

# Teledyne LeCroy MDA800 — новейший осциллограф/анализатор мощности электродвигателей и приводов

Компания Teledyne LeCroy, Inc. (США), известный разработчик осциллографов, недавно выпустившая первый в мире 100-ГГц осциллограф реального времени, продолжает радовать пользователей своими новинками. Так, 10 февраля 2015 г. она анонсировала выпуск и начало поставок очередного новейшего продукта из серии осциллографов высокой четкости. Это анализатор мощности широко распространенных электродвигателей и привалов MDA800 (Motor Drive Analyzer). Прибор оснащен новым программным обеспечением с множеством дополнительных функций для всестороннего анализа электротехнических изделий и с расширенными возможностями графики.

Владимир Дьяконов,  
 д. т. н., профессор

vpdyak@yandex.ru

## Конструкция и особенности осциллографа/анализатора MDA800

Прибор MDA800 (рис. 1), как и недавно выпущенные осциллографы HDO8000 [1], имеет восемь аналоговых каналов, а с подключенным пробником цифровых сигналов может использоваться и как 16-канальный осциллограф цифровых и смешанных сигналов (MSO). Полоса пропускания осциллографа — 350, 500 и 1000 МГц (в серии три модели). Прибор оснащен TFT-дисплеем с сенсорным экраном, имеющим диагональ 31 см и разрешение

1280×800 точек (WXGA). На нем могут отображаться до 40 осциллограмм одновременно.

Новинка представляет собой устройство, объединяющее 12-битный цифровой запоминающий осциллограф высокой четкости и точности с анализатором спектра и электрической мощности в одном приборе. Прибор MDA800 (Motor Drive Analyzer) — это специализированный продукт, предлагающий уникальные прикладные ресурсы для измерений и анализа электроустановок, массово применяющихся в быту, промышленности и обороне. В то же время он является одним из лучших цифровых осциллографов высшего класса High-End с открытой архитектурой. Прибор построен на базе мощного встроенного персонального компьютера с четырехъядерным микропроцессором. Он оснащен операционной системой Windows 7 и новым программным обеспечением.

Иногда MDA800 называют анализатором асинхронных двигателей, имея в виду, что этот тип двигателей переменного тока с выдающимися электро-механическими характеристиками (широчайший диапазон мощностей, высокий КПД, возможность самозапуска, бесконтактная конструкция ротора, высокая надежность и т. д.) — наиболее массовый. В то же время он отличается сложными переходными процессами запуска/остановки и взаимосвязью механических и электрических процессов в широком диапазоне времен.

Однако возможности MDA800 не ограничиваются исследованием двигателей одного класса. Прибор можно применять для исследования, контроля и тестирования любых электродвигателей и их приводов, а также (в рамках своей полосы пропускания) любых электронных и радиотехнических устройств,



Рис. 1. Восьмиканальный осциллограф/анализатор высокой четкости для анализа мощности электродвигателей и их приводов

особенно с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и ключевым методом преобразования электроэнергии.

На первый взгляд прибор очень похож (как и все старшие модели осциллографов фирмы) на уникальный цифровой осциллограф высокой четкости HDO6104, который был получен автором от компании Teledyne LeCroy. Вот уже более года он используется для проведения исследований и тестирования различных устройств. Прибор так великолепно проработан, что кажется, будто его и не надо совершенствовать — по крайней мере, как осциллограф общего назначения. И действительно, все его уникальные функции (запоминание предыстории History, углубленный анализ осциллограмм Wave Scan, подготовка отчетов LabNotebook, глубокий спектральный анализ Spectrum и др.) не только сохранены, но и усовершенствованы применительно к углубленному анализу систем электропитания и тестирования электродвигателей. Они детально рассмотрены в нескольких крупных обзорах, например в работе [2], и сделанные там описания вполне приемлемы для новейшего прибора. Поэтому ниже оно приведено в краткой форме, а основное внимание уделено специфическим возможностям нового прибора.

В модели MDA800 [3] используется новейший графический интерфейс пользователя GUI. Но даже по небольшой панели управления (рис. 2) видно, что прибор существенно доработан. Теперь обеспечен доступ не к четырем входным разъемам, а к восьми с помощью всего двух поворотных ручек масштаба и сдвига. Для этого пришлось добавить по одной кнопке включения/отключения каналов. Кнопки и ручки выделены в привычные области работы. Кроме того, на передней панели прибора размещены разъем внешнего запуска Ext, разъем для подключения 16-канального пробника цифровых (логических) сигналов и пара разъемов универсальной последовательной шины USB.

Малое число органов управления и их рациональное расположение позволили минимизировать размеры панели управления и увеличить размеры сенсорного экрана. В результате с экраном стало удобнее работать, особенно в сенсорном режиме, касаясь его пальцем или стилусом (рис. 3), которым проще указать на маленькую часть осциллограммы, дескриптор (описатель) операции, функцию или позиции меню.



Рис. 2. Панель управления минимизирована по числу органов управления и размерам

### Интерфейс пользователя и работа с MDA800

Новая серия MDA800 успешно прошла несколько стадий испытаний в реальных полевых условиях, в результате которых были получены следующие результаты:

- Точность измерений мощности, напряжения и тока составляет около 1%.
- Реализован интерфейс пользователя, типичный для приложений операционных систем Windows с главным меню в верхней части (рис. 4).
- Учтена необходимость функции фильтрации гармоник, добавленная в окончательную версию продукта.
- Внедрена уникальная функция Zoom+Gate (Масштабирование + Измерение в диапазоне).
- Доработан интерфейс с учетом многочисленных пожеланий пользователей и резкого увеличения числа функций.

В ходе бета-тестирования серии MDA800 была подтверждена правильность выбранной концепции создания нового продукта, подкрепленная следующими итогами:

- Обеспечена функция измерения «статических» (установившихся) параметров на интервалах коротких выборок с отображением результатов в таблице данных (точно так же, как и в обычных измерителях мощности и анализаторах ПКЭ).
- Обеспечена функция измерения «динамических» (переходных) параметров в каждом периоде интерполируемых сигналов, наглядно отображающих процесс изменения параметров в течение длительного времени (уникальная функция).
- В полном объеме реализованы осциллографические функции, обеспечивающие полный цикл отладки и анализа различных приводов, включая системы управления встроенных приводов и силовые блоки (уникальная функция).
- Установлено уникальное программное обеспечение, позволяющее проводить анализ однофазных и трехфазных систем электропитания и интегрированных с двигателями электромеханических приводов.
- Реализованы новые возможности отображения: 12 режимов XY-отображения и 8 вариантов координатной сетки на экране параметров в течение длительного времени (уникальная функция).



Рис. 3. Сенсорное управление касанием пальцем или стилусом



Рис. 4. Главное меню на экране с открытой позицией анализа

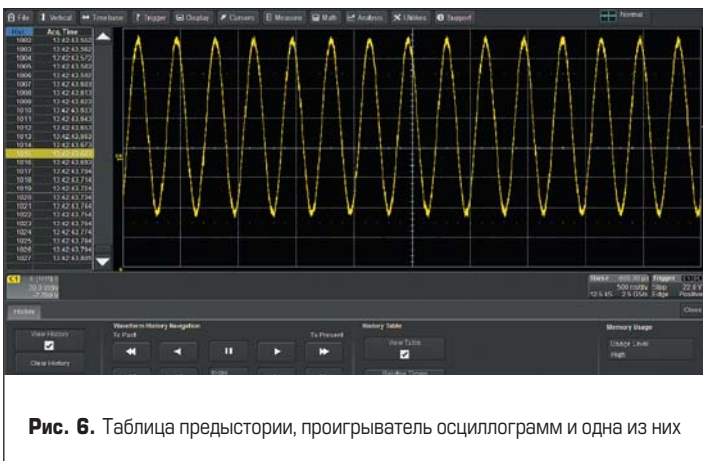
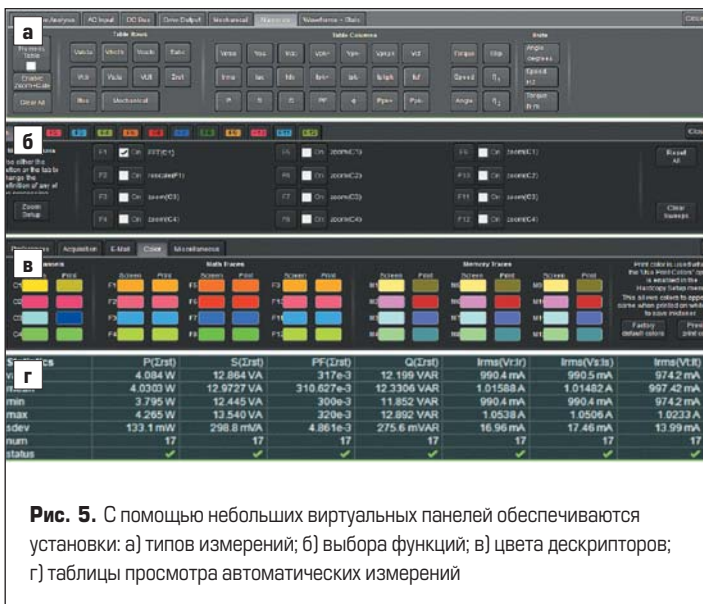


Рис. 6. Таблица предыстории, проигрыватель осциллограмм и одна из них

Рис. 5. С помощью небольших виртуальных панелей обеспечиваются установки: а) типов измерений; б) выбора функций; в) цвета дескрипторов; г) таблицы просмотра автоматических измерений

• Расширено число виртуальных панелей, которые появляются (а при необходимости убираются) в нижней части экрана (рис. 5).

В полном объеме реализованы осциллографические функции, обеспечивающие полный цикл отладки и анализа различных приводов, включая системы управления встроенных приводов и силовые блоки. Частота дискретизации составляет 2,5 ГГц/канал (125 ГГц для периодического и квазипериодического сигнала), память — 50 Мбайт/канал (опции 100 и 250 Мбайт/канал).

Прибор имеет новые программные функции:

- анализ трехфазных систем, интегрированных электромеханических приводов и электроустановок (ЭУ);
- измерения «статических» (установившихся) и «динамических» (переходных) параметров.

Режимы его работы:

- Wave Scan, History, Lab Notebook, сегментированная развертка;
- инновационный режим мультизакладок Qscape;
- измерения и математика — расширенный набор;
- анализатор спектра — в стандартной комплектации;
- программные опции — анализатор электрической мощности, декодирование последовательных протоколов (19 стандартов), цифровые фильтры, анализ на ЭМС и пр.

Важное место в интерфейсе пользователя занимают дескрипторы (описатели). Эти небольшие цветные прямоугольники со списком параметров каждой функции или оператора, рассчитанные на сенсорное управление, автоматически появляются при каждом применении функции или оператора. Активизация дескриптора обычно вызывает появление на экране панели или окошка задания параметров той или иной операции. На рис. 5 показан единственный дескриптор, появившийся в момент включения первого аналогового канала осциллографа. Он имеет обозначение C1 (канал 1) в желтом прямоугольнике (цвет осциллограммы этого канала). Математические функции обозначены буквой F, функции памяти — M, параметры автоизмерений — P и т. д. При желании дескрипторы можно убрать, чтобы увеличить размеры осциллограмм.

**Работа с осциллографом/анализатором MDA800**

Осциллограф MDA800 имеет большой объем памяти (50 Мбайт/канал с опциями 100 и 250 Мбайт/канал) для хранения многих тысяч осциллограмм. Однако она не пустует! Функция History обеспечивает ее заполнение осциллограммами, а специальный проигрыватель (рис. 6, снизу) — удобный и быстрый просмотр с указанием нужного кадра из таблицы осциллограмм (приведена на рис. 6, слева от осциллограммы). Эта функция очень удобна для поиска как редких событий, которые может пропустить функция History, так и по заданным параметрам событий.

При проведении анализа и тестирования электродвигателей и приводов необходимо одновременно наблюдать за медленными электро-

механическими процессами в самих двигателях и за быстрыми в электронных и микропроцессорных системах управления ими. Неоценимую помощь здесь оказывает расширенная функция Zoom (лупа времени, или растяжка), включающаяся соответствующей кнопкой на панели управления. Она позволяет выделять определенный участок медленного процесса и детально просматривать его в растянутом виде (рис. 7). Выделять можно пальцем, стилусом (рис. 3) или подключенной к USB-порту мышью.

Бывает, что иногда частоты дискретизации осциллографа, равной 2,5 ГГц, не хватает для получения изображения высокой четкости. В приборе использован специальный метод случайной выборки отсчетов RLS (Random Interleaved Sampling), позволяющий довести разрешение во времени до 8 пс и эквивалентную скорость дискретизации до 125 Гвыб./с для периодических или квазипериодических сигналов. При высоком разрешении по вертикали (в 12 бит) прибор имеет еще и режим эквивалентного разрешения (ERES) с 15-битной разрядностью, а также фильтры для сужения полосы частот для дополнительной фильтрации сильно зашумленных сигналов.

Новый прибор унаследовал от осциллографов высокой четкости класса HDO многие десятки функций компьютерной математики (например, дифференцирования и интегрирования, вычисления арифметических и элементарных функций, арифметических операций с сигналами разных каналов и с параметрами автоматических измерений и т. д.) для проведения автоматических и курсорных измерений. Их количество существенно расширилось в результате появления функций, характерных для силовой электроники, которые описывают закономерности электротехнических одно- и трехфазных устройств (рис. 5).

**Расширенный спектральный анализ в MDA800**

Среди средств компьютерной математики в осциллографах особое место занимает спектральный анализ частотной области методом быстрого преобразования Фурье (FFT). Прибор имеет опцию Spectrum для проведения расширенного спектрального анализа, которая включается отдельной

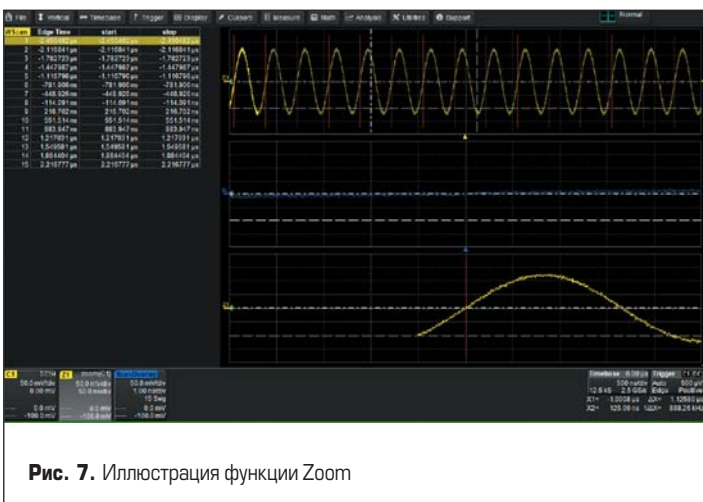


Рис. 7. Иллюстрация функции Zoom



Рис. 8. Осциллограмма меандра и его спектр

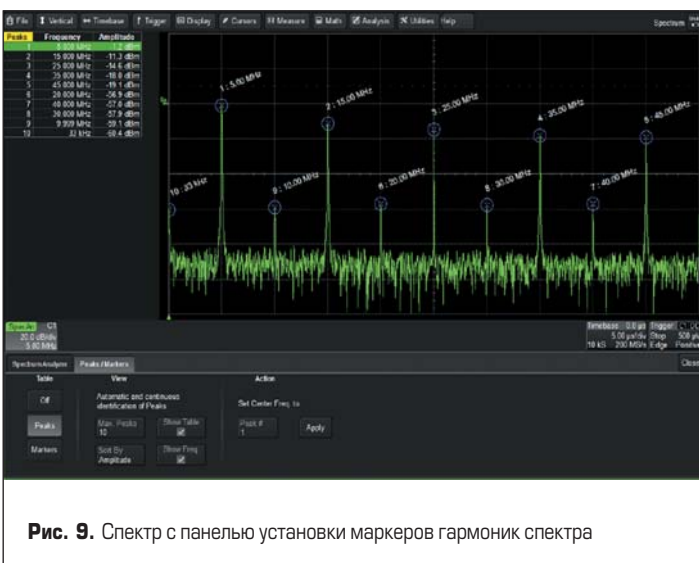


Рис. 9. Спектр с панелью установки маркеров гармоник спектра

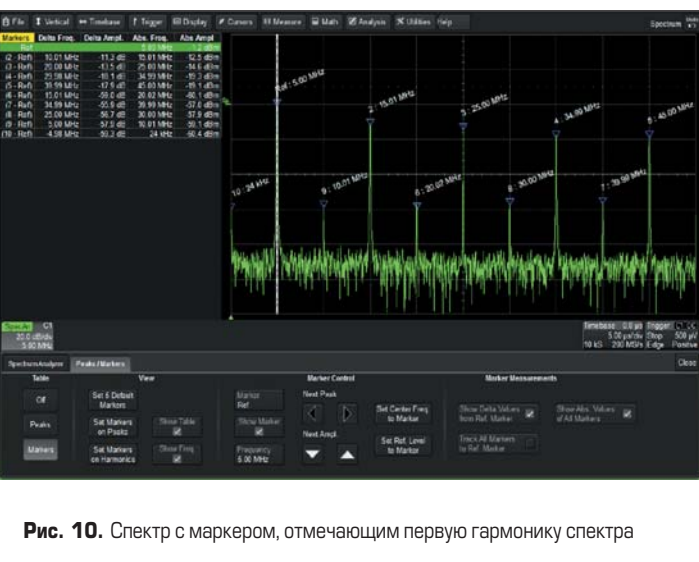


Рис. 10. Спектр с маркером, отмечающим первую гармонику спектра

кнопкой. Впервые она была применена в приборах серии HDO4000/6000. В модели MDA800 кнопка опции Spectrum исчезла с панели управления, но возможности анализировать спектр остались. Вызов этой функции, как и других средств математики, осуществляется из виртуальной панели, вызываемой кнопкой Math из панели управления.

Спектральный анализ имеет большое значение в силовой электронике. Он важен для оценки гармонического состава напряжений и токов питающих сетей. Вопреки своему названию, большинство специальных анализаторов спектра из-за ограничения рабочих частот снизу не позволяют выполнять такой анализ для наиболее массовых сетей переменного тока с частотой 50/60 или 400 Гц. Но главное — спектральный анализ необходим в устройствах, использующих широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) [5], частота которой у нового поколения высоко-частотных импульсных и ключевых преобразователей достигает нескольких мегагерц и непрерывно растет, что позволяет уменьшить габариты индуктивных элементов (трансформаторов и дросселей), а также фильтрующих и накопительных конденсаторов.

На рис. 8 показаны осциллограмма меандра и его спектр, построенный под ней. В нижней части окна находится панель установки параметров спектрального анализа. Как и в специальных анализаторах спектра, для построения спектра можно указать нижнюю и верхнюю частоту или среднюю частоту и ширину полосы обзора спектра.

Осциллограмму анализируемого сигнала можно вывести вместе с другими данными для анализа спектра. Например, можно включить автоматический анализ спектра, вывести таблицу частот его гармоник (пиков) и включить кружки, отмечающие частоты максимумов пиков (рис. 9). В нижней части экрана на рис. 9 показана панель для отметок пиков спектра.

Можно также применять обычный маркер в виде пунктирной черты (курсора), как показано на рис. 10. Маркер перемещается вручную, а его точная установка на вершину пика осуществляется автоматически.

Наряду со спектрами исследуемых сигналов можно строить и их спектрограммы (двумерные и трехмерные), отображающие спектр в плоскости амплитуда/частота/время. На двумерной спектрограмме (2D) амплитуда представляется оттенками или цветами (рис. 11).

Построение 3D-спектрограммы происходит в трехмерной системе координат, и наряду с цветом амплитуда представлена еще и высотой (рис. 12). Следует отметить, что спектрограмма дает возможность отображать изменение спектра во времени и оценивать закон изменения амплитуды во времени — например, синусоидальный, как на рис. 12.

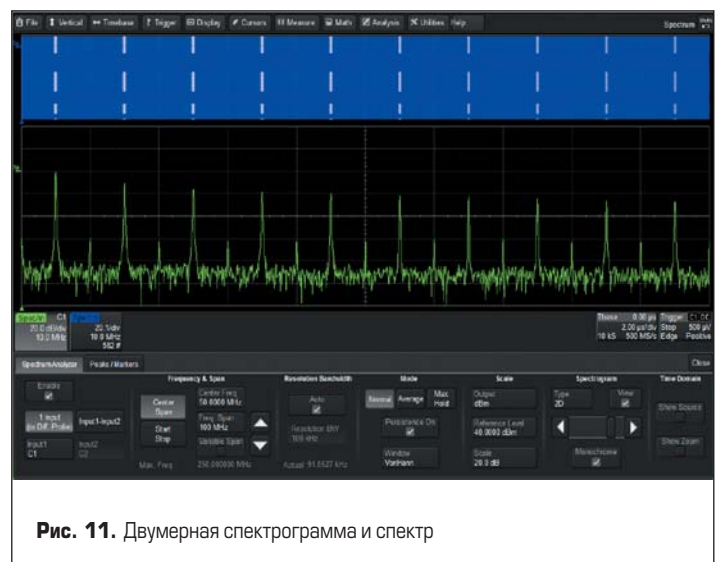


Рис. 11. Двумерная спектрограмма и спектр

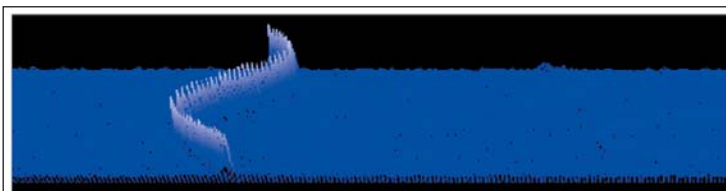


Рис. 12. Трехмерные спектрограммы с функциональной окраской

Просто спектр такой возможностью не обладает, поскольку отражает только зависимость амплитуды от частоты.

Таким образом, в новый прибор фактически встроен вполне современный анализатор спектра с удобным и привычным выбором параметров спектра и возможностью построения спектрограмм в реальном времени. Благодаря программной реализации, снизу частоты анализируемых сигналов не ограничены, а сверху ограничены полосой пропускания осциллографа.

### Расширенные графические возможности MDA800

Благодаря большим размерам и высокому разрешению, на цветном дисплее MDA800 можно разместить самые разнообразные диаграммы и осциллограммы в различных форматах, спектры и спектрограммы, таблицы данных и панели установки параметров (рис. 13). Прибор обеспечивает подключение к внешнему дисплею Ultra-High Definition (UHD) с разрешением до 3280×2160 точек, что позволяет создавать на одном экране множество окон с высокой четкостью изображения в каждом из них.

На осциллограммы можно выводить курсоры — пару вертикальных и пару горизонтальных пунктирных линий белого цвета (рис. 14). Обычно они используются для проведения общеизвестных курсорных измерений и вводятся нажатием кнопки Туре (тип курсоров) области Cursors снизу панели управления осциллографа (рис. 2). Она переключает вид курсоров, а поворотная ручка в области Cursors позволяет плавно их перемещать.

Прибор осуществляет несколько десятков типов автоматических измерений (рис. 15). Этот режим вводится нажатием кнопки Meas (от Measure — измерения) в центре панели управления осциллографа.

Для каждого автоматического измерения постоянно ведется статистический анализ, данные которого (и микрогистограммы в дескрипторах) можно вывести на экран осциллографа. Можно также вывести и гистограмму нормального размера (рис. 16).

На рис. 17 приведены характерные осциллограммы переходных процессов на выходе скорости двигателя с ШИМ и тестируемого устройства.

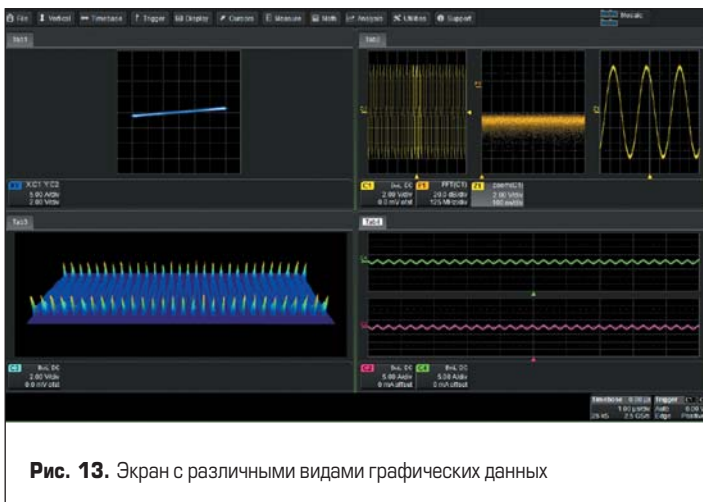


Рис. 13. Экран с различными видами графических данных



Рис. 14. Осциллограмма и две пары вертикальных и горизонтальных курсоров

Высокое разрешение даже встроенного дисплея у MDA800 позволяет реализовать многооконный режим отображения информации с выводом диаграмм и осциллограмм различного типа (рис. 18). Это делает анализ исследуемых процессов более наглядным.

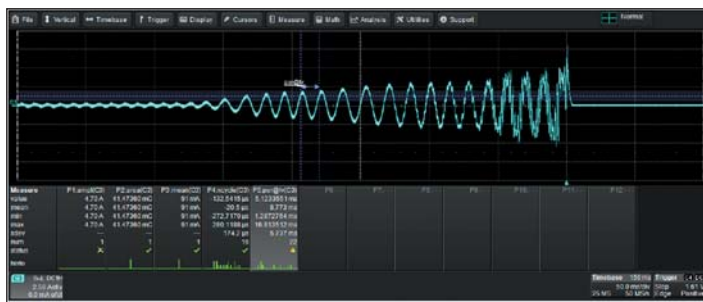


Рис. 15. Осциллограмма сложного переходного процесса и таблица автоматических измерений и их статистики

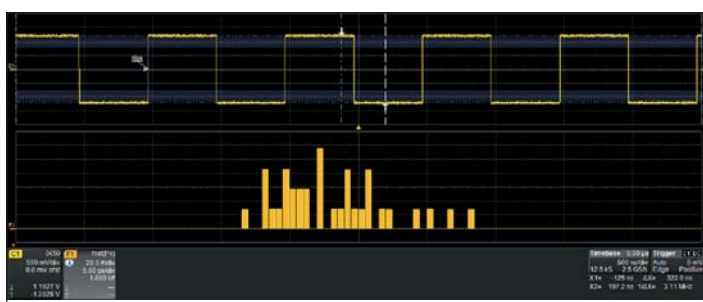


Рис. 16. Осциллограмма меандра и гистограмма разбора уровня нижней полуволны

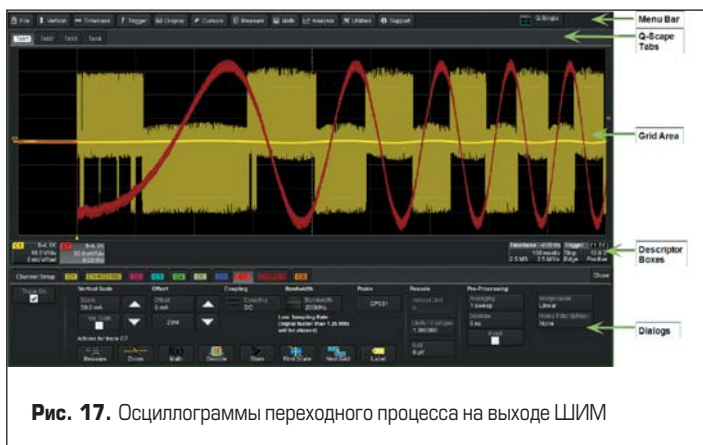


Рис. 17. Осциллограммы переходного процесса на выходе ШИМ

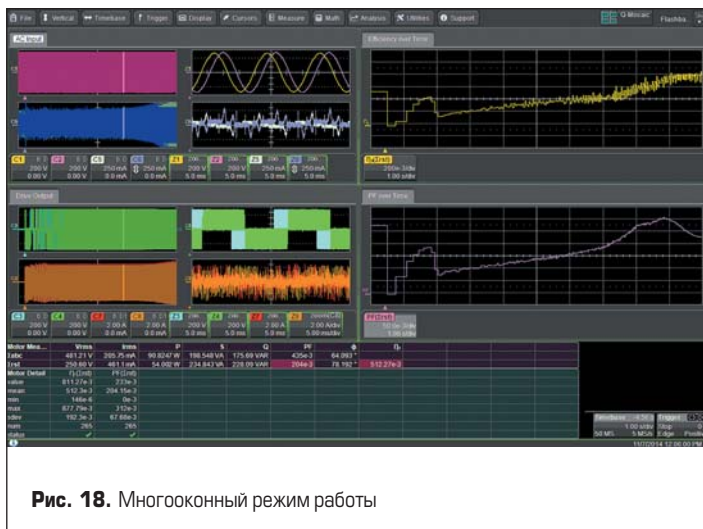


Рис. 18. Многооконный режим работы

**Исследование и тестирование электротехнических устройств**

К осциллографу/анализатору MDA800 можно подключать различные пробники (высоковольтные, дифференциальные, токовые и т. д.) для снятия осциллограмм и параметров тестируемого двигателя его привода в наиболее приемлемом для этого виде (рис. 19). Вместе с прибором можно использовать до трех десятков пробников различного назначения.

В настоящее время электродвигатели применяются в самых различных областях, например в аппаратуре управления — маломощные, постоянного и переменного тока, в том числе специальные, а именно серводвигатели, шаговые двигатели и т. д. Как правило, они используют специальные схемы управления, контроллеры и другие подобные устройства для обеспечения постоянной скорости вращения, снижения скорости разгона или получения определенных законов изменения скорости вращения.

В быту и в промышленности широко применяют двигатели средней и большой емкости. Их конструктивное оформление, габариты, масса и электрические параметры весьма разнообразны (рис. 20). Большинство двигателей используют различные типы управляемых источников питания, контроллеры и устройства запуска.

Электродвигатели широко применяются в станках самого различного назначения, их выпускают многие заводы. К примеру, только один ОАО «Сафоновский электромашиностроительный завод» (рис. 21) производит мощные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором мощностью 132–2000 кВт, асинхронные электро-

двигатели с фазным ротором мощностью 110–1000 кВт, синхронные электродвигатели мощностью 132–1000 кВт, синхронные генераторы мощностью 165–1250 кВт, асинхронные взрывозащищенные электродвигатели мощностью 45–250 кВт и др.

Независимо от мощности, двигатели являются нелинейными и инерционными устройствами с десятками механических и электрических параметров, которые необходимо измерять и тестировать в процессе разработки и эксплуатации этих изделий. Для этого и был разработан цифровой осциллограф — анализатор MDA800.

**Применение широтно-импульсной модуляции**

При построении современных преобразовательных устройств широко применяется широтно-импульсная модуляция различных ключевых устройств, выполненных на биполярных и полевых транзисторах (обычно мощных), управляемых тиристорах и силовых интегральных схемах. Все эти приборы в первом приближении можно рассматривать как идеальные ключи, имеющие КПД, близкий к 100% при импульсном управлении. Используя ШИМ с определенным законом модуляции, можно получать от источников напряжения однофазные (рис. 22а) или трехфазные (рис. 22б), а в принципе, даже многофазные напряжения.

Пример применения ключевого регулятора постоянного напряжения для питания двигателя постоянного тока от стандартной трехфазной промышленной сети переменного тока показан на рис. 23. Напряжение сети выпрямляется трехфазным выпрямителем (неуправляемым или управляемым)



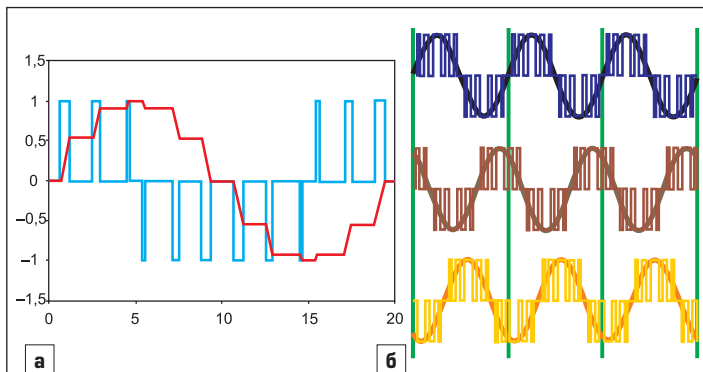
**Рис. 19.** Осциллограф с подключенными пробниками и тестируемыми устройствами



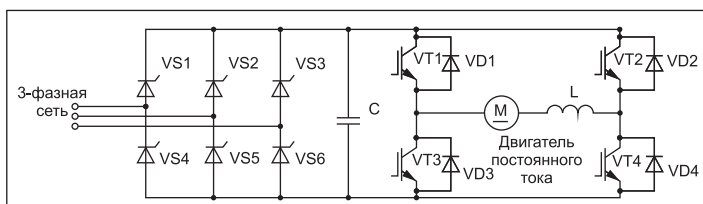
**Рис. 20.** Электродвигатели разного назначения и мощности



**Рис. 21.** В цехе по производству электродвигателей ОАО Сафоновский электромашиностроительный завод»



**Рис. 22.** Диаграмма формирования напряжения с применением ШИМ: а) однофазного; б) трехфазного



**Рис. 23.** Упрощенная схема питания двигателя постоянного тока от трехфазной сети

и подается на управляемый ШИМ мостовой инвертор, который и осуществляет окончательное управление двигателем. При питании от сети постоянного тока выпрямитель, естественно, не нужен.

На рис. 24 приведена упрощенная функциональная схема питания трехфазного электродвигателя переменного тока с произвольными параметрами питания от промышленной трехфазной сети переменного тока с другими параметрами. Для этого напряжение сети преобразуется в постоянный ток с помощью нерегулируемого или регулируемого выпрямителя, а затем посредством моста на управляемых приборах (ключках) преобразуется в трехфазное напряжение питания электродвигателя. Подобные системы преобразования широко применяются в промышленности.

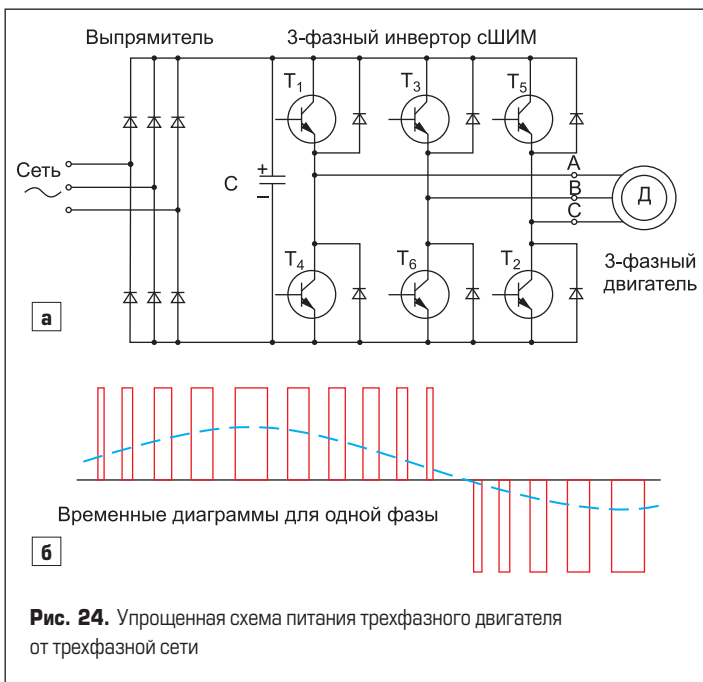


Рис. 24. Упрощенная схема питания трехфазного двигателя от трехфазной сети

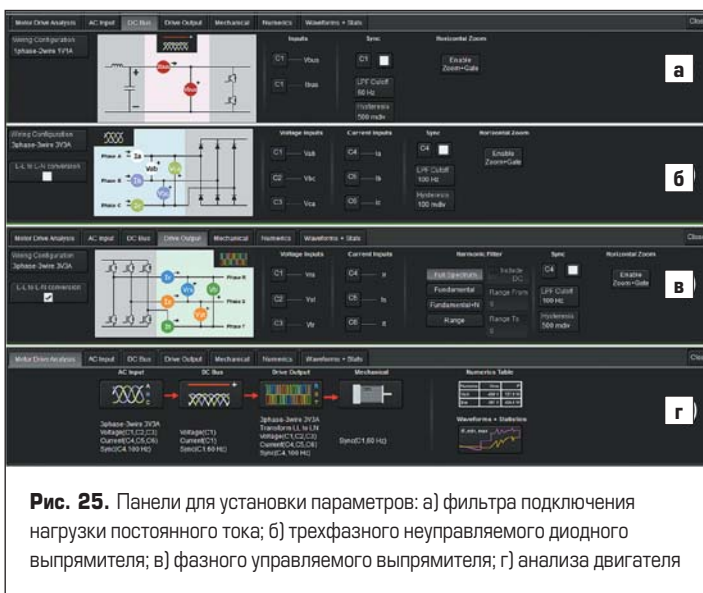


Рис. 25. Панели для установки параметров: а) фильтра подключения нагрузки постоянного тока; б) трехфазного неуправляемого диодного выпрямителя; в) фазного управляемого выпрямителя; г) анализа двигателя

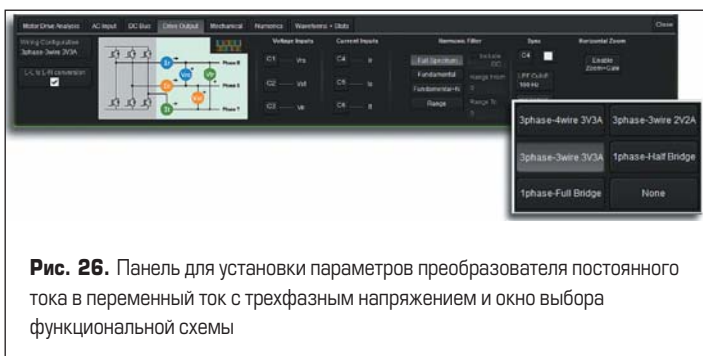


Рис. 26. Панель для установки параметров преобразователя постоянного тока в переменный ток с трехфазным напряжением и окно выбора функциональной схемы

Разумеется, с помощью преобразователей постоянного тока в переменный (однофазный или трехфазный) строятся и системы электропитания двигателей переменного тока. Особенно широко они применяются на транспортных средствах с автономным питанием от аккумуляторных батарей большой емкости, например для электромобилей. Для них очень важны КПД двигателей и их неприхотливость в работе — а у асинхронных двигателей переменного тока они максимальны.

**Специальное программное обеспечение**

При создании осциллографа/анализатора для исследования и тестирования электродвигателей и систем их питания и управления пришлось решать очень много специфических задач, которые не характерны для обычных осциллографов и анализаторов. Сами двигатели, будучи инерционными механическими устройствами, имеют характерные переходные процессы в широчайшем диапазоне времен. С другой стороны, современные ключевые устройства управления ими с ШИМ имеют множество скоростных и импульсных электронных устройств, например ключи, логические и аналоговые микросхемы, микропроцессоры, устройства памяти и др. Их необходимо тестировать вместе с процессами в самих двигателях, причем с учетом характерной для них взаимосвязи. Вот почему основой нового прибора стал 12-разрядный осциллограф высокой четкости и точности с полосой пропускания от 300 МГц до 1 ГГц. В ближайшее время этого будет вполне достаточно для исследования и тестирования даже новейших электродвигателей и приводов.

При разработке прибора нужно было учесть резкое возрастание числа тестируемых параметров, а также потребность в специальном интерфейсе пользователя для их выбора и установки. При решении этой задачи подлинной находкой стало сочетание графического интерфейса пользователя с большим сенсорным экраном. Это позволило значительно упростить и унифицировать работу с прибором, а также уменьшить число органов управления на передней панели прибора.

Для MDA800 было разработано новое программное обеспечение firmware, сохранившее стиль работы и возможности осциллографов высокой четкости и одновременно добавившее в прибор возможность измерений для электротехнических устройств. Дополнительные панели для установки различных параметров и характеристик этих устройств являются виртуальными, они создаются на дисплее по мере необходимости. На рис. 25 показано несколько таких панелей, предназначенных для электротехнических расчетов.

На рис. 26 представлена еще одна панель для установки параметров преобразователя постоянного тока в переменный ток с трехфазным напряжением. С помощью дополнительных виртуальных окон, панелей и опций можно расширить набор средств для установки новых параметров.

Анализатор MDA800 успешно работает с программными системами компьютерной математики, например с электронными таблицами Excel, системами Mathcad и матричными системами MATLAB, с пакетом имитационного математического моделирования Simulink [6]. Его можно устанавливать на жесткий диск встроенного или внешнего компьютера. На задней панели прибора расположены порты для подключения к внешним устройствам — компьютеру, локальной сети, принтеру и другим измерительным приборам. Таким образом, прибор обладает всеми возможностями для работы в современных компьютеризированных системах.

**Исследование переходных процессов с помощью MDA800**

Особое значение при исследовании двигателей любого типа имеет анализ их электрических и механических переходных процессов. Поэтому приборам уделяется большое внимание. На рис. 27 показано окно с осциллограммами различных переходных процессов при включении двигателя от источника с импульсным преобразователем. Эти процессы просматриваются с помощью шести аналоговых входов осциллографа (дескрипторы внизу окна). Хорошо видно возникновение характерной раскачки после плавного разгона двигателя.

Используя функцию Zoom, можно рассмотреть любой участок переходных процессов (рис. 28), и даже на обзорных осциллограммах видно высокочастотное заполнение.

На рис. 29 представлен другой подобный пример — с двумя группами дескрипторов под осциллограммами и таблицей статистики автоматических измерений.

При исследовании двигателей часто приходится использовать режим построения параметрических графиков и диаграмм, а не просто применять обычные осциллографы (где этот режим скорее «экзотика», нежели практическая необходимость). Реализованы новые возможности отображения: 12 режимов XY-отображения, 8 вариантов координатной сетки на экране и т. д. Для выбора типа диаграмм используется специальное окно (рис. 30).

Программное обеспечение осциллографа создано специально для работы с довольно большим сенсорным экраном самого осциллографа и дисплеем компьютера или отдельным внешним монитором. Это позволяет

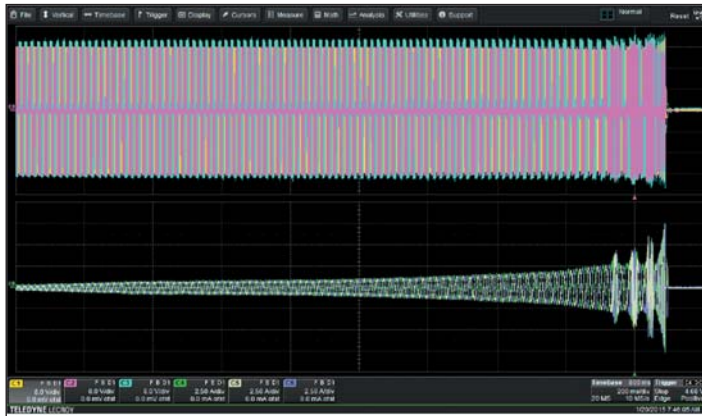


Рис. 27. Осциллограммы переходных процессов с шести аналоговых каналов осциллографа

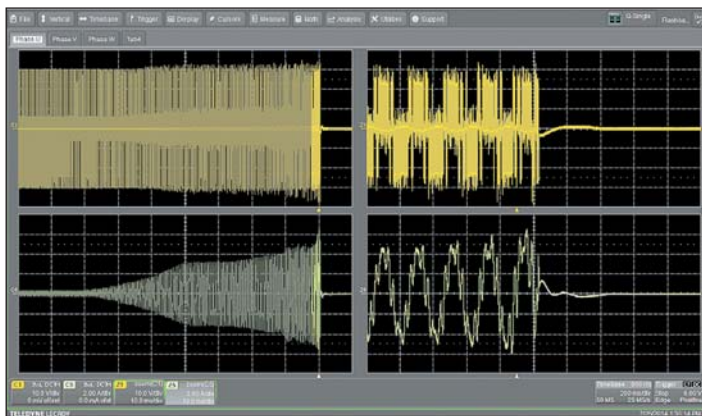


Рис. 28. Окно с переходным процессом с выделением участка нестабильности

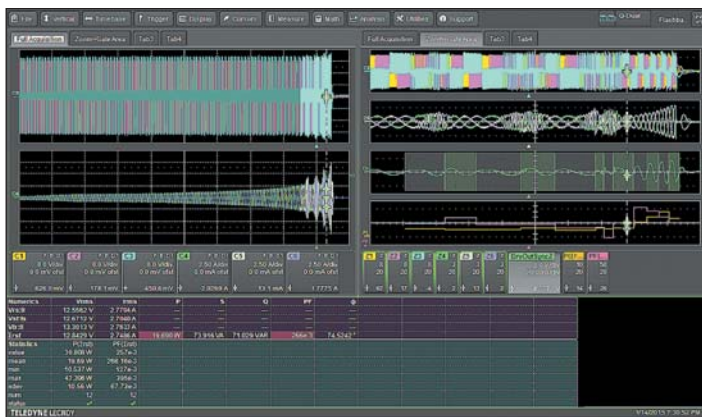


Рис. 29. Окно с осциллограммами нескольких переходных процессов и результатами статистики автоматических измерений

разместить на экране самые различные цифровые и табличные данные, графики, диаграммы, спектры и элементы интерфейса (рис. 31). Зачастую копия такого экрана является исчерпывающим отчетом о результатах исследования и тестирования систем, устройств или компонентов. Есть и специальная функция LabNotebook для подготовки таких отчетов.

Еще одно окно с комбинированными данными анализа показано на рис. 32. При использовании внешнего монитора с высоким



Рис. 30. Окно для выбора графических диаграмм

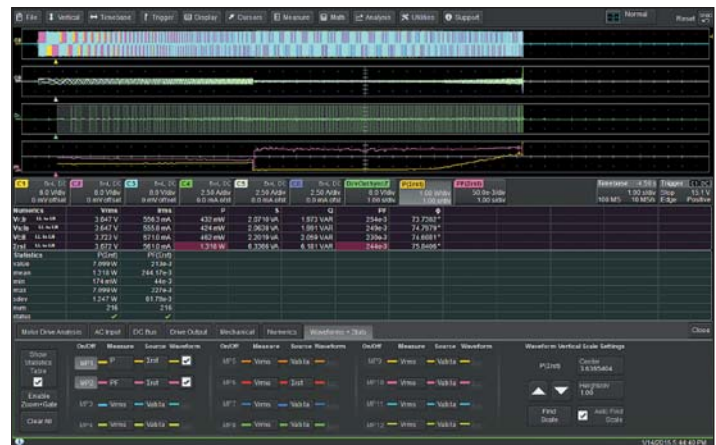


Рис. 31. Окно осциллографа с осциллограммами, таблицами автоматических измерений и панелью для выбора видов и цветов кривых



Рис. 32. Окно с комбинированными данными



разрешением на его экране можно разместить несколько таких окон и вывести до 40 графиков и иных данных.

### Заключение

Осциллографы с повышенной разрядностью дискретизации и высокой четкостью и точностью, впервые предложенные корпорацией LeCroy (ныне Teledyne LeCroy), продолжают интенсивно развиваться. Вслед за легкими и элегантными моделями 2/4-канальных серий 4000 и 6000 появились более мощные 8-канальные модели серии 8000. Начало 2015 г. отмечено выпуском серии 8-канальных осциллографов/анализаторов мощности электродвигателей и приводов для них, которые широко используются в быту, а также в промышленности и в оборонной технике. Новые приборы идеально приспособлены для исследования, тестирования и наладки электротехнических и электронных устройств.

### Литература

1. Дьяконов В. Восьмиканальные осциллографы высокой четкости Teledyne LeCroy HDO8000 для электроэнергетики // Компоненты и технологии. 2014. № 9.
2. Дьяконов В. Осциллографы высокой точности Teledyne LeCroy HDO4000/6000: путешествие по просторам времени // Компоненты и технологии. 2014. № 5.
3. [www.teledynelectoy.com](http://www.teledynelectoy.com). Operator's Manual Motor Drive Analyzer/HDO8000 8-Channel High Definition Oscilloscope. Teledyne LeCroy, Inc.. 2015.
4. [www.teledynelectoy.com](http://www.teledynelectoy.com). Instruction Manual Motor Drive Analyzer Software. Teledyne LeCroy, Inc.. 2015.
5. Чаплыгин Е. Е. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией. — М.: МЭИ, 2009.
6. Дьяконов В. П., Пеньков А. А. MATLAB и SIMULINK в электроэнергетике: Справочник. — М.: Горячая линия – Телеком, 2009.