

Оливер Ровини, Артур Пини

## Тестирование «воздействие-отклик»

Метод тестирования электронных устройств путём подачи на их вход сигналов определённой формы, частоты и амплитуды и анализа отклика даёт самую исчерпывающую информацию. Такое тестирование легко осуществить при помощи приборов AWG серии hybridNETBOX компании Spectrum Instrumentation GmbH. В статье рассказано о возможностях этих приборов на нескольких практических примерах.

В мире электроники существует два класса тестирования. Электронные устройства с самовозбуждением, такие как источники питания, генераторы, передатчики и генераторы сигналов, проверяются с использованием инструментов для сбора данных, таких как дигитайзеры, осциллографы или анализаторы спектра. Второй класс тестирования применяется для таких устройств, как усилители, фильтры, приёмники и цифровые интерфейсы. Чтобы проверить их характеристики, применяют внешний источник сигнала. Этот класс тестирования называется тестированием «воздействие-отклик».

Гибридный прибор hybridNETBOX от компании Spectrum Instrumentation объединяет в себе многоканальные дигитайзеры и генераторы сигналов про-

извольной формы (AWG) в универсальный LXI-совместимый прибор, способный измерять воздействия и отклики на них. Это настоящая тестовая система, собранная в едином конструктиве. Общий вид hybridNETBOX показан на рис. 1.

Для генерации и сбора сигналов доступны шесть различных гибридных конфигураций с тактовыми частотами дискретизации и вывода 40, 80 и 125 Мэмп/с при двух, четырёх или восьми доступных каналах. Каждый канал имеет 16-битное разрешение, полосу пропускания до 60 МГц, пропорциональную частоте дискретизации, и обеспечивает исключительную точность.

AWG может иметь два, четыре или восемь каналов, полностью синхронизированных

благодаря использованию общих часов и запускаемых либо внутренним, либо внешним триггером. Уровни выходного сигнала AWG могут составлять до  $\pm 6$  В при входном сопротивлении 50 Ом, или  $\pm 12$  В при высоком сопротивлении для двух- и четырёхканальной версии, или до  $\pm 3$  В при 50 Ом, или  $\pm 6$  В при высоком сопротивлении для восьмиканальной версии. Возможности AWG дополняются наличием четырёх линий цифрового ввода/вывода для программируемых пользователем маркерных импульсов, а также входов внешнего синхросигнала и триггера.

Каналы дигитайзера рассчитаны на широкий диапазон входных сигналов от  $\pm 200$  мВ до  $\pm 10$  В и имеют регулируемое смещение постоянного тока, а также выбираемое пользователем входное сопротивление (50 Ом или 1 МОм). Дигитайзеры доступны как с несимметричными, так и с дифференциальными входами. Дигитайзеры имеют вход для внешней синхронизации и триггерный вход, а также две линии цифрового ввода/вывода общего назначения, определяемые пользователем.

Прибор hybridNETBOX полностью соответствует спецификации LXI (LAN eXtensions for Instrumentation): просто подключите одно или несколько таких устройств к компьютеру или сети посредством порта Gbit Ethernet на их зад-



Рис. 1. Модель DN2.806-08 имеет 8 16-битных каналов и интерфейс LXI

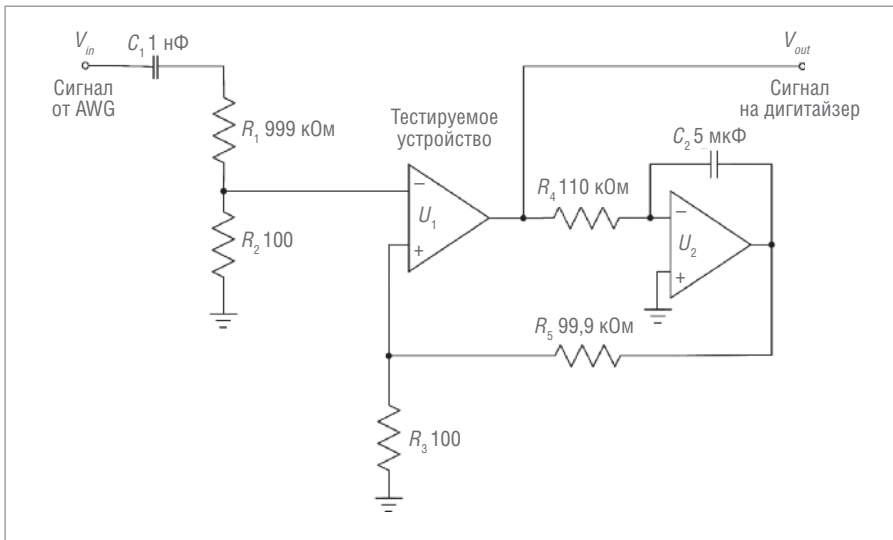


Рис. 2. Тестовая схема для измерения коэффициента усиления разомкнутого контура переменного тока операционного усилителя

ней панели, и они готовы к работе. hybridNETBOX программируется и поставляется с драйверами для операционных систем Windows и Linux.

Spectrum Instrumentation предлагает свой программный инструмент SBench 6 для управления, отображения, измерения и анализа сигналов, подходящий для использования со всей линейкой продуктов.

В программное обеспечение также встроено формирование отчётов. Примеры пользовательского ПО представлены для C++, LabVIEW, MATLAB, Visual Basic .NET, Python и других популярных языков программирования. Имеющий до восьми каналов генерации и сбора сигналов hybridNETBOX хорошо подходит для систем измерения типа «воздействие-отклик». Поскольку один гибридный сетевой прибор может генерировать и обрабатывать сразу несколько сигналов, он подходит для тестирования и оценки систем на основе массивов MIMO (Multiple Input Multiple Output) или шинных систем. hybridNETBOX можно использовать также для подтверждения работоспособности и калибровки тестируемых устройств в ходе автоматизированного тестирования компонентов и узлов.

## ТЕСТ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Рассмотрим пример простого теста, в ходе которого с помощью AWG и дигитайзера измеряется коэффициент усиления разомкнутого контура операционного усилителя переменного тока. Схема тестирования показана на рис. 2. В этом тесте слабый сигнал переменного

тока от AWG подаётся на вход тестируемого операционного усилителя. Поскольку коэффициент усиления операционного усилителя достаточно высок, входной сигнал должен быть предварительно ослаблен. За это отвечает резистивный делитель на резисторах  $R_1$  и  $R_2$ , уменьшающий входной сигнал на 80 дБ (10 000 к 1). Усилитель  $U_1$  — это тестируемое устройство,  $U_2$  — вспомогательный усилитель, стабилизирующий средний постоянный уровень напряжения на выходе тестируемого устройства. Коэффициент усиления разомкнутого контура переменного тока определяется как функция от частоты. Форма входного сигнала должна быть плоской во всём диапазоне тестовых частот. Формами сигналов, удовлетворяющих этому требованию, могут быть линейно качающаяся частота или, в качестве альтернативы, импульсная функция. Используя про-

граммное обеспечение для управления и обработки сигналов SBench 6, AWG можно легко запрограммировать на генерацию любого из этих сигналов. SBench 6 позволяет получать сигналы, сгенерированные с использованием стандартных функций, математических уравнений, а также импортированные из дигитайзера или осциллографа. В этом случае используется вычисляемое время синусоидального сигнала от 100 Гц до 100 кГц. Синусоидальный сигнал выбран потому, что он обеспечивает больший динамический диапазон, чем импульсная функция. Сигнал подаётся на тестовую схему, и дигитайзер измеряет выходной сигнал схемы. Результаты приведены на рис. 3.

Верхняя левая сетка на этом рисунке показывает входной синусоидальный сигнал с развёрткой в течение всей его длительности в 1 секунду, что позволяет убедиться в равномерности его амплитуды во времени. Возможность обработки сигналов SBench 6 включает в себя вычисление быстрого преобразования Фурье (БПФ). БПФ выявляет зависимость мощности сигналов от частоты, то есть позволяет провести анализ спектра сигнала.

Верхняя правая сетка содержит вид БПФ входного сигнала, подтверждающий ровную частотную характеристику от 100 Гц до 100 кГц.

Отклик операционного усилителя на ослабленный входной сигнал показан в нижней левой сетке.

Отображение спектра выходного сигнала показано в нижней правой сетке, учитывающей поправку амплитуды для аттенуатора 80 дБ. Эти диаграммы представляют собой анализ усиления

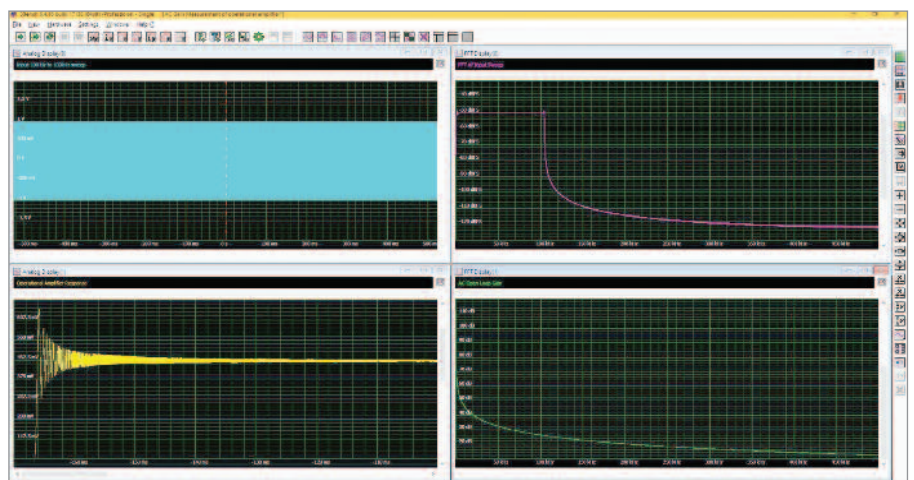


Рис. 3. Генерация сигнала (вверху слева), проверка частотного диапазона входного сигнала (вверху справа), получение выходного сигнала (внизу слева), построение частотной характеристики (внизу справа)

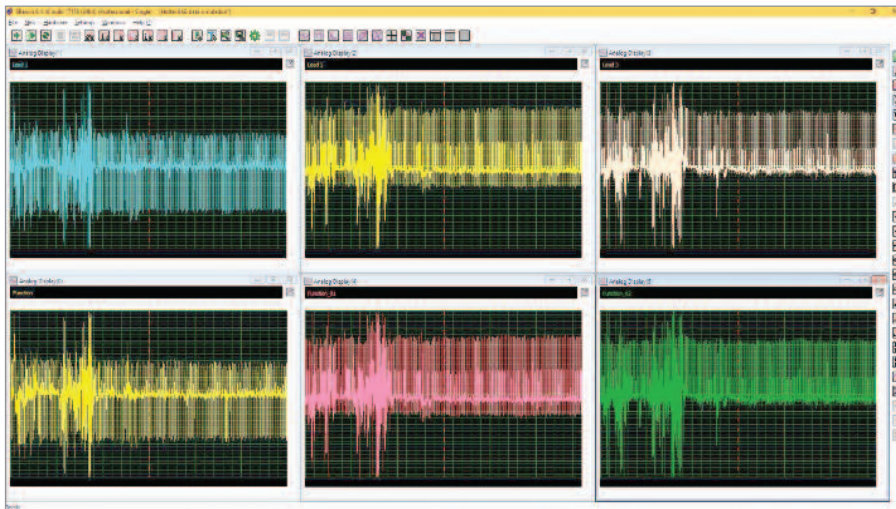


Рис. 4. Пример записи и воспроизведения теста холтеровского ЭКГ-регистратора. Три верхние осциллограммы – сигналы 1...3, замещённые сигналами от трёх выходов AWG

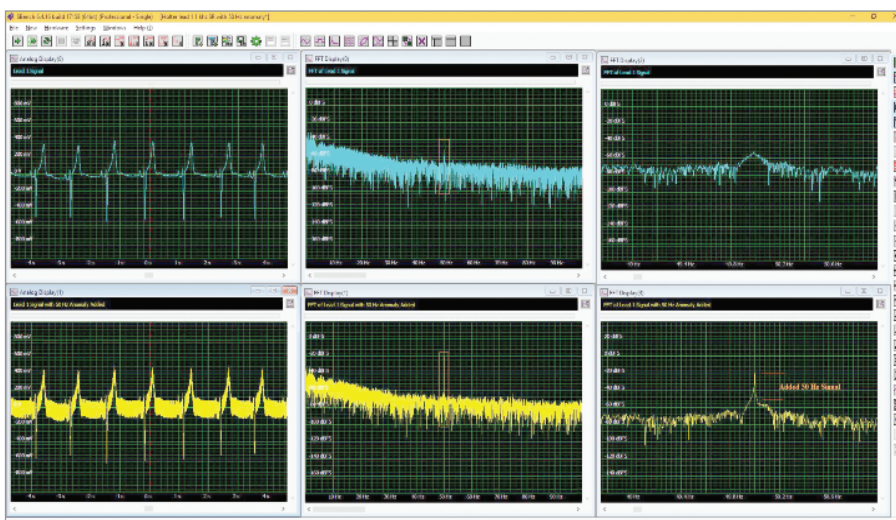


Рис. 5. Добавление interfering сигнала 50 Гц к холтеровскому сигналу канала 1

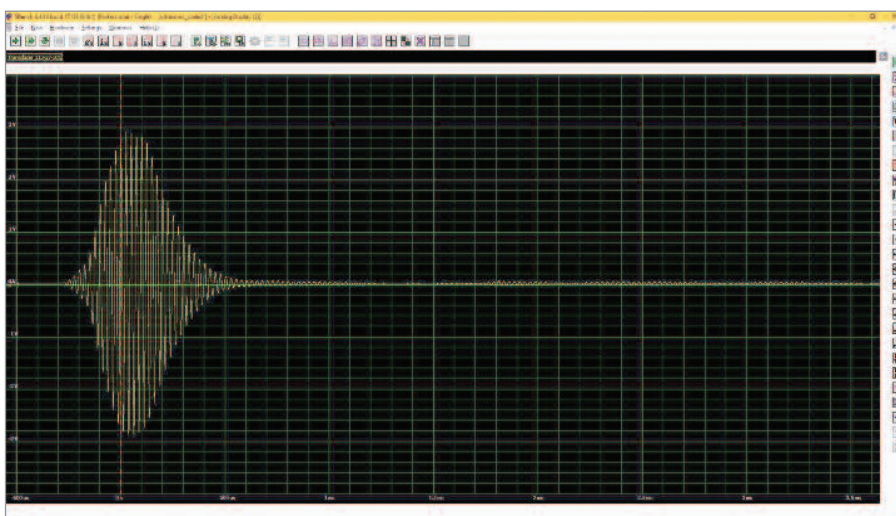


Рис. 6. Переданный ультразвуковой импульс и многократно отражённое эхо

разомкнутого контура усилителя переменного тока на частотах от 100 Гц до 100 кГц с максимальным усилением 112 дБ. Спад амплитуды в зависимости от частоты составляет –6 дБ на октаву или –20 дБ на декаду, что ожидаемо для операционного усилителя. Прибор

hybridNETBOX, содержащий как источник сигнала, так и оборудование для сбора сигналов, значительно упрощает этот тест. Благодаря наличию до восьми каналов источников сигналов и дигитайзеров можно одновременно проводить до восьми параллельных тестов.

## ЭКГ

Ещё одна полезная функция hybridNETBOX – это возможность сохранять один или несколько сигналов, а затем воспроизводить их по запросу для моделирования или в случае, когда требуется заменить отсутствующий источник сигнала.

В качестве примера рассмотрим получение и воспроизведение сигналов электрокардиограммы от трёхпроводного регистратора Холтера. Это позволило бы отлаживать схему без участия пациентов.

Библиотека предварительно записанных сигналов расширяет возможности симуляции. Рис. 4 иллюстрирует этот пример. На нём три верхних графика показывают сигнал, снятый с выводов 1...3 записывающего устройства. Эти осциллограммы копируются в каналы AWG, обозначенные как Function, Function\_01 и Function\_02. Полученные сигналы также можно улучшить с помощью фильтрации и возможности обработки сигналов SBench 6. В эти сигналы могут быть даже внесены аномалии, которые затем по желанию пользователя могут быть переданы в каналы AWG.

К примеру, на рис. 5 показано добавление к основному сигналу помехи частотой 50 Гц.

Исходный сигнал со входа 1 появляется в развёрнутой по горизонтали верхней левой сетке, что позволяет увидеть отдельные сердечные циклы. БПФ всего сигнала отображается в верхней центральной сетке.

Верхняя правая сетка показывает горизонтально расширенное изображение этого БПФ с частотой около 50 Гц. Обратите внимание, что исходный сигнал имеет слабую составляющую 50 Гц.

Нижняя левая сетка показывает тот же сигнал со входа 1 с добавленной аномалией 0,1 В, 50 Гц. БПФ сигнала с аномалией 50 Гц отображается в центре правой сетки. Оранжевой рамкой отмечена частота 50 Гц, которая теперь демонстрирует повышенную амплитуду из-за добавленной аномалии.

Нижняя правая сетка расширяет БПФ по горизонтали примерно на 50 Гц. Отмечена повышенная амплитуда интерференции 50 Гц.

Возможность изменять полученный сигнал перед воспроизведением позволяет пользователям оценивать эффективность схем фильтрации и исправления ошибок.

## ЭХОЛОКАЦИЯ

Возможности hybridNETBOX хорошо подходят для тестирования оборудования, использующего эхо-сигналы для определения местоположения и дальности, такого как радары, сонары, лидары или ультразвуковые системы.

Источник AWG может генерировать эти сложные сигналы, а 16-битные дигитайзеры обеспечивают динамический диапазон, необходимый для просмотра эхо-сигналов, как показано на рис. 6. Это полученный от дальномера ультразвуковой импульс частотой 40 кГц вместе с последующими эхо-сигналами. Амплитуда эхо-импульсов примерно на 36 дБ ниже излучаемого импульса, поэтому на рисунке они визуально различимы.

На практике отражённый сигнал ещё намного слабее. 16-битное разрешение по амплитуде hybridNETBOX важно в таких приложениях, где эхо-сигналы гораздо слабее передаваемых сигналов, а динамический диапазон необходим для генерации или обнаружения эхо-сигналов с низкой амплитудой. Множественные эхо-сигналы возникают

из-за плохой направленности ультразвукового преобразователя.

С этой проблемой сталкиваются все приложения для определения местоположения и измерения эхо-сигналов, поэтому разработчики стремятся улучшить направленность и усиление за счёт использования фазированных решёток, преобразователей или антенн. Поскольку hybridNETBOX может генерировать и принимать несколько сигналов по разным каналам, он хорошо подходит для тестирования и оценки этих систем на основе массивов.

Рассмотрим систему ультразвуковой визуализации, в которой несколько сигналов генерируются и подаются на массив преобразователей. Регулировка задержки и затухания отдельных сигналов может использоваться для управления выходом матрицы преобразователей.

Системы с фазированной решёткой, будь то антенны для радиочастотных сигналов или ультразвуковые преобразователи, представляют собой распространённую форму системы с несколькими входами и выходами

(MIMO). Многоканальные AWG могут обеспечивать сигналы, необходимые для тестирования этих систем, обеспечивая управление излучаемыми сигналами. Точно так же многоканальный дигитайзер поддерживает приём передаваемых сигналов.

Основные компоненты сигнала восьмиземельной ультразвуковой системы передачи с фазированной решёткой показаны на рис. 7. Создание большого количества форм сигналов легко выполняется с помощью редактора уравнений программы SBench 6, как показано на вставке в нижнем левом углу рис. 7. Отдельные формы сигналов представляют собой модулированные по амплитуде косинусоидальные волны 40 кГц. Каждая из восьми форм сигнала отстаёт от предыдущей на 25 мкс. Огибающая модуляции состоит из суммированного пилообразного сигнала, который контролирует время атаки, и экспоненциального элемента, который определяет время затухания. Все они синхронизируются частотой 10 МГц, и каждая форма сигнала использует 16 ксэмпл из 512 Мсэмпл памяти AWG. Хранение длинных последовательно-



# Новые стандарты измерений сигналов

## Портативные приборы TiePie engineering с USB-интерфейсом



### HANDYSCOPE HS5

2-канальный осциллограф с высокими разрешением, частотой опроса и встроенным генератором

- полоса частот входного сигнала 250 МГц
- частота дискретизации до 500 МГц
- разрешение 12, 14, 16 бит
- память 64 Мсэмпл
- встроенный генератор 30 МГц, разрешение 14 бит



### WiFiScope WS6

Профессиональный универсальный измерительный прибор с возможностями подключения к компьютеру по Wi-Fi, LAN и USB

- 4 канала
- полоса частот 250 МГц
- частота дискретизации 1 ГГц
- разрешение до 16 бит
- память 256 Мсэмпл на канал
- максимальный уровень входного сигнала до 200 В



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)



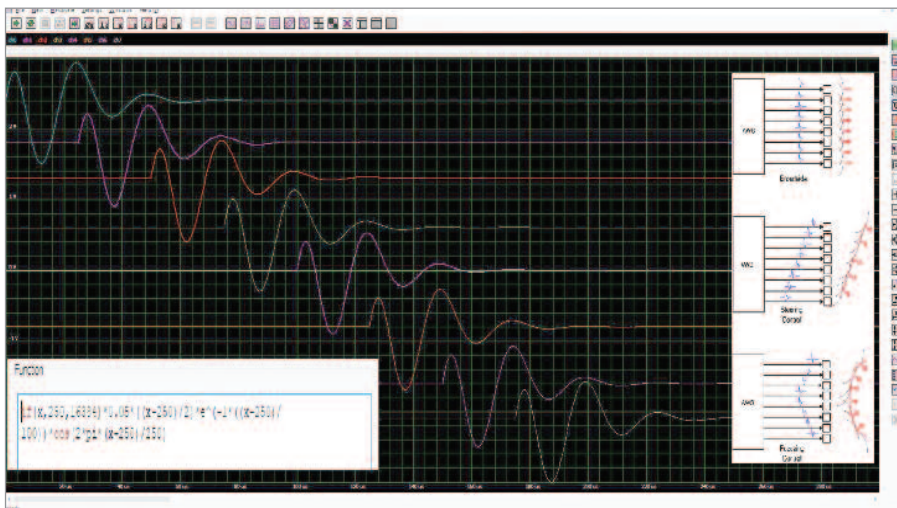


Рис. 7. Восемь программно созданных ультразвуковых сигналов позволяют управлять фазированной решёткой

стей сигналов важно, поскольку для заданной частоты дискретизации они определяют длительность выходного аналогового сигнала.

Если восемь сигналов фазированы для достижения излучателей одновременно, то получается равномерный или поперечный волновой фронт, как показано на вставке с правой стороны рис. 7. Переданный сигнал от матрицы

ультразвуковых акустических излучателей можно регулировать путём регулировки задержки отдельных управляющих сигналов. Если излучаемые сферические волновые фронты последовательно задерживаются, то составной сигнал направляется вниз.

Точно так же, если управляющие сигналы задерживаются от границ массива внутрь, как показано на схеме на ниж-

нем рисунке вставки, луч может быть сфокусирован к центру. Эти фазированные решётки позволяют управлять перемещением излучаемых волн немеханическими средствами. Сигналы в примере реализуют функцию такого управления. Регулировка амплитуды управляющих сигналов в дополнение к изменению величины их задержки может привести и к другим эффектам. Пользователи AWG имеют полный контроль над характеристиками формы волны и синхронизацией благодаря гибкости в управлении излучаемым волновым фронтом.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные примеры демонстрируют возможности hybridNETBOX как в качестве источника сигнала, так и в качестве измерительного прибора в одном лице. hybridNETBOX может использоваться автономно или работать по заранее определённой программе, будучи полностью интегрированным в испытательную систему. ●

Перевод Юрия Широкова  
E-mail: [textoed@gmail.com](mailto:textoed@gmail.com)

**ЛЕГКО МОНТИРУЕМАЯ  
ВЫСОКОТОЧНАЯ  
СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЙ**

- Датчики деформации
- Стержневые датчики силы
- Распределительные коробки
- Измерительные преобразователи
- Индикаторы
- Монтажные комплекты
- Заказные разработки и шеф-монтаж

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)

## Компания «Авантикс» на “Elbrus Tech Day”

16 и 17 февраля состоялась первая конференция “Elbrus Tech Day”, собравшая партнёров и пользователей микропроцессоров «Эльбрус» на одной площадке. Несмотря на пандемию и ограничения по посещаемости выставок и конференций, на встрече присутствовало большое количество партнёров, пользователей процессоров, представителей государственных органов и компаний, заинтересованных в развитии российской электроники.

В ходе насыщенной деловой программы партнёры компании «МЦСТ» делились опытом работы с различными процессорами с архитектурой «Эльбрус», представляли прогнозы развития, результаты тестирования и обратную связь от заказчиков. Кроме самого организатора – компании МЦСТ – на конференции выступали такие крупные компании, как «Базальт СПО», «РусБИТех», «СВД Встраиваемые Системы» и другие производители российских операционных систем. Наряду с ключевыми партнёрами «МЦСТ» компания «Авантикс» также представила свои решения на базе ЦПУ «Эльбрус» – линейку продукции под ярким названием «Брусника». Начальник отдела промышленных компьютеров компании «Авантикс» Дмитрий Кабачник в своём докладе осветил преимущества работы с российским процессором «Эльбрус» и представил широкой публике безвентиляторный компьютер «Брусника» ВКП-Б2/ЭЛ4С на базе ЦПУ «Эльбрус-4С». Слушатели не только по достоинству оценили преимущества устройства, указанные в докладе, но и смогли на стенде компании «Авантикс» вживую посмотреть, как функционирует компьютер, убедиться в его бесперебойной работе при полностью безвентиляторном исполнении. Также на презентации были продемонстрированы другие разработки «Авантикс» – компьютеры на базе «Эльбрус-4С» и «Эльбрус-8С» для установки в 19” стойку. Помимо этих моделей, были представлены автоматизированные рабочие места среднего уровня на базе процессоров «Эльбрус 1С+» и «Эльбрус-8С» – это новинки 2020 года, пользующиеся огромным спросом у заказчиков. Сотрудник компании «Авантикс» также рассказал о прогнозах выпуска новых устройств на базе ЦПУ «Эльбрус» на 2021–2022 годы.

Кроме того, конференция транслировалась в свободном доступе на YouTube, что дало возможность всем заинтересованным лицам из других городов в режиме онлайн прослушать доклады участников. Единновременно онлайн-трансляцию слушали от 100 до 250 человек, что позволяет оценить значимость мероприятия. Конференция “Elbrus Tech Day” за 2 дня объединила всех партнёров «МЦСТ», создав прочные связи между разработчиками и пользовате-



лями. Было принято решение о повторном проведении мероприятия во второй половине года для закрепления связей, и компания «Авантикс» наряду с другими партнёрами «МЦСТ» с удовольствием примет участие в последующих конференциях. ●

## Биометрия на вендинговом рынке – уже реальность

С 23 по 25 марта в «Экспоцентре» проходила Международная выставка вендинговых технологий и систем самообслуживания VendExpo+WRS5 2021. В рамках международного форума сотрудники PFORT участвовали в панельной дискуссии «Внедрение систем самообслуживания в рознице и услугах» и выступили с докладом на тему «Автоматизация сервисов предприятия: биометрия и аутентификация».

На стенде PFORT было продемонстрировано необычное и полезное решение – автоматизация торговых услуг с помощью вендинговых автоматов с биометрией. Биометрическая идентификация – это далеко не только СКУД и учёт рабочего времени. При желании бесконтактные биометрические считыватели можно адаптировать для решения широкого спектра бизнес-задач.

Одно из решений PFORT было продемонстрировано в действии: вендинговый автомат с бесконтактной идентификацией по венам ладони на базе считывателя PALMJET и киоск для самостоятельной бесконтактной регистрации биометрических данных. Бесконтактный биометрический считыватель вен ладоней PALMJET распознаёт пользователя по ладони на расстоянии 4–10 см. Встроив его в вендинговый автомат, получаем самодостаточную COVID-устойчивую торговую систему, которая продаёт товары в автоматическом режиме. Пользователь сам вносит свои данные в систему при помощи биометрического киоска саморегистрации. При этом все персональные данные пользователя, в том числе и биометрические, находятся в системе в обезличенном и зашифрованном виде. В реальной практике такие автоматы можно установить в

столовой предприятия, интегрировать с внутренней «кредитной системой» и настроить различные сценарии использования: например, предоставлять доступ в качестве поощрения или списывать деньги за покупку с внутреннего счёта сотрудника, в данном случае подтверждением платежа может служить биометрический слепок лица или рисунка вен ладоней. Биометрические программно-аппаратные комплексы PFORT легко адаптируются к решению цифрового биометрического офиса. Цифровая трансформация бизнеса меняет производство на всех уровнях: бизнес-процессы, управление, офисная работа. Новые гаджеты, Интернет вещей, облачные сервисы трансформируют рабочее пространство, выводят его далеко за пределы привычного офиса. Уже никого не удивить возможностью удалённой работы. А концепция умного распределения общих офисных ресурсов активно завоевывает своё место в крупных корпорациях. Все аспекты трансформации офисной среды, новые инструменты, технологии и подходы можно объединить в концепцию цифрового офиса биометрической СКУД. Инновационная система контроля доступа с использованием специализированных интеллектуальных сенсорных шлюзов и барьеров «БиоСКУД» предназначена для установки там, где нецелесообразна или запрещена установка традиционных турникетов.

Сенсорные барьерные шлюзовые стойки, формирующие проход, имеют современный эргономичный дизайн и изготовлены из ударопрочного негорючего композитного материала или шлифованной нержавеющей стали. Факт прохода через барьер фиксируется при помощи инфракрасных датчиков, встроенных по всему периметру стоек и шлюзового прохода, позволяя при необходимости делать эвакуационные пути свободными. В зависимости от категории помещения барьерные шлюзовые стойки устанавливаются на специально подготовленной площадке или на систему монтажных палет, внутри которых прокладываются кабели питания и кабели передачи данных. Палеты быстро и удобно монтируются и в случае необходимости могут быть быстро перемещены в другое место без порчи напольного покрытия.

Чтобы пройти через шлюз, посетителю достаточно приложить персональную карту к бесконтактному считывателю или пройти контроль по биометрии лица или по рисунку вен ладоней. Встроенные в шлюз IP-камеры и сенсоры фиксируют каждый проход через систему контроля доступа с сохранением фотографии проходящего, информации о времени и направлении прохода в базе данных.

Эти и многие другие решения PFORT содержат в себе современные передовые технологии, соответствующие девизу: «Биометрия в центре всего, что мы делаем». ●