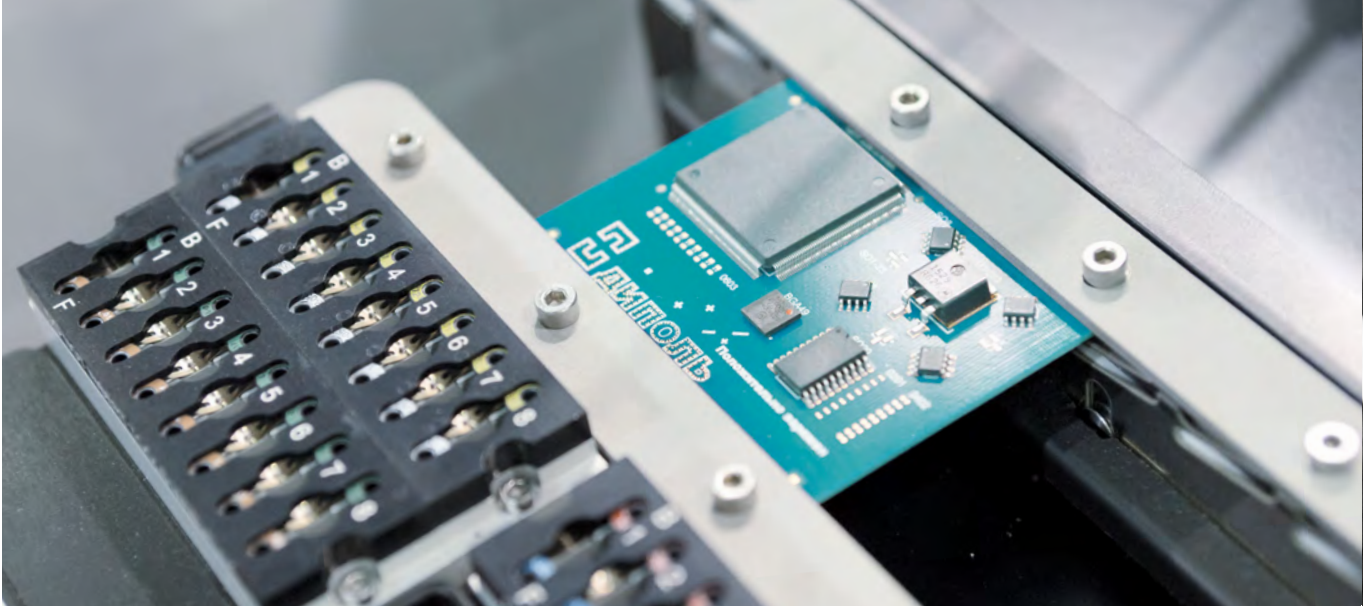
С 15 по 17 марта 2016 года в МВЦ «Крокус Экспо» в Москве состоялась 14-я Международная выставка технологий, оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности «ЭлектронТехЭкспо/ЭкспоЭлектроника». Компания «Диполь» традиционно приняла участие в этом важном отраслевом событии.

Выставка «ЭлектронТехЭкспо» — единственная в России и странах Восточной Европы экспозиция, посвященная технологиям, оборудованию и материалам для производства изделий электроники. Подтверждая свой масштабный статус, в этом году «ЭлектронТехЭкспо» приняла 98 компаний из 19 стран. Участники представили продукцию более 500 мировых брендов. За три дня работы выставок «ЭлектронТехЭкспо» и «ЭкспоЭлектроника» их посетили свыше 7500 специалистов из 35 стран и 64 регионов России. В рамках деловой программы прошло 33 технических семинара.

Компания «Диполь», как традиционный участник этого важнейшего отраслевого события, представила все направления своей деятельности, включая новые разработки и оборудование.

На нашем выставочном стенде, как всегда, проходили профессиональные дискуссии, проводились демонстрации следующего оборудования и решений:

- новые решения для сборки электронных изделий;
- инновационные технологии в области производства изделий микроэлектроники;
- решения для производства кабельных сборок и жгутов;
- оборудование для поиска и обнаружения дефектов;
- решения для проведения климатических и вибрационных испытаний;
- измерительные приборы и интегрированные измерительные решения;
- инновационные технологии в области 3D-печати и 3D-сканирования;
- чистые производственные помещения;
- промышленная мебель Viking;
- антистатическое оснащение рабочих мест;
- решения для ручной пайки и ремонта.







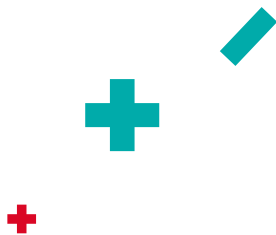




Автоматический трафаретный принтер EKRA SERIO 4000

#### Технологический лидер

Компания EKRA основана в 1946 году в Германии. Являясь частью группы компаний ASYS, на протяжении десятилетий EKRA была и остается технологическим лидером в разработке и производстве систем трафаретной печати. Портфель оборудования компании EKRA чрезвычайно широк: ручные, полуавтоматические и полностью автоматические системы трафаретной печати, которые применяются в диапазоне от небольших лабораторий до глобальных производственных компаний. Системы трафаретной печати EKRA характеризуются высочайшей степенью точности и надежности — качествами, которые в течение последних 35 лет действительно находят отражение в слогане «Сделано в Германии».



Об основных новинках оборудования для производства электроники, предлагаемых компанией «Диполь», мы попросили рассказать коммерческого директора ЗАО «Диполь Технологии» Дмитрия Иванова. В рамках выставки «ЭлектронТехЭкспо/ЭкспоЭлектроника-2016» наша компания показала две технологические новинки от компании ASYS: новейший автоматический трафаретный принтер EKRA SERIO 4000 и полуавтоматический разделитель групповых заготовок ASYS DIVISIO 2100.

SERIO 4000 — это уникальная масштабируемая платформа для тех, кто не приемлет компромиссов, связанных с такими параметрами, как гибкость и производительность. Данная платформа способна легко трансформироваться, адаптируясь к растущим потребностям совре-

менного производства. В числе уникальных технологических решений этой машины можно выделить следующие:

- Две независимые пневматические головки печати, в конструкции которых применены специальные пневматические цилиндры с низким

- SIMPLEX — новейший уникальный пользовательский интерфейс HMI для управления сложным технологическим оборудованием. В его основе находится сенсорный дисплей с технологией multi touch, позволяющей распознавать и обрабатывать несколько касаний одновременно. Данный интерфейс обеспечивает интуитивно понятное программирование установок, настройку зон автоматической инспекции, обучение реперных знаков и т. д. Как следствие, время подготовки машины к работе сокращается на 15%. Система оптической инспекции качества нанесения 2½ D. После процесса нане-

сения система проверяет наличие пасты на контактных площадках, а также наличие замыканий. При этом используются два различных типа освещения, как и в системе позиционирования: прямой и рассеянный свет. Под действием двух различных систем освещения паста по-разному отражает свет, и на основании полученных отраженных сигналов генерируется объемное изображение отпечатка (эта технология дала название системе — 2½ D).

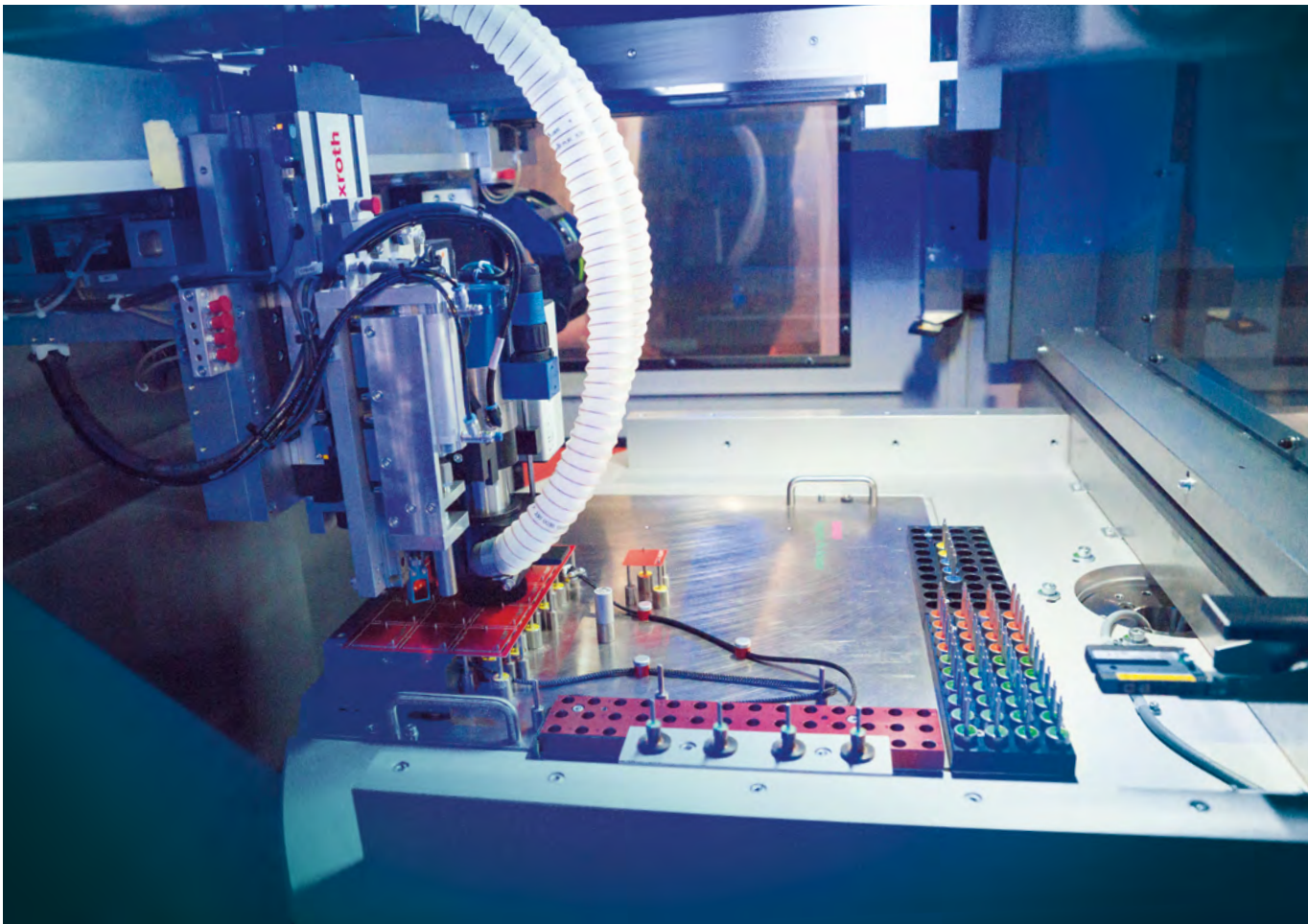
- Встроенный каплеуловитель дозатор IPAG JET, способный дозировать 20 точек клея диаметром 500 мкм всего за 6 секунд. Новый



Дмитрий Иванов

коэффициентом трения. Обе печатающие головки имеют 100%-ный замкнутый контур и контролируются с помощью высокоточного пропорционального воздушного клапана, гарантирующего постоянный уровень давления ракеля в течение всего процесса печати.

дозатор неприхотлив в обслуживании и даже позволяет оставлять тьюбик с пастой в машине, если не предполагается использовать систему в течение нескольких дней (без опасности засыхания пасты). В устройстве предусмотрена бесконтактная каплеуловительная технология, с помощью которой можно наносить клеевые точки диаметром 0,5 мм до 4 раз быстрее, чем используя стандартный шнековый дозатор. Таким образом удается обеспечить гораздо более широкое окно процесса.



Полуавтоматический разделитель групповых заготовок ASYS DIVISIO 2100

**Компания «Диполь», как традиционный участник «ЭлектронТехЭкспо», представила все направления своей деятельности, включая новые разработки и оборудование**

ASYS DIVISIO 2100 — полуавтоматическая система для разделения групповых заготовок. Оснащена быстрой системой загрузки плат на базе поворотного стола. Пока одна панель разделяется, оператор загружает другую панель. Возможность располагать фрезерующую головку либо выше, либо ниже уровня поворотного стола

позволяет многократно повысить гибкость системы. Все оси установки оснащены высокоточными линейными двигателями. Данная система является эффективным решением для заказчиков, которые хотят разделять панели плат автоматизированным способом, не подвергая платы чрезмерным механическим воздействиям. Это решение





Полуавтоматический разделитель групповых заготовок ASYS DIVISIO 2100

интересно в первую очередь производств с небольшим объемом выпуска продукции, что оправдало бы приобретение инлайн-машины.

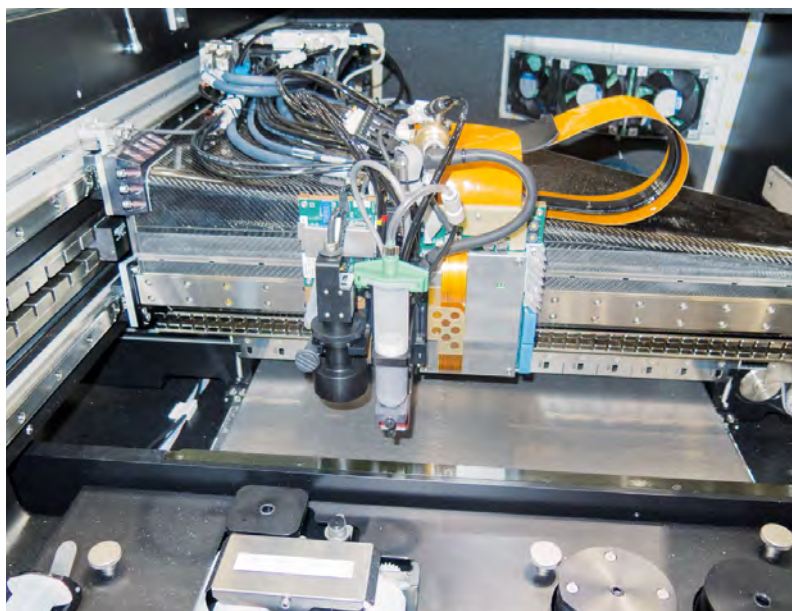
Несколько слов хотелось бы сказать и о каплеустройном принтере MY600, зарекомендовавшем себя как отличное решение для многоменклатурных малосерийных производств

с высокими требованиями к качеству и гибкости процесса. На выставке была представлена новая дозирующая головка для принтера MY600, которая может работать более чем с 200 типами различных материалов (гели, компаунды, клеи, герметики и т.д.). Головка, способная двигаться со скоростью до 1,5 м/с при ускорении до 3g,

в сочетании с аппликатором, генерирующим 720 тыс. доз в час, обеспечивает машине в 2–10 раз (в зависимости от типа наносимого материала) большую производительность, чем традиционные классические контактные дозаторы. На современном рынке эти преимущества делают ее самой быстрой установкой подобного назначения.

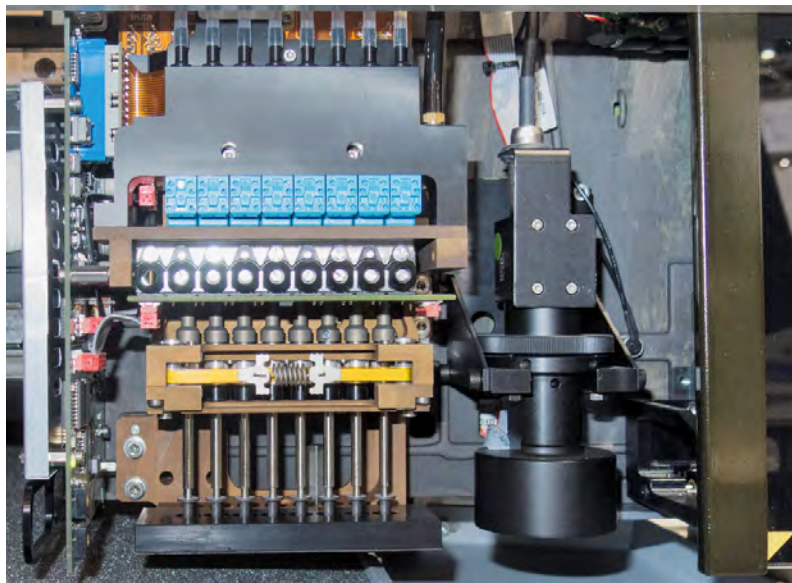


Платформа MY600



Новая головка с бесконтактным аппликатором для моделей MY600JD и MY600MP

Кроме того, наша компания представила автоматические установщики компонентов серии MY200. Это новое, 4-е поколение установщиков Muscronis, пришедшее в 2014 году на смену серии MY100. В машинах сохранена традиционная для компании концепция: максимальная гибкость, удобство и скорость переналадки; при этом повышена надежность и увеличена точность и скорость установки компонентов. В серии MY200 внедрены две основные новации.



Скоростная головка Hydra 4 модель Z8



Автоматический установщик компонентов серии MY200

Первая — скоростная головка Hydra 4 модель Z8 с тем же количеством захватов, что и в прежних моделях (8 штук), но принципиально новой конструкции, которая внесла основной вклад в повышение быстродействия машины. Вторая — система линейного сканирования LVS3, обеспечивающая распознавание и центрирование компонентов «на лету». Усовершенствованная двойная подсветка, способность камеры получать 50 тыс. изображений в секунду, автоматизированный процесс обучения и адаптивные алгоритмы работы существенно увеличивают быстродействие системы технического зрения, снижая при этом до минимума количество ошибок и ложных сбросов компонентов.

Результат нововведений — двукратное повышение точности установки компонентов скоростной головкой: показатель повторяемости монтажа, сертифицированный по методике стандарта IPC9850, составляет менее чем 30 мкм при 3σ. Пользуясь этим, в 2016 году компания планирует анонсировать установку компонентов типоразмера 01005 со скоростной головкой — такая возможность предоставляется далеко не всеми производителями подобного оборудования.

Машины нового поколения, как и все установщики Muscronic, оборудованы прецизионной монтажной головкой MIDAS и могут устанавливать компоненты любых существующих

типов. MY200 выпускаются в двух форм-факторах — с базой на 112 и 176 8-миллиметровых питателей. Компания предлагает ряд установщиков производительностью от 6 тыс. до 50 тыс. компонентов в час, конкретная конфигурация поставочного образца определяется большим количеством разнообразных опций.


С машинами MY200 используются питатели типа Agilis™ — с быстрой переналадкой, с возможностью работы с самыми короткими фрагментами ленты. Последнее очень актуально для отечественных производств, когда клиент может заказать сборку единственной платы, предоставив комплектацию в виде обрезков лент длиной в несколько сантиметров.





Электронный индикатор e-label

Новая технология Agilis™ Smart Bin предоставляет операторам информацию реального времени о движении компонентов по звеньям технологической цепочки. Один из ключевых элементов технологии — электронный индикатор, так называемый e-label, устанавливаемый на корзину с магазином питателей, который по каналу Wi-Fi связан с сетью предприятия. Каждая машина имеет уникальный идентификатор, каждая корзина — индивидуальный штрихкод. При переналадке

линии из модуля MYCenter Material Handling из состава ПО системы управления производством на индикатор поступает информация, на какую машину в какой слот следует установить данную корзину. Таким образом, не только организуется безбумажный документооборот на этом участке технологической цепочки, но и кардинально снижается возможность ошибки оператора при загрузке установщиков. 



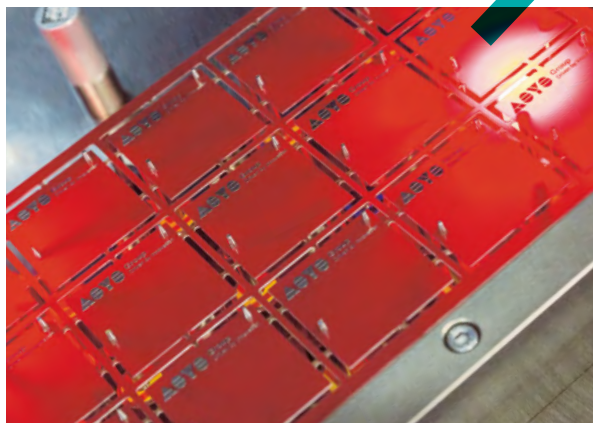








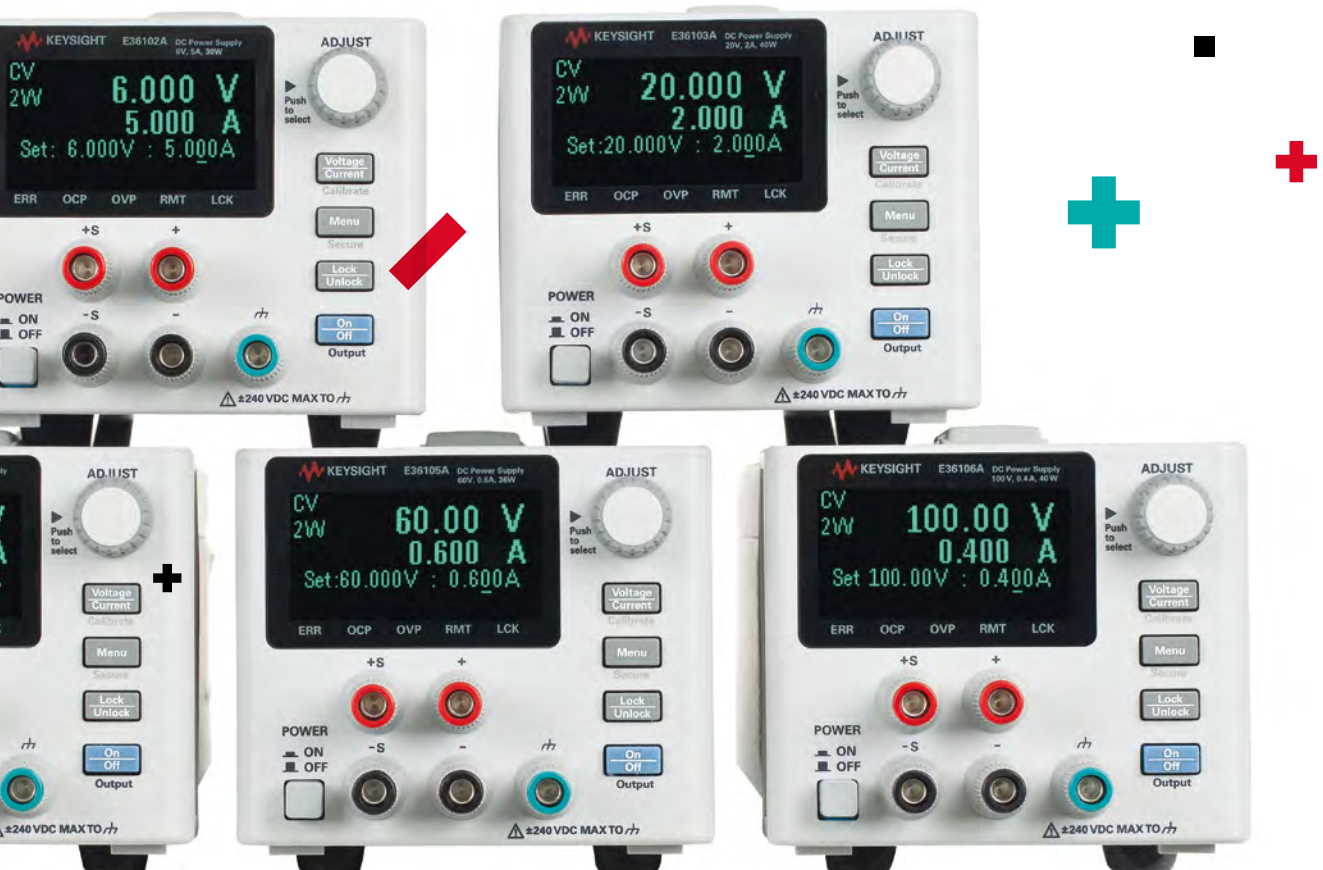




# Режим стабильности

## Вопросы стабилизации напряжения и тока источников питания

Мы продолжаем знакомить вас с материалами, посвященными базовым понятиям и подходам в использовании источников питания, современным решениям в данной области и уникальным функциям, помогающим решить самые сложные задачи при тестировании. В этом номере менеджер по развитию бизнеса и ведущий блога по источникам питания Keysight Technologies Алексей Телегин обсудит вопросы стабилизации напряжения и тока источников питания.





Алексей Телегин, ведущий блога по источникам питания Keysight Technologies

## Что происходит, когда источник питания выводит сообщение UNREG?

Многим из вас наверняка известны традиционные режимы стабилизации напряжения и тока в большинстве лабораторных и системных источников питания. И все они, кроме самых простых, имеют индикацию, показывают, в каком режиме работает источник. Однако более продвинутые источники питания предлагают дополнительные индикаторы для вывода расширенной информации о состоянии. Одним из индикаторов, с которыми вам, вероятно, приходилось сталкиваться, является однократно или постоянно мигающий индикатор UNREG. Известно, что такой сигнал означает — источник питания вышел из режима регулирования, то

есть не может стабилизировать напряжение или ток. Но что на самом деле происходит, когда источник питания выводит сообщение UNREG, и с чем это может быть связано?

Для того чтобы лучше понять, чем отличаются режимы стабилизации напряжения, тока и UNREG, полезно визуализировать их с помощью вольт-амперной характеристики источника питания и нагрузочной прямой внешнего питаемого устройства. На рис. 1 показана вольт-амперная характеристика обычного одноквадрантного источника питания с резистивной нагрузкой. Когда сопротивление нагрузки меняется от бесконечности до нуля, выход

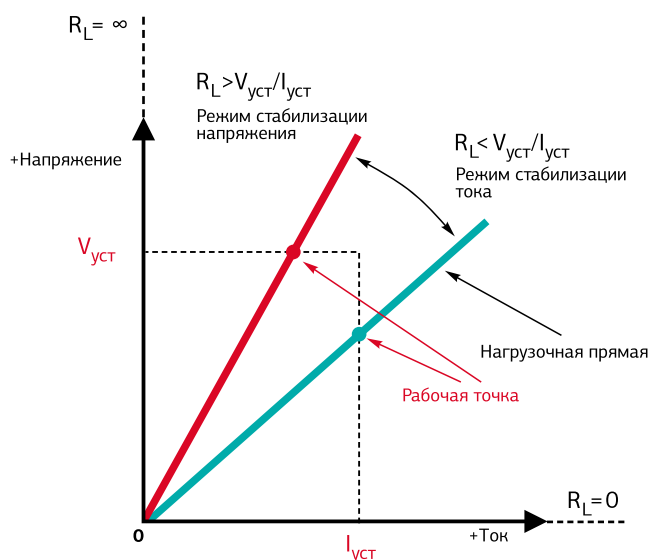


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика обычного одноквадрантного источника питания с резистивной нагрузкой

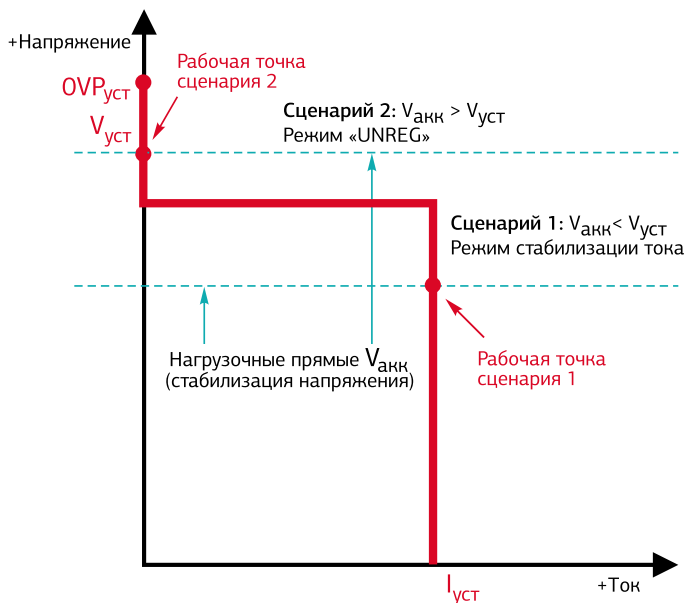


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика одноквадрантного источника питания с аккумулятором в качестве нагрузки

источника питания проходит все этапы от режима стабилизации напряжения до режима стабилизации тока. С пассивной нагрузкой, такой как резистор, вы вряд ли столкнетесь с режимом UNREG, если, конечно, что-то не случится с самим источником питания.

Но если в качестве нагрузки используется активное устройство, то шансы возникновения режима UNREG увеличиваются. Особенно когда результирующие значения тока и напряжения сравнимы с установленным током и напряжением источника питания. Одна из распространенных ситуаций, при которой можно столкнуться с режимом UNREG, — зарядка аккумулятора (выступающего в качестве внешнего активного устройства) от источника питания. На рис. 2 показаны два разных сценария. В сценарии 1, где напряжение аккумулятора меньше выходного напряжения источника питания, в точке пересечения вольт-амперной характеристики источника и нагрузочной прямой аккумулятора (режим стабилизации напряжения) источник питания

переходит в режим стабилизации тока, подавая в аккумулятор регулируемый ток заряда. Однако в сценарии 2 напряжение аккумулятора больше установленного напряжения источника питания (например, вы настроили автомобильное зарядное устройство на 6 В и подключили к нему 12-вольтовый аккумулятор). Если источник питания не способен потреблять ток, аккумулятор поднимает выходное напряжение источника питания вверх по оси напряжения до уровня напряжения аккумулятора. Такое напряжение, превышающее установленное напряжение источника питания, переводит его в режим работы UNREG.

Опасность данной ситуации в том, что источники питания более высокого класса обычно оборудуются системой защиты от перенапряжения (OVP). Некоторые типы такой защиты просто закорачивают выход источника, защищая питаемое устройство (возможно, дорогое) от перенапряжения. Если при подключении к аккумулятору сработает защита от перенапряжения такого типа,

это может повредить как источник питания, так и аккумулятор, поскольку аккумулятор может выдать очень большой ток. Вот почему полезно узнать, какой тип защиты от перенапряжения применяется в источнике питания, прежде чем заряжать с его помощью аккумулятор. Однако лучше использовать источник питания или зарядное устройство, специально предназначенные для соответствующего мониторинга и заряда аккумуляторов данного типа. Разработчики учитывают все упомянутые факторы, поэтому вам не о чем будет беспокоиться.

Здесь я немного отступил от темы, описав еще одну функцию — защиту от перенапряжения (OVP). При работе с источниками питания об этой функции нужно знать обязательно! Попробуйте предложить другие сценарии, в которых источник питания может перейти в режим UNREG (кстати, а что происходит на другом конце вольт-амперной характеристики источника питания, там, где она встречается с горизонтальной осью тока?).

## А где же кнопка СС?

Очень часто нас спрашивают о том, как перевести источник питания в режим стабилизации тока (СС). Этот вопрос принимал разные формы, в том числе: «А где же кнопка СС?». И так, на поставленный вопрос есть очень простой ответ: никакой кнопки СС не существует, но если вы дочитаете статью, то узнаете, как «перевести» источник питания в режим СС.

Большинство источников питания имеют два основных режима работы: режим стабилизации напряжения (CV) и режим стабилизации тока (CC). И хотя вы не выбираете режим, но устанавливаете значения выходного

напряжения и тока. После этого режим работы выхода определяется тем, что вы к нему подключите, то есть нагрузкой.

Режим работы выхода определяется тремя факторами (рис. 3):

1. Установленным выходным напряжением ( $V_{уст}$ ).
2. Установленным выходным током ( $I_{уст}$ ).
3. Сопротивлением нагрузки ( $R_{нагр}$ ).

Если ток нагрузки достаточно мал и МЕНЬШЕ установленного значения тока, источник питания будет работать в режиме стабилизации напряжения, а ток будет определяться сопротивлением нагрузки.

Если ток нагрузки достаточно велик и ПРЕВЫШАЕТ установленное значение тока, источник питания ограничит ток до установленного значения и перейдет в режим стабилизации тока, а напряжение при этом будет определяться сопротивлением нагрузки.

Допустим, у нас есть простая резистивная нагрузка  $R_{нагр}$ . Если  $R_{нагр} > V_{уст}/I_{уст}$ , источник питания будет работать в режиме стабилизации напряжения. Если  $R_{нагр} < V_{уст}/I_{уст}$ , источник питания будет работать в режиме стабилизации тока.

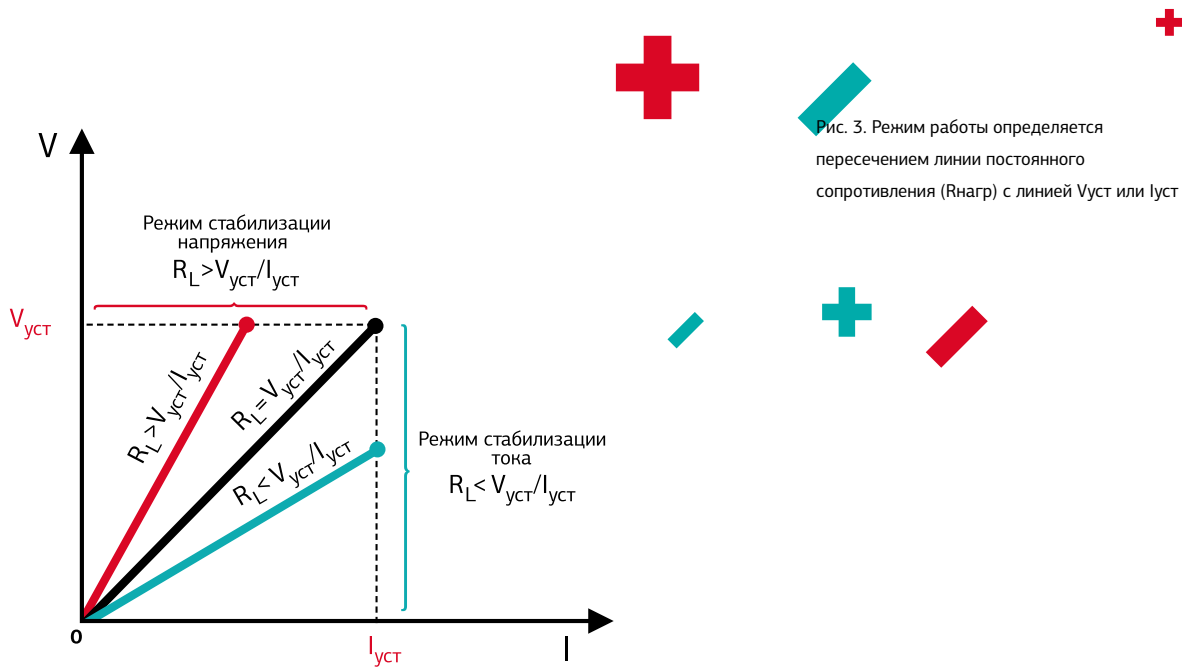



Рис. 3. Режим работы определяется пересечением линии постоянного сопротивления ( $R_{нагр}$ ) с линией  $V_{уст}$  или  $I_{уст}$



Два крайних случая соответствуют отсутствию нагрузки (почти бесконечное сопротивление) и короткому замыканию (почти нулевое сопротивление). Если выход источника питания разомкнут ( $R_{нагр} = \infty$ ), вертикальная линия от основания системы координат, то выход будет работать в режиме стабилизации напря-

жения, а ток протекать не будет. Если выход источника питания закорочен ( $R_{нагр} = 0$ ), горизонтальная линия от основания системы координат, то выход будет работать в режиме стабилизации тока при практически нулевом напряжении.

Заметьте, источники питания Agilent обычно индицируют текущий

режим работы на передней панели. Если источник питания не может стабилизировать напряжение или ток, индикатор покажет UNR (не стабилизирован), поскольку ни напряжение, ни ток не стабилизируются. Такая ситуация хоть и редко, но встречается, если  $R_{нагр} = V_{уст}/I_{уст}$  или при возникновении проблем во внутренней схеме. 

Ссылка на блог по источникам питания Keysight Technologies.







# ДИПОЛЬ



## Новые высокопроизводительные мультиметры Keysight Technologies серии U1280 со склада «Диполь»

### Время работы от аккумулятора до 800 ч

Нужен высокопроизводительный мультиметр для измерений с высоким разрешением?

Необходим долговечный мультиметр для повседневной работы?

Портативные мультиметры новой серии с легкостью решают эти задачи.

Мультиметры U1280 и U1240C не только просты в управлении, функциональны и долговечны:

- Время работы устройств от аккумулятора увеличено до 800 ч.
- Разрешение до 60 000 отсч.
- Сертифицированы по стандарту IP 67.  
Выполнены в пыле- и влагонепроницаемом корпусе

### Сомневаетесь в выборе? Выездные демонстрации и специальные ценовые предложения помогут принять решение и сэкономить бюджет

- Скорость поставки. Более 400 наименований продукции находится на складе и готовы к отгрузке в любой момент.
- Точность измерений. Услуги первичной и периодической поверки от собственной метрологической лаборатории.
- Уверенность в оборудовании. Собственный сервисный центр и трехлетняя гарантия от производителя.



## Введен в эксплуатацию комплекс оборудования для фотолитографических процессов

Очередной заказчик компании «Диполь», производящий гибридные микросхемы на поликорковых подложках, ввел в эксплуатацию современный универсальный комплекс оборудования для фотолитографических процессов. Комплекс, в запуске которого принимали участие специалисты нашей компании, состоит из универсальной установки совмещения-экспонирования AG500-6N-ST, центрифуги для нанесения фоторезиста серии Spin 150i с автоматическим дозатором, термоплиты для сушки фоторезиста HT-150S, вытяжного шкафа и вспомогательного оборудования.



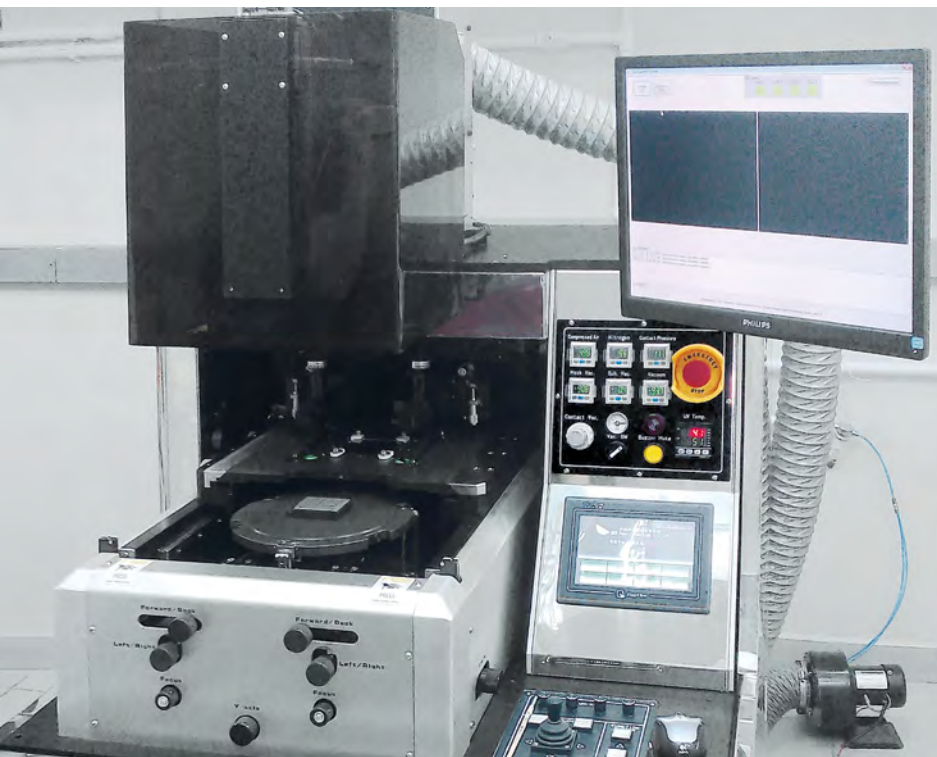
Вытяжной шкаф с оборудованием для нанесения и сушки фоторезиста

Данный комплекс позволяет решать широкий спектр задач фотолитографии. Вытяжной шкаф и установленные в него центрифуга и термоплита обеспечивают нанесение фоторезиста на подложки с последующей сушкой с производительностью порядка 400 подложек в смену. Благодаря автоматическому дозатору центрифуга создает воспроизводимое и равномерное нанесение фоторезиста, а термоплита с высокой

однородностью распределения температуры по поверхности позволяет равномерно прогреть слой фоторезиста, что обеспечивает его хорошую адгезию к поверхности подложки.

Затем следует операция экспонирования. Универсальная установка совмещения-экспонирования AG500-6N-ST, оборудованная специальной оснасткой, разработанной для подложек размером 60×48 мм, действует в полуавтоматическом

режиме. Все, что требуется от оператора, — загрузить подложку и произвести небольшую подстройку меток совмещения подложки и фотошаблона. Рецепт процесса выполняется по нажатию одной кнопки. В среднем процесс экспонирования одной подложки занимает меньше минуты. Установка снабжена опциональным модулем обратного оптического совмещения, поэтому может работать с двусторонними платами.



Установка совмещения-экспонирования AG500-6N-ST

При необходимости AG500-6N-ST работает и с круглыми полупроводниковыми пластинами диаметром 2", 3", 4" и 6". Для этого надо лишь заменить шаблондержатель и подложкодержатель, процедура занимает менее 3 минут. Таким образом, данная установка в полном объеме удовлетворяет все текущие и перспективные потребности фотолитографического производственного участка. ■

# Старый конь на современной борозде

## Модернизация устаревшего оборудования

Год назад в № 4 журнала «Эксперт+» я уже делился нашим опытом модернизации «старого оборудования», когда мы успешно завершили сопряжение основных узлов электродинамического вибростенда ВЗДС 1500, произведенного в СССР в 1974-м, и современного усилителя Sentek Dynamics PA115 с цифровой системой управления Spider80x, изготовленного фирмой Crystal Instruments (США, 2014 год выпуска). Время и потребности наших заказчиков показали, что эти навыки могут быть востребованы и в дальнейшем.



Олег Туркалов, руководитель сервисной службы испытательного оборудования  
turkalov@dipaul.ru

Да, в большинстве случаев старое оборудование требует замены на современные решения, но иногда по ряду причин заказчик хочет, чтобы оно еще «побегало».

В нынешних реалиях вопрос ремонта и модернизации путем частичной замены основных узлов устаревших машин современными компонентами (как альтернатива приобретению нового оборудования) стоит особенно остро. Уже можно говорить не о единичных проектах в этом направлении, а о новом сегменте, в котором

экономическая рациональность вкупе с сохранением необходимых рабочих характеристик позволяет дать оборудованию вторую жизнь. В подобных модернизациях важно учитывать специфику работы старой аналоговой техники и понимать возможности новых цифровых систем.

Слухами, как говорится, земля полнится, и по рекомендации ко мне обратились с просьбой поработать с весьма старым (я бы даже сказал — старинным) электродинамическим вибростендом фирмы PYE LING.



Рис. 1. Оригинальный шильд вибростенда PYE LING

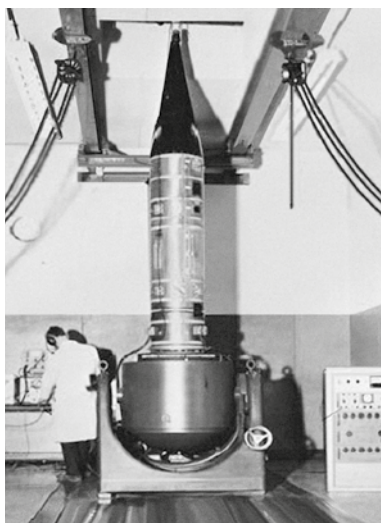


Рис. 2. Тестирование европейской ракеты Skylark S26 перед запуском в 1967 г. на стенде Pamphonic/Savage (наименование производителя до слияния с Ling Dynamic Systems (Ling-Temco-Vought)



Рис. 4.



Рис. 3. Шильд мотора вентилятора охлаждения с указанием года изготовления



Рис. 5.

Не буду останавливаться на истории этого производителя, но отмечу, что стенд, судя по документам, введен в эксплуатацию еще в 1966 году, а информационные таблички на некоторых деталях свидетельствовали о том, что оборудование появилось на свет еще раньше, в далеком 1957-м.

По словам заказчика, с самим виброгенератором никаких проблем не возникало, требовалось лишь заменить усилитель и систему управления, а также сделать усилитель на 6 кВ·А с дополнительным повышающим трансформатором для вентилятора охлаждения.

У меня было время для спокойного изучения документации, а параллельно в соцсетях я познакомился и получил консультацию у инженера, работавшего на заводе Pye Ling и до сих пор помнящего характеристики напряжения и тока.



Рис. 6.



Рис. 7.



Вскоре выяснилось, что не стоило доверять словам заказчика, это оказалось единственной, но серьезной ошибкой. При монтаже усилителя вскрылся целый ряд проблем:

- пробой катушки размагничивания (рис. 4);

- снижение сопротивления изоляции внутреннего кабеля, питающего подвижную катушку (рис. 5);

- самое проблематичное — сопротивление изоляции подвижной катушки оказалось 40 кОм (рис. 6, 7)!



Рис. 8. Слева — новая подвижная катушка с установленными элементами подвески, справа — отработанная подвижная катушка

**В нынешних реалиях вопрос ремонта и модернизации путем частичной замены основных узлов устаревших машин современными компонентами стоит особенно остро**

Если учесть, что взаимоотношения с заказчиком были оформлены договором ремонта, а не поставки новых комплектующих, станет понятно, почему мой оптимизм заметно поубавился. К счастью, на складе заказчика нашлась новая запасная подвижная катушка (рис. 8) (вряд ли сотрудник, заказывавший ЗИП в 1960-е годы, рассчитывал, что спустя 55 лет его усилия оправдаются). Настройка сразу улучшилась, работа пошла полным ходом, и через три дня все найденные неисправности были устранены. Вибростенд PyeLing V1007 сделал свой первый вдох в XXI веке.

Не могу не упомянуть об еще одном забавном моменте: параллельно с описываемыми событиями у другого «пенсионера», находящегося на территории заказчика, — электродинамического вибростенда Ling Dynamic System, изготовленного в 1980-е, пробило внутренний контур водяного охлаждения и закоротило нижнюю катушку подмагничивания, и (о чудо!) комплект новых катушек тоже нашелся на складе.

Результат выполненных работ полностью удовлетворил заказчика — лицо начальника испытательной станции светилось радостью при виде стенда, ожившего после двадцатилетнего простоя. Ну, а в нас, исполнителей, новый успешный опыт вселил дополнительную уверенность в собственных силах.





Рис. 9.



Рис. 10.

Вид системы управления вибростендом до (рис. 9) и после (рис. 10) модернизации



Рис. 11. Общий вид «ожившего» вибростенда



В подтверждение всего сказанного могу добавить, что стенд успешно прошел повторную метрологическую аттестацию и приступил к работе, как в свои лучшие годы.

Выражаю благодарность компании Sentek Dynamics — за предоставленный усилитель PAS106, компании Crystal Instruments — за систему управления Spider80x, а также компании Jim Waldock — за техническую поддержку. 🇷🇺



Рис. 12. Сразу после завершения работ вибростенд приступил к испытанию продукции заказчика



**Полуавтоматические установки  
совмещения-экспонирования  
AG500-4N-ST/-6N-ST**

**Отраслевой интегратор**

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород  
[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru) / [info@dipaul.ru](mailto:info@dipaul.ru) / тел. (812) 702-12-66

# Поколения управления

## Современные системы управления вибростендами: история развития

В статье рассматриваются четыре поколения цифровых систем управления электродинамическими вибростендами, разработанных американскими компаниями за период в 40 лет в различных категориях: автономные, на базе ПК, с периферийным ПК, сетевые.



Джеймс Жуге ((James Zhuge), Crystal Instruments.  
Дэйв Форменти (Dave Formenti), Vibrant Technology,  
Марк Ричардсон (Mark Richardson), Vibrant Technology

Материал подготовил Олег Туркалов,  
руководитель сервисной службы испытательного  
оборудования (turkalov@dipaul.ru).  
Перевод: Артем Вахитов.



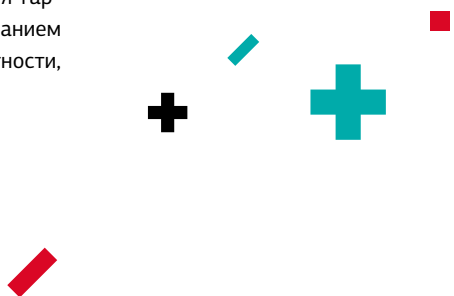


**Цифровая система управления  
вибрацией (СУВ) — это компьютерная система  
для управления электродинамическими  
вибростендами с обратной связью.  
Она вырабатывает электронный сигнал,  
который, будучи усилен внешним  
усилителем, управляет гидравлическим  
или электродинамическим  
вибровозбудителем**

Эпоха современных систем управления вибрацией началась в середине 1970-х годов, когда микрокомпьютеры вступили в стадию зрелости, а быстрое преобразование Фурье (FFT/БПФ) и связанные с ним математические методы обработки сигналов стали применяться на практике при проведении виброиспытаний. Технические достижения, позаимствованные из других областей, создали условия для стремительного роста нового класса цифровых систем управления с обратной связью. Коммерческие системы управления виброиспытаниями выпускались и ранее, но ни одна из них не предусматривала возможности выполнять несколько типов испытаний (например, на воздействие синусоидальной вибрации, случайной вибрации и ударных нагрузок). Последовавший вскоре расцвет мини-компьютеров и персональных компьютеров (ПК) позволил выйти на новый уровень гибкости в тесно интегрированной испытательной системе. Кроме того,

новая архитектура повысила качество управления и обеспечила целый ряд других преимуществ в части представления, хранения и передачи результатов испытаний. Без сомнения, прошедшие 30–35 лет составляют золотую эру бурного развития этой области. Данная статья ограничивается рассмотрением наиболее значимых систем управления электродинамическими вибростендами, увидевших свет в период с 1970 по 2010 г. Это никак не умаляет достоинств ряда выдающихся специализированных приборов, выпускавшихся до той поры. Видные достижения в сфере управления гармонической вибрацией с качанием частоты принадлежат, в частности,

компаниям Spectral Dynamics, Brüel&Kjaer и Solartron. Все они создали собственные технически сложные коммерческие решения. Компания MB Electronics первой создала систему управления случайной вибрацией на базе банков аналоговых фильтров. Теория, лежащая в основе современных систем управления случайной вибрацией, в значительной степени восходит к ранним исследованиям Терона Ашера (Theron Usher) в Йельском университете и в MB Electronics.



## Система управления вибрацией

Цифровая система управления вибрацией (СУВ) — это компьютерная система для управления электродинамическими вибростендами с обратной связью. Она вырабатывает электронный сигнал, который, будучи усилен внешним усилителем, управляет гидравлическим или электродинамическим вибровозбудителем. СУВ регистрирует отклик испытуемого изделия и использует его в качестве сигнала обратной связи. Отклик обычно регистрируется одним или несколькими акселерометрами. В схеме управления с обратной связью управляющий сигнал должен обладать некоторыми заданными характеристиками во временной или частотной области. Эти характеристики определены для различных управляющих воздействий, в том числе для случайной вибрации, гармонической вибрации, наложения гармонической или случайной вибрации на случайную, классического удара, воспроизведения спектра отклика ударного импульса (SRS), имитационного моделирования транспортных воздействий.

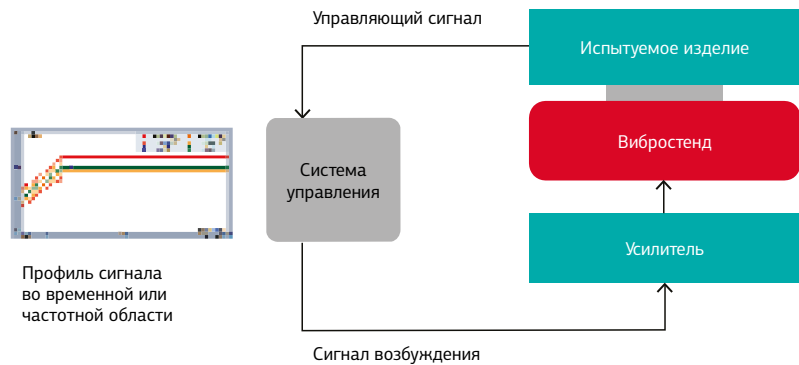


Рис. 1. Процесс управления с обратной связью

В большинстве испытаний используется один вибростенд для возбуждения одной оси конструкции. В более сложных испытаниях применяется несколько вибростендов или акустических вибровозбудителей, которые возбуждают конструкцию одновременно в нескольких точках и/или направлениях. При использовании нескольких вибровозбудителей система выполняет расчеты многоканальных взаимодействий для нескольких входов и нескольких выходов (MIMO). Сегодня в отрасли преобладает управление вибрацией по одной оси — ему и уделено основное внимание в этой статье.

Под управляющим сигналом подразумевается один или несколько измерительных сигналов, представляющих отклик испытуемого изделия (обратную связь). Если профиль управляющего сигнала во временной или частотной области не соответствует желаемому, сигнал возбуждения корректируется,

пока не будут достигнуты нужные характеристики управляющего сигнала. СУВ непрерывно корректирует сигнал возбуждения для точного управления вибрацией, учитывая динамические параметры вибростенда и испытуемого изделия. Более эффективный контроль безопасности обеспечивается за счет применения независимой от главного компьютера архитектуры распределенных вычислений.

На рис. 1 показан процесс управления с обратной связью. Датчики (например, акселерометры) широко используются для регистрации отклика испытуемого изделия и получения сигнала обратной связи. Система управления случайной вибрацией непрерывно вырабатывает случайный сигнал возбуждения, свойства которого таковы, что спектральная плотность мощности управляющего сигнала сходится к заданному целевому или опорному спектру, называемому

также спектральным профилем. Система управления гармонической вибрацией непрерывно вырабатывает гармонический сигнал с качающейся частотой и определенной амплитудой, чтобы сигнал управления, форма которого также схожа с синусоидальной, воспроизводил заданный амплитудный спектр при качании частоты со скоростью, заложенной в устройство управления. В случае классического удара система управления использует в качестве целевого профиля заданный отрезок сигнала во временной области, а при воспроизведении спектра отклика ударного импульса — заданный ударный спектр. При имитационном моделировании транспортных воздействий роль целевого профиля для системы управления играет заданный очень длинный отрезок сигнала во временной области. Воздействия с наложением гармонической или случайной вибрации на случайную

называются также смешанными режимами. В каждом из этих случаев осуществляется комбинированное управление случайной вибрацией и другим видом вибрации, поэтому схема испытательной установки оказывается сложнее. Единая система управления обеспечивает соответствие каждой составляющей вибрационного воздействия своему целевому профилю.

Почти все представленные на рынке коммерческие системы управления имеют режимы случайной и гармонической вибрации. Примерно в половине из них также предусмотрен режим классического удара. Смешанные режимы, воспроизведение ударного спектра, воспроизведение акселерограммы процесса и имитационное моделирование транспортных воздействий — менее распространенные функциональные возможности, применяемые обычно в узкоспециальных целях.

Даже с одним возбудителем целесообразно регистрировать отклик во многих точках испытуемого изделия. Имея множество каналов управления, как на рис. 2, пользователь может реализовывать различные стратегии управления, например по наименьшему, наибольшему или усредненному отклику. Так, в рамках стратегии управления по усредненному отклику несколько управляющих сигналов могут усредняться в частотной области с разными весовыми коэффициентами для каждого канала. Кроме того, зачастую стратегия управления предусматривает контроль отклика в ответственных точках или мониторинг важнейших параметров испытуемого изделия.

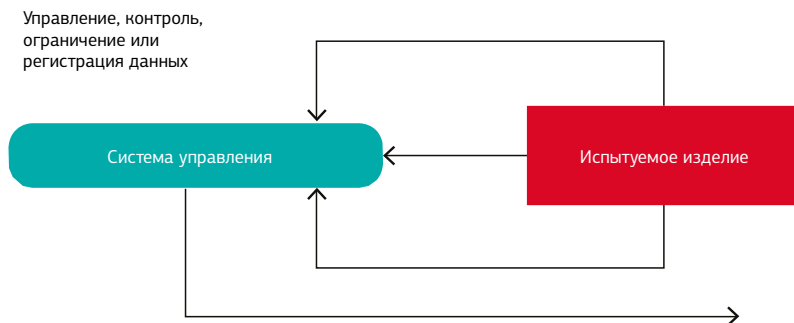
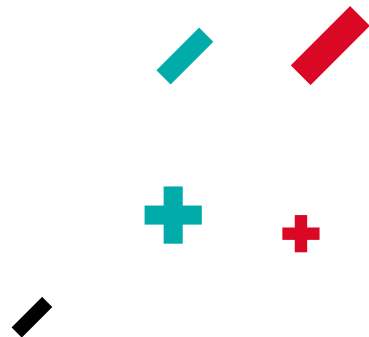


Рис. 2. Испытуемое изделие с несколькими каналами управления

## Компани- первопроходцы и СУВ первого поколения

В числе первых цифровую систему управления вибрацией разработала компания Hewlett Packard (HP) в середине 1970-х годов. Специалисты HP исследовали множество различных алгоритмов управления с обратной связью и реализовали их в одном из первых анализаторов сигналов на базе быстрого преобразования Фурье (FFT/БПФ) — HP5451 (рис. 3). В основу анализатора HP5451 был положен мини-компьютер серии HP2100, обладавший ограниченными вычислительными ресурсами и небольшим объемом памяти. Инженерам HP пришлось использовать различные остроумные методы обработки сигналов, чтобы преодолеть эти ограничения и обеспечить в реальном времени полосу пропускания шириной в несколько килогерц для эффективного управления с обратной связью. Двое из них, Рон Поттер (Ron Potter) и Питер Моусли (Peter Moseley), принадлежат к числу тех, кто внес наиболее ранний и значительный вклад в разработку этих первых устройств управления.



Рис. 4. Система управления вибрацией HP5427

Успешно протестировав алгоритмы управления в HP5451, в конце 1970-х годов компания HP выпустила специализированную систему управления вибрацией HP5427. В ней применялась та же вычислительная архитектура, что и в HP5451, но вся система размещалась в одной аппаратной стойке (рис. 4) и предназначалась специально для управления вибрацией.

Компания Time Data Corp, которая затем стала подразделением General Radio Company (впоследствии GenRad), также входит в число первых разработчиков



Рис. 5. Система управления вибрацией GenRad Time/Data TDV20

систем управления вибрацией. В начале 1970-х двое инженеров этой компании, Эдвин Слоун (Edwin Sloane) и Чарльз Хэйзмен (Charles Heizman), получили патент на устройство управления случайной вибрацией. В основу этого устройства, изображенного на рис. 5, был положен компьютер PDP-11 производства компании Digital Equipment Corporation (DEC). Пожалуй, самыми коммерчески успешными системами управления вибрацией в 1980-х годах были автономные системы серии GenRad GR2500 (рис. 6).



Рис. 3. Динамический анализатор HP5451

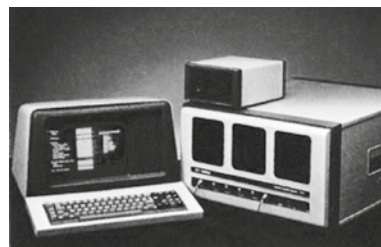


Рис. 6. Система управления вибрацией GenRad 2511



Группа управления вибрацией из подразделения компании GenRad по разработке изделий для испытательных конструкций на прочность (STP) была впоследствии продана компании Spectral Dynamics Corporation. Маркос Андервуд (Marcos Underwood), главный разработчик устройства управления GenRad, делал основной упор на управление по отклонению вместо пропорционального управления, применявшегося в HP. Еще один инженер из Spectral Dynamics, Тони Келлер (Tony Keller), внес значительный вклад в разработку систем управления в эту раннюю эпоху.

В 1980-х годах бельгийская компания Leuven Measurement Systems (LMS) начала сотрудничать с HP, поставляя программное обеспечение (ПО) для управления вибрацией, которым оснащался новый БПФ-анализатор HP — Paragon. Взаимоотношения LMS как поставщика программного обеспечения с HP аналогичны взаимоотношениям Microsoft с IBM. Подобно тому, как Microsoft выпускала ПО для компьютеров IBM PC, компания LMS разрабатывала и продавала ПО, работавшее только на аппаратной платформе HP.

К числу прочих разработчиков ранних СУВ относятся Ling Electronics, MB Dynamics и Solartron (рис. 7). СУВ первого поколения продавались по цене от \$80 000 до \$200 000. Они были переусложнены и трудны в использовании. Вместе с тем большая часть применяемых сегодня алгоритмов управления была разработана именно тогда, в 1970-х — начале 1980-х гг. К этому же времени относится и военный стандарт США MIL-STD-810, устанавливающий наиболее полную методику испытаний на воздействие внешних факторов.

## Системы управления вибрацией второго поколения на базе ПК



Рис. 7. Система управления вибрацией Solartron 1210



Рис. 8. Система управления вибрацией Data Physics DP540

В 1980-х персональные компьютеры IBM PC и их копии стали все шире применяться в промышленности. Многие компании начали использовать ПК в качестве платформы для регистрации данных и анализа динамических сигналов. Одной из первых СУВ на базе ПК была система DP540 компании Data Physics (рис. 8). Эту фирму основали два инженера, ранее работавших в HP: Шри Веларатна (Sri Welaratna) и Дэйв Снайдер (Dave Snyder). Система управления DP540, базировавшаяся

на операционной системе (ОС) MS DOS, имела гибкий и впечатляющий для той поры графический интерфейс пользователя. Для ввода управляющих сигналов в ПК и вывода сигнала возбуждения в ней использовались несколько дочерних плат цифровой обработки сигналов, устанавливавшихся на шину ISA. На каждой плате располагались несколько микросхем цифровой обработки сигналов и аналого-цифровых (АЦП) или цифро-аналоговых (ЦАП) преобразователей.

Эта система пользовалась большим успехом в 1990-х годах. В то время одной из ключевых персон в коллективе разработчиков компании Data Physics был Джеймс Жуге (James Zhuge). Компания Lansmont Corp. также запустила программу разработки системы управления в сотрудничестве с Data Physics, плодом которой стала система Lansmont TTVI.

В ту же пору, когда состоялся выпуск DP540 (а впоследствии и DP550 на базе ОС Windows), СУВ на базе ПК были выпущены еще несколькими производителями. Это, в частности, системы Puma (Spectral Dynamics), DVC (UniDyn) и VWin (Unholtz-Dickie). Все эти СУВ второго поколения сочетали в себе преимущества низкой стоимости и широких графических возможностей ПК с вычислительной мощностью специализированных цифровых сигнальных процессоров. По удобству пользования и качеству управления с обратной связью они значительно выигрывали у систем предыдущего поколения. Непрерывное снижение стоимости СУВ на всем

протяжении 1990-х годов сделало эти системы более доступными для коммерческого применения, в частности для испытания электронной аппаратуры и упаковки, и рынок этих систем расширился год за годом.

Недостаток систем управления второго поколения заключался в их сильной зависимости от производительности ПК. Дело в том, что управление с обратной связью было реализовано с опорой на вычислительные ресурсы дочерних плат и центрального процессора ПК, а также каналы связи между ними. Многие из этих систем использовали шину ISA, которая ограничивала длительность цикла управления из-за прерываний,

трафика на шине и недостаточной полосы пропускания шины ПК. Даже при использовании шины PCI центральный процессор ПК по-прежнему играл значительную роль в процессе управления. Кроме того, производительность дочерних плат ограничивалась электрическими помехами от ПК.

LMS в сотрудничестве еще с одной компанией — m+p Corporation — продолжала разрабатывать чисто программные решения для СУВ на базе HP Paragon и более новой аппаратной платформы VXi, которые работали под управлением ОС UNIX. Эти системы предназначались главным образом для сложных применений, где требовалась регистрация данных в ходе испытания.



Рис. 9. Система управления вибрацией LD S-Dactron LASER

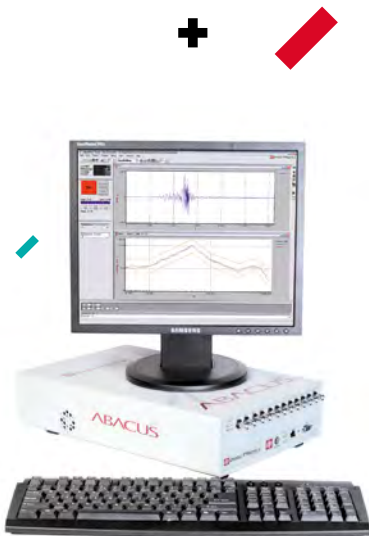
## Системы управления вибрацией третьего поколения с периферийным ПК

В 1996 году новая компания Dactron Inc., которую основали бывший CEO компании Lansmont Джозеф Дрисколл (Joseph Driscoll) и Джеймс Жуге (James Zhuge), поставила перед собой задачу разработки СУВ нового поколения. Инженеры выделили ряд недостатков существующих технологий и нашли возможности для их совершенствования. Плодом этих усилий стали системы серии Dactron LASER/COMET. ПК не использовался в контуре управления, а служил лишь периферийным устройством СУВ.

При такой стратегии удалось значительно сократить длительность цикла управления. В этой системе было реализовано множество новых алгоритмов,

задействовавших возможности цифровых сигнальных процессоров с плавающей запятой. Джастин Танг (Justin Tang), менеджер по аппаратному обеспечению компании Dactron, спроектировал аппаратную часть системы управления, а Джордж Ма (George Ma), старший инженер-программист, — программный пользовательский интерфейс на базе Windows.

Система LASER (рис. 9) стала первой СУВ, в которой использовалось несколько цифровых сигнальных процессоров с плавающей запятой, 24-рядные сигма-дельта-АЦП, а также шины PCI и USB. Первоначально ПО было реализовано с использованием штатной библиотеки Microsoft MFC.



Благодаря новой технологии обработки сигналов и архитектуре система могла выполнять значительно больше функций, оставаясь при этом простой в использовании. В 2001 г. компания Daatron была поглощена крупнейшим на тот момент мировым производителем электродинамических вибростендов — LDS (Ling Dynamic Systems). Затем произошло слияние LDS с Brüel&Kjaer (B&K), ведущим поставщиком оборудования для шумовых и вибрационных испытаний и измерений.

Затем СУВ, имеющие архитектуру с независимым от ПК контуром управления, были выпущены и другими компаниями, в том числе Vibration Research (VR) и DP. Компания

Data Physics выпустила Abacus — СУВ с большим числом каналов, сконструированную из множества компьютеров на базе процессора Intel Pentium. Каждый блок (модуль) может иметь до 32 входных каналов, и модули можно соединять между собой посредством интерфейса Ethernet и фирменного кабеля синхронизации.

Системы VRC VR серии 8500/9500 и DP Abacus — важные вехи на пути к четвертому поколению СУВ, так как в них обеих применяется высокоскоростная передача данных по интерфейсу Ethernet. Вместе с тем обе системы требуют использования фирменного кабеля синхронизации и полагаются на ПК в своей работе.

## Системы управления вибрацией четвертого поколения с синхронной сетевой архитектурой

В 2010 году компания Crystal Instruments, основанная Джеймсом Жуге (James Zhuge), объявила о выходе Spider-81 — СУВ следующего поколения. Spider-81 стала первой сетевой СУВ, в которой реализована технология временной синхронизации IEEE 1588. Модули управления могут иметь от 4 до 1024 каналов отклика. Эта система установила новую планку надежности, точности измерений и производительности контура управления. Spider-81 также оборудована несколькими выходными каналами вибровозбуждения и встроенной батареей резервного питания. Для подключения к ПК используется интерфейс Ethernet.

Spider-81 относят к четвертому поколению СУВ, так как в ней реализована основанная на Ethernet технология временной синхронизации IEEE 1588, позволяющая располагать систему управления на значительном удалении от главного ПК. Такая распределенная архитектура значительно снижает уровень шума и электрических помех. С одного ПК можно следить за работой множества систем управления, в том числе по сети Wi-Fi, если подключить беспроводной сетевой маршрутизатор.

Технология временной синхронизации IEEE 1588 позволяет синхронизировать системы управления в одной сети с точностью до 100 нс,

что гарантирует межканальное согласование фаз в пределах  $\pm 1$  на частотах до 20 кГц. Кабель синхронизации не требуется. Благодаря этой уникальной технологии и высокоскоростному интерфейсу Ethernet распределенные компоненты, объединенные в сеть, действительно работают как единая, целостная система.

## Принцип работы IEEE 1588

Протокол IEEE 1588 предназначен для синхронизации раздельно генерируемых тактовых сигналов в разных модулях внутри одной сети (рис. 10). Вкратце принцип его работы можно описать следующим образом. Сначала определяется наиболее точный тактовый сигнал (по алгоритму выбора наилучшего ведущего тактового сигнала), который назначается ведущим. Остальные тактовые сигналы становятся ведомыми. В рамках протокола IEEE 1588 каждый ведомый тактовый сигнал синхронизируется с ведущим для синхронизации всей системы.

Для синхронизации двух тактовых сигналов по протоколу IEEE 1588 необходимо рассчитать две неизвестные величины: смещение во времени между этими сигналами и задержку передачи сообщений между соответствующими тактовыми генераторами. Сначала ведущий тактовый генератор передает ведомому сообщение с временной меткой. Разница между временной меткой сообщения от ведущего тактового генератора и временем на ведомом тактовом генераторе равняется сумме временного смещения и задержки передачи.

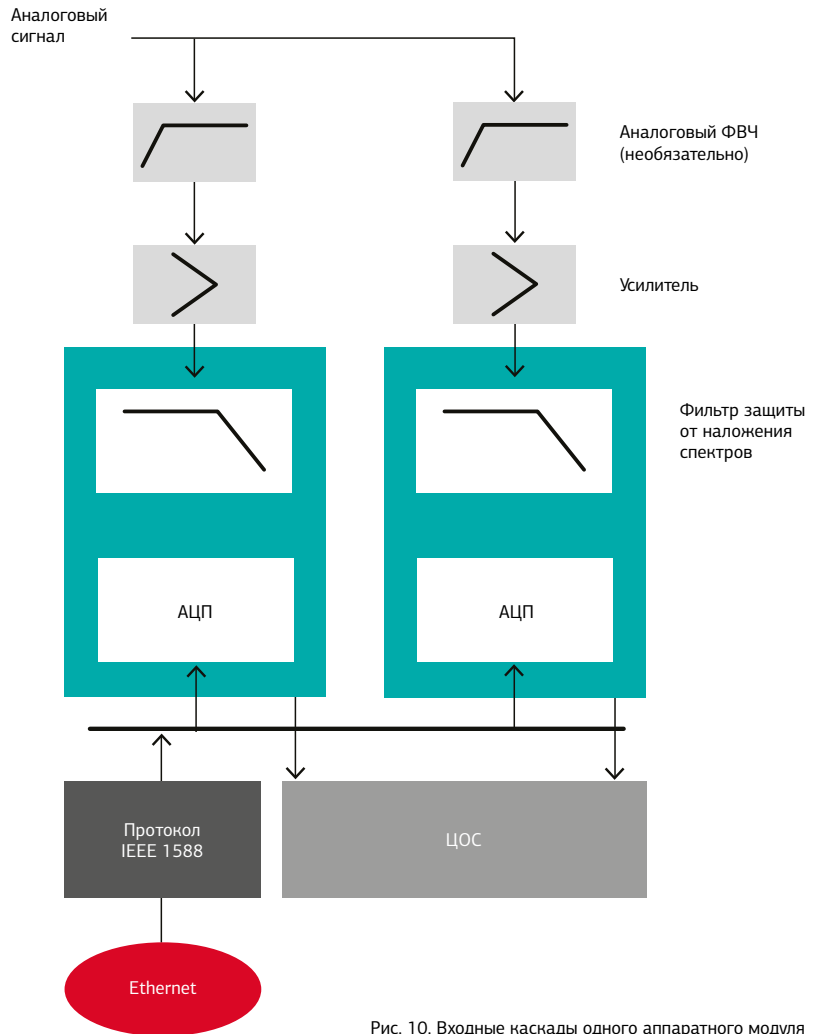


Рис. 10. Входные каскады одного аппаратного модуля

Ведомый тактовый генератор корректирует свое время по временной метке полученного сообщения. После этого разница во времени между двумя тактовыми генераторами равняется лишь задержке передачи сообщений. Далее ведомый генератор передает сообщение

с временной меткой ведущему, который отвечает еще одним сообщением с временной меткой. По задержке, с которой поступило сообщение от ведущего тактового генератора, ведомый генератор рассчитывает суммарную задержку в обоих направлениях. Затем он усредняет эти

две задержки и синхронизирует свое время с ведущим тактовым генератором. После того как тактовые генераторы всех устройств в сети будут синхронизированы по протоколу IEEE 1588, можно легко синхронизировать тактовые генераторы выборки АЦП и ЦАП каждого модуля.

# Сравнение архитектуры четырех поколений

Сравнение архитектуры четырех поколений СУВ приведено на рис. 11.

## Роль ПК

В основе первого поколения систем управления лежали мини-компьютеры. Контур управления с обратной связью и пользовательские интерфейсы были реализованы на одном компьютере. Во втором поколении на смену мини-компьютеру пришел ПК, но он по-прежнему оставался частью контура управления. Поскольку данные передавались по шине ПК, любое ухудшение производительности ПК непосредственно сказывалось на производительности контура управления. В третьем поколении ПК был в большей степени изолирован от контура управления, по сути, играя роль интерфейса оператора к процессу управления.

В четвертом поколении высокоскоростной обмен данными и точная временная синхронизация осуществляются по локальной сети. ПК становится одним из доступных в локальной сети интерфейсов оператора. Пользователь может получать доступ к СУВ посредством ПК, беспроводного интерфейса, подвешенного пульта управления, карманного компьютера или других устройств. Некоторые системы предыдущих поколений предусматривали работу в сети, но не проектировались изначально как высокоскоростные сетевые системы и поэтому проигрывали за счет невозможности субмикросекундной временной синхронизации.

Полноценная сетевая система управления обладает значительными преимуществами по сравнению с системами прошлых поколений. Ее можно разместить как вблизи от вибростенда, так и в аппаратной, на расстоянии нескольких сотен метров. ПК может использоваться для настройки испытательной установки или в качестве интерфейса оператора. В ходе испытания к СУВ можно обращаться с других устройств, например, как уже было сказано выше, со специально подвешенного пульта управления или карманного компьютера.

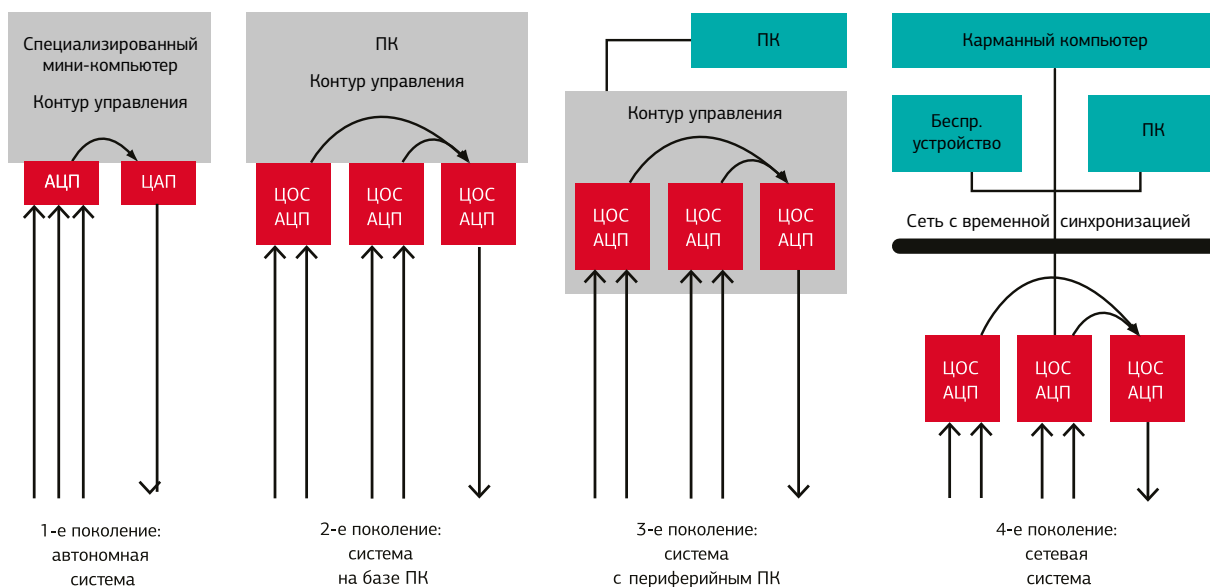
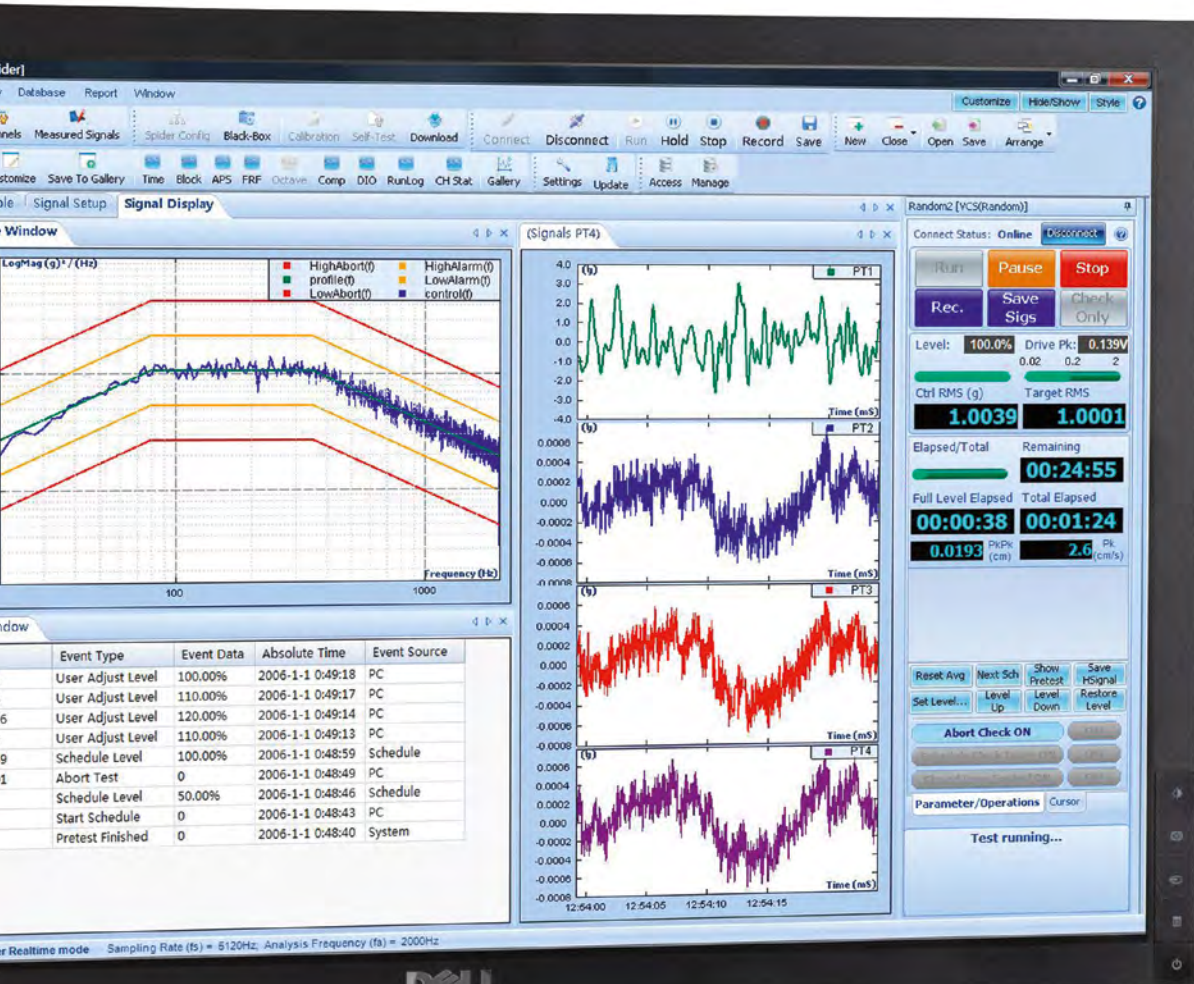


Рис. 11. Архитектура четырех поколений систем управления вибрацией



## Производительность в режиме реального времени

СУВ первого поколения не были настоящими системами реального времени, ведь для этого нужно было бы, чтобы каждый отсчет управляющих сигналов использовался для генерации следующего сигнала возбуждения. Для расчета передаточной функции системы мини-компьютерам обычно приходилось пропускать кадры входных данных. Поэтому цикл управления мог длиться несколько секунд.

СУВ второго поколения были уже полноценными системами реального времени. Все отсчеты входных сигналов использовались для расчета сигналов возбуждения, и длительность цикла управления могла составлять считанные доли секунды. Благодаря ПК был существенно усовершенствован пользовательский интерфейс, и производственные издержки снизились.

СУВ третьего поколения можно назвать системами «с опережением

реального времени», поскольку они способны использовать одни и те же входные сигналы для выполнения нескольких задач. Например, в системе Dactron Random может одновременно выполняться несколько циклов управления для различных частотных диапазонов. В крайнем случае, при гармонической вибрации, наложенной на случайную, возможна параллельная работа двух ядер управления случайной вибрацией и двенадцати ядер управления гармонической вибрацией. Цикл управления может длиться всего несколько миллисекунд.

На производительность контура управления с обратной связью значительно влияют механические характеристики испытуемого изделия и динамический диапазон сигналов отклика. СУВ первых двух поколений были непригодны для некоторых применений, где требовались полоса пропускания в реальном времени шириной

5 кГц и динамический диапазон до 70 дБ. Ситуация изменилась с появлением систем третьего поколения. Благодаря применению процессоров с плавающей запятой и сигма-дельта-АЦП полоса пропускания в реальном времени и динамический диапазон системы управления далеко превосходили те потребные значения, которые определялись внешними механическими требованиями к испытаниям и динамическим диапазоном преобразователей. С этого момента расширение полосы пропускания и динамического диапазона системы управления не обеспечивало каких-либо реальных выгод для пользователя.





## Улучшенные алгоритмы

Применение усовершенствованной электроники и более быстрых процессоров позволило реализовать различные программные алгоритмы в последних поколениях систем управления. Вот несколько примеров.

- В системе управления вибрацией Dactron реализован остроумный метод фильтрации, значительно повышающий разрешающую способность по частоте в низкочастотной области при управлении случайной вибрацией. Этот метод называется «управление с множественным разрешением».


- В системе VR реализовано управление по эксцессу, позволяющее возбуждать случайную вибрацию с негауссовым распределением, более точно воспроизводящим

измеренные характеристики реальных условий эксплуатации (транспортная тряска и т. д.).

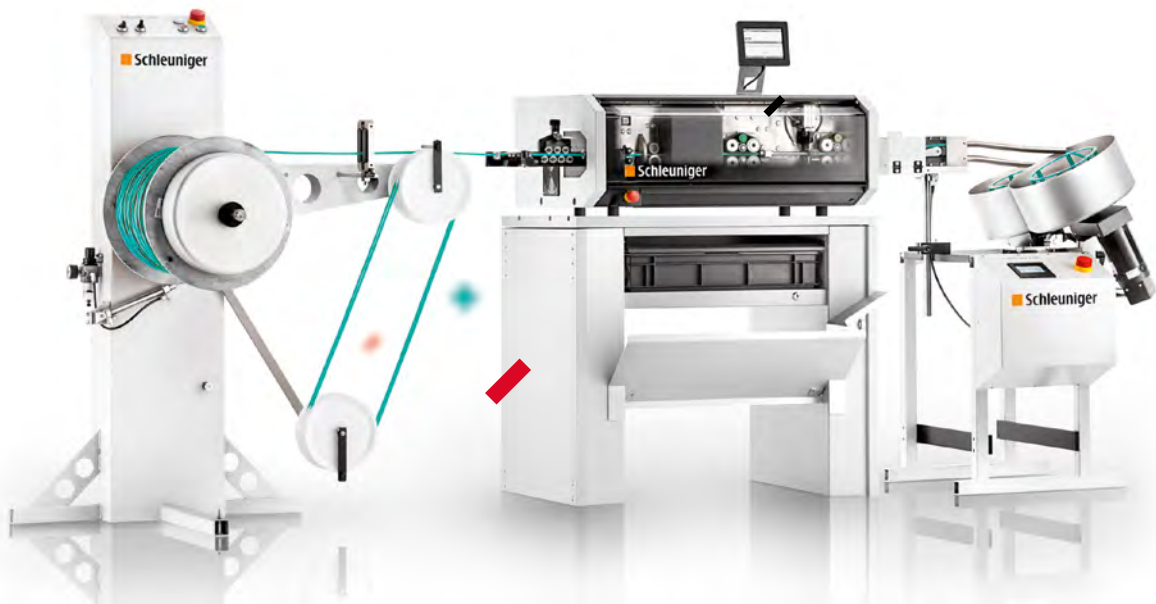
- В системе Spectral Dynamics реализована более удачная форма АЧХ фильтра подсистемы управления гармонической вибрацией. Она обеспечивает лучшие характеристики в полосе пропускания фильтра при спектральном анализе по сравнению с прямоугольными окнами.

На данный момент первым и основным представителем последнего, четвертого, поколения систем является семейство систем Spider-80x/81/81b, которое имеет лучшие в своем классе характеристики, обладая самым широким динамическим диапазоном среди аналогов. Благодаря применению патентованных технологий динамический диапазон модулей Spider

по входу (определенный во временной области) достигает 130 дБ (см. статью «Динамический диапазон — понятие расплывчатое», журнал «Эксперт+», 2'2015), что устраняет необходимость менять коэффициент усиления входного каскада и без остановок проходить критические точки (резонансы), а синхронизация по протоколу IEEE 1588v2 обеспечивает высокую точность согласования всех каналов по фазе в частотной области.

Чтобы наглядно познакомиться с системой, провести сравнение с имеющимся оборудованием или попробовать реализовать новые методы измерений, можно обратиться в компанию «Диполь». Наши специалисты готовы ответить на вопросы и при необходимости организовать практический семинар и презентацию. 





## Комплексные решения для обработки провода и кабеля

- Проведение аудита организации технологического процесса на жгутовых имоточных производствах
- Построение концепции: от проектирования до выпуска и испытаний готовой продукции
- Инновационное оборудование для всего спектра технологических операций, в том числе: мерной резки, зачистки изоляции, скрутки, сварки, обжима, маркировки, бандажирования жгутов, электрического и функционального тестирования, а также линейной и тороидальной намотки
- Сервисная, технологическая и информационная поддержка заказчиков
- Результат внедрения предлагаемых решений: повышение качества и надежности выпускаемой продукции, снижение трудоемкости и предотвращение брака

## Отраслевой интегратор

Санкт-Петербург / Москва / Нижний Новгород  
[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru) / [info@dipaul.ru](mailto:info@dipaul.ru) / тел. (812) 702-12-66



# «ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ» — сессия в двадцать лет



12 апреля в Москве в отделении нанотехнологий и информационных технологий РАН состоялась научная сессия «Электроника России: новые вызовы». Сессия и общественное обсуждение были приурочены к 20-летию журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес». Сотрудники компании «Диполь» приняли участие в мероприятии и поздравили коллектив журнала с юбилеем.





Журнал «ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ» — издание для профессионалов отрасли. Поэтому праздничное мероприятие прошло в деловой атмосфере — к нему было приурочено заседание научной сессии отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН. «Электроника России: новые вызовы» — так обозначили тему встречи, собравшей ведущих специалистов академической науки, представителей правительственных учреждений (Минпромторг), руководителей государственных радиоэлектронных предприятий и частных фирм.

Открыл сессию главный редактор журнала «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес» академик Александр

Сигов, рассказавший о перспективах развития электроники России и о важности взаимодействия науки, производства и вузов.

Радиоэлектроника — одна из тех фундаментальных областей, которые оказывают непосредственное влияние на инновационное и социальное развитие страны, на ее обороноспособность и экономику. Специалистам, отмечающим существенное отставание по технологическому уровню развития, очевидно, что потенциал этой отрасли не реализуется в полной мере. И это притом, что радиоэлектронная промышленность относится к наиболее критичным с точки зрения зависимости от импорта отраслям.

Заместитель гендиректора «НИИМЭ и Микрон» Евгений Горнев сообщил, что в 2000–2011 годах применение зарубежных материалов и электронной компонентной базы в изделиях ОПК росло в среднем на 10–12% в год. При этом, убежден Горнев, для военной, космической и атомной радиоэлектроники невозможно применение зарубежных поставок ЭКБ с требуемыми параметрами надежности, отказоустойчивости, температурного диапазона; невозможно гарантировать отсутствие встраиваемых «зашивок». Обеспечить промышленность ЭКБ спецприменения можно только на базе отечественного производства.



Для специалистов очевидно, что необходимо развивать отечественное производство, ориентируясь на самые передовые мировые достижения. Неслучайно замдиректора Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга РФ Павел Куцько призвал редакцию журнала «Электроника: НТБ», активно поддерживаемого министерством, больше освещать развитие отечественной микро- и радиоэлектроники.

Представитель Минпромторга упомянул о новой редакции госпрограммы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы», целью которой является повышение эффективности,

конкурентоспособности и технического уровня отрасли. Финансирование госпрограммы составит 289 млрд руб., в том числе бюджетное 173 млрд. План импортозамещения по радиоэлектронике содержит 173 проекта. По словам Куцько, при реализации плана акцент должен делаться на освоение производства на основе отечественной электронной компонентной базы. К 2020 году целевые ориентиры предусматривают снижение доли импортной продукции в радиоэлектронике с 82 до 44%.

Многие выступающие отмечали важность проблемы унификации при применении и импортозамещении зарубежной ЭКБ. Как, в частности,

отметил заместитель гендиректора АО «Росэлектроника» Арсений Брыкин, замещать огромную номенклатуру из 180 тыс. изделий — «безыдейно и бессмысленно». Необходим системный подход к унификации ЭКБ.

Ряд докладов был посвящен специальным направлениям электроники. Например, научный руководитель ИРЭ РАН Юрий Гуляев рассказал о достижениях вакуумной электроники и преимуществах вакуумных приборов



(устойчивость к радиации, высоким температурам, действию электромагнитных полей). Он сообщил об огромных возможностях применения углеродных нанотрубок в структуре катодов вакуумных приборов.

Теплые слова в адрес журнала «Электроника: НТБ» сказал заместитель председателя комитета Совета Федерации по обороне и безопасности Мухарбек Дидигов. О возможностях импортозамещения в российской электронной промышленности говорила Галина Смирнова («Кейсайт Технолоджи»). О проектировании систем в корпусе и их применении сделал сообщение Леонид Александрович Моргун («Таврида-М»).


Участники заседания признавали, что потенциал отрасли высок. У предприятий-флагманов, получивших сегодня поддержку, открывается второе дыхание, вырисовываются новые перспективы. О такой поддержке упоминал и заместитель генерального директора НПП «Исток» (Фрязино,

Московская обл.) Сергей Щербаков. Постановлением Правительства № 1538 от 31 декабря 2015 года город Фрязино получил статус особой экономической зоны, что предусматривает отмену ряда налогов, в том числе на прибыль, имущество, на землю и транспорт, а также должно дать импульс возрождению «Истока». Возможно, именно это предприятие воплотит идею создания национального центра СВЧ-электроники. О возможностях отрасли свидетельствует и уникальный путь предприятия «НТ-МДТ», созданного в Зеленограде еще в 1990 году. Сегодня это концерн с мировым именем, одна из немногих компаний в России, которая производит и экспортирует научное оборудование в области нанотехнологий. Предприятие имеет офисы в США, Европе и Китае, 30 дистрибьюторов в разных странах, сотрудничает с учеными всего мира. Гендиректор «НТ-МДТ» Виктор Быков считает необходимым создать отечественную биржу предприятий высоких технологий типа NASDAQ

(американская биржа, специализирующаяся на акциях высокотехнологичных компаний) — «это сделает выгодным инвестирование предприятий со стороны рынка».

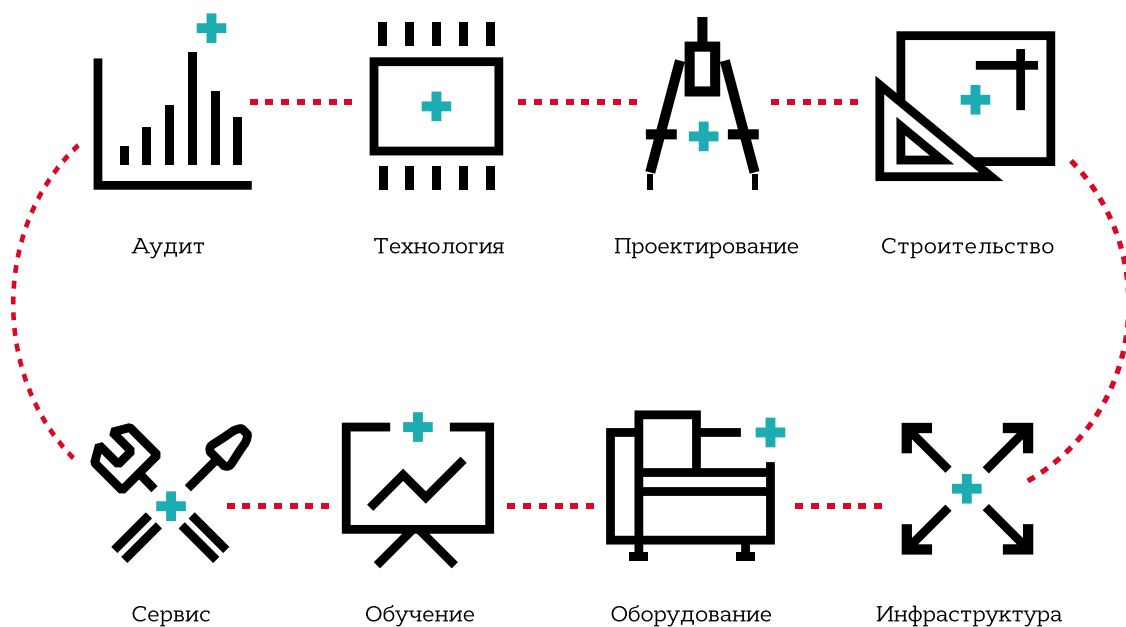
Завершило сессию выступление Бориса Николаевича Авдонина (ЦНИИ «Электроника»). Он заявил о важности развития не только военной, но и гражданской электроники.

Оживленная дискуссия во время сессии выявила главные проблемы современной российской электроники: развитие импортозамещения с ориентацией на экспорт, создание единой электронной компонентной базы и согласованность работы всех участников производства — от проектировщиков и конструкторов до конечного потребителя.

Организаторы и участники выразили желание проводить подобные встречи на регулярной основе для того, чтобы определять актуальное состояние и направления развития российской электроники. 

# **+ Отраслевой интегратор**

**Решение ключевых задач при создании  
предприятия по производству  
радиоэлектронной аппаратуры**





# Единая стратегия

## Обсуждение перспектив развития отечественной метрологии



7 апреля 2016 г. в Российском Союзе промышленников и предпринимателей (РСПП) состоялось заседание Межотраслевого совета по прикладной метрологии и приборостроению, посвященное обсуждению проекта «Стратегии обеспечения единства измерений до 2025 г.» — важнейшего программного документа отечественной метрологии.








В заседании приняли участие первый заместитель председателя комитета РСПП по техническому регулированию, стандартизации и оценке соответствия А. Н. Лоцманов и заместитель руководителя Росстандарта С. С. Голубев. Вел заседание председатель Межотраслевого совета по прикладной метрологии, заместитель генерального директора

АО «НПФ «Диполь» А. С. Кривов. С докладом о содержании проекта «Стратегии» выступил директор ФГУП «ВНИИМС» А. Ю. Кузин. Состоялась активная дискуссия, в ходе которой участники заседания отметили, что рассмотренная редакция документа в основном правильно отражает цели и задачи развития системы обеспечения единства измерений.



Перечень задач развития и показателей эффективности характеризует взаимосвязь и влияние обеспечения единства измерений на деятельность предприятий по метрологическому обеспечению производства продукции, по обеспечению безопасности, охраны труда и другие задачи метрологических служб. В качестве показателей развития впервые введены параметры, характеризующие доступность государственных услуг по обеспечению единства измерений,

объемы работ по калибровке средств измерений и развитию как государственных первичных, так и рабочих эталонов единиц величин.

Участники заседания высказали ряд замечаний и предложений и рекомендовали Межотраслевому совету по прикладной метрологии организовать обсуждение проекта «Стратегии» среди заинтересованных предприятий и организаций. 



## KEYSIGHT: итоги 2015 г.

### Компания «Диполь» оправдала ожидания заказчиков

В Германии, на ежегодной встрече ключевых партнеров компании KEYSIGHT «Executive Partner Forum», где обсуждались итоги прошедшего года и стратегия будущего развития, состоялась традиционная церемония награждения лучших дистрибьюторов.

В номинации Customer satisfaction (регион EMEA1 — Европа, Ближний Восток, Африка, Индия) первое место было присуждено российскому дистрибьютору KEYSIGHT — компании «Диполь».

«Степень удовлетворенности» определялась путем независимого

опроса заказчиков, включающего такие параметры, как техническая компетентность дистрибьютора, оперативность исполнения заказов, соблюдение сроков поставки, качество сервисного обслуживания и др.

# + Устойчивый курс



 **ДИПОЛЬ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

Россия,  
197101, Санкт-Петербург,  
ул. Рентгена, д. 5б

Тел./факс: (812) 702-12-66  
E-mail: [info@dipaul.ru](mailto:info@dipaul.ru)

**МОСКВА**

Россия,  
127254, Москва,  
Огородный проезд, д. 20, стр. 1

Тел./факс: (495) 645-20-02  
E-mail: [msk@dipaul.ru](mailto:msk@dipaul.ru)

**НИЖНИЙ НОВГОРОД**

Россия,  
603057, г. Нижний Новгород,  
пр. Гагарина, д. 50, корп. 15, офис 106/2

Тел./факс: (831) 464-97-27  
E-mail: [nnov@dipaul.ru](mailto:nnov@dipaul.ru)

**ЕКАТЕРИНБУРГ**

Тел./факс: (343) 227-12-66  
E-mail: [ekb@dipaul.ru](mailto:ekb@dipaul.ru)



[info@dipaul.ru](mailto:info@dipaul.ru)  
[www.dipaul.ru](http://www.dipaul.ru)