

ЛОГИЧЕСКИЕ АНАЛИЗАТОРЫ – ЦИФРОВЫЕ ДЕТЕКТИВЫ

Логические анализаторы (ЛА) предназначены для отладки и диагностирования сложных цифровых устройств, в частности микропроцессорных систем. В задачу ЛА входят фиксация последовательностей цифровых сигналов, их визуализация и анализ. При этом они предоставляют больше информации, чем можно увидеть на экране. Ключ к полному использованию возможностей ЛА – правильная его конфигурация. Нужно выбрать режим анализа, подсоединить ЛА к выводам сигнала, установить пусковые механизмы – и ЛА готов проследить аппаратные и программные дефекты. Модульное построение ЛА позволяет подбирать конфигурацию, необходимую для конкретной работы, наращивать производительность и расширять возможности. Большинство современных моделей ЛА имеют дружелюбный интерфейс с пользователем – подсказки, освобождающие оператора от части рутины, удобная форма отображения полученной информации на дисплее. Основные принципы построения и работы ЛА можно считать неизменными, однако различные компании имеют свои взгляды на состав и особенности ЛА, как, например, ведущие в этой области американские фирмы Agilent Technologies и Tektronix, создающие наиболее совершенные образцы семейства ЛА.

Повсеместное внедрение цифровой техники в самых различных областях человеческой деятельности неизбежно ведет к увеличению и парка, и интенсивности использования таких сравнительно новых для отечественной практики контрольно-измерительных приборов, как ЛА. При выявлении неисправностей в цифровой цепи необходимо максимально точно выяснять реальную форму сигналов (их амплитудные и временные характеристики), структуру импульсных последовательностей и циклы шин обмена информацией. И именно логические анализаторы позволяют проводить полный анализ формы и временные параметров цифровых сигналов, измерять частоту, период, длительность импульсов, контролировать каналы передачи данных, осуществлять отладку ПО. В главном окне ЛА можно наблюдать весь процесс по приобретению данных и управлять им – запустить и остановить процесс, просмотреть временную диаграмму, изменить масштаб, измерить временной интервал и т.д.

Э.Рувинова

Поскольку средства тестирования и отладки необходимы не только разработчику, но и любому пользователю, интерфейс ЛА приобрел дружелюбный вид, а сами приборы выпускаются для широкого круга задач, что увеличивает их функциональные возможности и число настроек.

ЛА характеризуются числом каналов, емкостью памяти на канал, частотой записи, способами синхронизации и запуска, формами представления данных. Для определения значения сигнала используется компаратор, определяющий, выше или ниже заданного порогового уровня входной сигнал. Пороговое напряжение компараторов, как правило, регулируется в основном от -10 до $+10$ В.

Для доступа к цифровому устройству ЛА снабжаются зондами (щупами, пробниками) и зажимами. Основное к ним требование – минимизация влияния на исследуемое устройство. Для обеспечения этого компараторы делаются выносными.

Запись информации происходит по тактовым сигналам. Если сигналы тактовой частоты поступают от внутреннего генератора логического анализатора независимо от испытуемого объекта, такой режим записи данных называется асинхронным. Если для синхронизации работы ЛА используются сигналы испытуемого объекта, – это синхронный режим записи данных.

По функциональному назначению в соответствии с сегодняшними требованиями ЛА можно разделить на два типа.

- *Анализаторы логических состояний.* Отсутствие явной причинно-следственной связи между неисправностью и следствием, причем следствие часто появляется много позже, чем неисправность. Главные требования для таких ЛА – наличие разнообразных сложных механизмов запуска, позволяющих отследить причину и следствие, и большие объемы памяти, необходимые для этого. Основную задачу таких ЛА составляет фиксация логических состояний на шинах испытуемого микропроцессора с частотой, соответствующей его рабочей частоте. Информация индицируется в виде нулей и единиц: единица – если уровень превосходит установленный порог в течение периода проверки данных; нуль – если он падает ниже этого порога. Здесь целесообразен синхронный режим, т.е. когда выборка ЛА синхронизирована с внешним тактовым сигналом. ЛА снабжены различными средствами для упрощения индикации – такими, как именные сигналы, именные группы сигналов и цветные кодированные выводы. Очень важна способность ЛА комбинировать сигналы в группы.
- *Анализаторы временных соотношений.* Тесная причинно-следственная связь и хронологическая зависимость между событием и следствием. Для таких ЛА характерен небольшой объем памяти, однако анализ временных соотношений требует более высокой частоты опроса. Здесь чаще всего необходим асинхронный ре-

жим, позволяющий отследить временные сдвиги сигналов. Внутренний генератор тактовых импульсов создает ось времени и управляет выборкой. При этом тактовая частота должна устанавливаться такой, чтобы интервал между тактовыми импульсами был по крайней мере в пять раз меньше, чем самое короткое временное изменение, которое требуется точно измерить. В этом режиме ЛА действует точно, как цифровой осциллограф с разрешением 1 бит. Однако в противоположность осциллографу представленные формы сигналов показывают только два уровня (1 или 0) в любой период тактовых сигналов. Когда напряжение входного сигнала поднимается выше установленного предела, ЛА индицирует фронт прямоугольного колебания; когда входной сигнал падает ниже порога, ЛА индицирует срез (задний фронт). Способы запуска таких ЛА не отличаются большим разнообразием, часто ограничиваясь запуском по какому-либо событию. Как и при анализе состояний, можно объединять отдельные сигналы в группы и давать им имя.

Большинство ЛА сочетают в себе два прибора – анализатор состояний и анализатор временных соотношений, т.е. ЛА обеспечивают два видения работы цифровых устройств.

ЛА различаются по способам их запуска. Основная функция запуска – оставить в памяти данные, которые полностью описывают событие, определяемое в условиях запуска. Запуск срабатывает только после сбора необходимого объема информации, предшествующего запускающему событию. Механизм запуска также может использоваться для подсчета событий, для выборочной записи информации или для ее отображения в реальном времени. Способы запуска зависят от того, для какой задачи используется ЛА. Если в системе анализируются логические уровни и их временные соотношения, то и условия должны содержать набор состояний входов и выходов, временные соотношения между ними, времена существования набора состояний. Если производится отладка и тестирование микропроцессорных систем, то условие срабатывания должно содержать наборы команд, данных или их сочетания, а также временные соотношения между ними.

Самый простой способ запуска – по кодовому слову (по комбинации значений сигналов). Для борьбы с перемежающимися неисправностями в цифровых системах в некоторых ЛА предусмотрен запуск по несовпадению. Для задания более сложного запуска может применяться комбинация этих вариантов. Существует запуск по помехе: когда возникает помеха, ЛА срабатывает и помеха выводится на экран. Производится запуск и по нарушению наиболее критичных параметров – времени установки сигнала и его удержания. Нарушения определяются, если переключения сигналов находятся в пределах интервала, определенного пользователем.

Взаимосвязь между механизмом запуска ЛА и его ЗУ функционально такая же, как и в цифровом запоминающем осциллографе. ЗУ логического анализатора аналогично кольцевому буферу. С началом сбора данных ЛА непрерывно накапливает выборки данных в ЗУ. По заполнении ЗУ циклически возвращается к началу и запоминает каждую новую выборку на месте той, что была в ЗУ дольше всех. Этот процесс продолжается до тех пор, пока ЛА не остановится в точке, устанавливаемой пользователем.

Для визуализации собранной информации используются самые современные средства – мониторы с высоким разрешением и глубиной цвета, позволяющие реализовать отображение в графическом режиме, многооконный интерфейс, упрощающий настройку прибора и визуализацию информации, манипуляторы "мышь".

Наиболее распространенная форма представления данных – временные диаграммы и таблицы состояний. При этом упрощают

работу с данными маркер запуска, индицирующий момент запуска; масштабирование по осям; курсор. Данные в таблице состояний могут воспроизводиться в различных кодах (двоичном, шестнадцатеричном, ASCII и т.д.). Профессиональные ЛА предоставляют возможность коррелировать во времени анализ состояний и анализ временных соотношений и показывать это на экране. Часто используются гистограммы.

При отображении и просмотре информации как правило можно осуществлять ее фильтрацию при выводе, поиск, сравнение, назначение закладок и меток, расчет временных интервалов между указанными точками и т.д.

Для полноценного диагностирования закрытого цифрового устройства бывает необходимо не только собирать информацию, но и подавать на его вход некоторое воздействие в виде последовательностей цифровых сигналов. Для этого используются генераторы тестовых или кодовых последовательностей (генераторы слов, стимулов или логических сигналов) – приборы, предназначенные для формирования и подачи входных воздействий на диагностируемую систему. Они должны иметь большое число каналов, формирователи входных воздействий, а также объем памяти, достаточный для записи тестовых последовательностей, высокую частоту подачи воздействий, соответствующую частоте работы тестируемого устройства, возможность регулировать частоту.

Функционирование ЛА совместно с генератором тестовых последовательностей позволяет строить комплексные системы диагностирования. При этом ЛА реализует сбор и предварительный анализ состояний цифровых устройств, с помощью генератора логических сигналов имитируется исследуемое устройство с различной логикой работы.

ЛА СЕРИИ 16700 ФИРМЫ AGILENT TECHNOLOGIES

Отладка современных цифровых устройств постоянно усложняется. Возросшие требования к продукции, сложное ПО, инновационные технологии аппаратных средств затрудняют своевременную поставку адекватной контрольно-измерительной аппаратуры на рынок.

Логические анализаторы серии 16700 (рис.1) обеспечивают простоту и производительность, необходимые для покорения сложных цифровых устройств, благодаря объединению в одной интегрированной системе анализа состояний/временных соотношений, осциллографов, генераторов тестовых последовательностей, средств фиксации информации после обработки, средств эмуляции. Модульная конструкция ЛА позволяет расширять его возможности по мере необходимости.

Как и все ЛА, приборы этой серии выполняют три основных задачи: зондирование диагностируемого устройства – физическое и



Рис.1. Общий вид ЛА серии 16700 фирмы Agilent Technologies



Рис.2. Центральный блок обработки данных. Дисплей ЛА модели 1670B

электрическое соединение с исследуемым узлом; сбор данных – фиксация данных и управление процессором; анализ данных – в форме, наиболее подходящей для быстрой отладки.

Центральный блок обработки данных. Сенсорный экран облегчает наблюдение огромного числа форм сигналов или состояний (рис.2).

Основные характеристики блока обработки:

Внешнее ЗУ	
жесткий диск	9 Гбайт
гибкий диск	1,44 Гбайт
Внутреннее ЗУ системы	128 Мбайт
Разрешение монитора	от 640x480 до 1280x1024 пикселей
Протоколы	TCP/IP, NFC, CIFS (Windows 95/98/NT)
Разрешение временной коррекции на межмодульной шине	2 нс
Число сигналов на порте управления объектом	8
Использование дистанционного программирования	производственный контроль, сбор данных для автономного анализа, проверка системы, анализ на "годен/негоден", контроль отклика на стимулы

Средства сбора данных и их анализа эффективны настолько, насколько эффективен физический и электрический интерфейс с исследуемой системой. Точные измерения начинаются с надежного **зондирования**. При выборе наилучшего метода зондирования необходимо принимать во внимание число сигналов, которые зондируются, конструкцию соединений с самим печатным узлом исследуемой системы, способ присоединения, тип корпуса соединителя, шаг между контактами, число контактов.

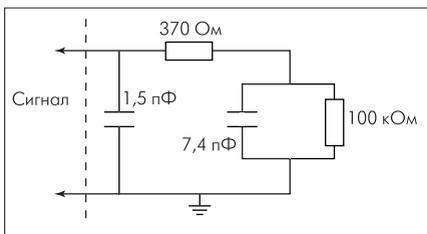


Рис.3. Эквивалентная схема зонда для ЛА серии 16700 фирмы Agilent Technologies

Зонд общего назначения имеет минимальный размах напряжения 500 мВ, максимальное входное напряжение +40 В. Его эквивалентная схема приведена на рис.3.

Сбор данных и тестовые стимулы

Модули анализа состояния/временных соотношений. Выбор этих модулей требует рассмотрения факторов работы, стоимости и объема информации, которую необходимо зафиксировать.

При анализе логических состояний используется тактовый сигнал от исследуемого устройства, определяющий начало проведения выборки. Поскольку выборки анализа состояний синхронны с исследуемым устройством, они обеспечивают наблюдение выполнения устройством своих функций.

Во временном анализе используется внутренний тактовый сигнал. Поскольку выборки в этом случае асинхронны с исследуемым устройством, следует определять необходимую для его контроля точность. Она складывается из двух элементов – скорости выборки и расфазировки между каналами.

Наиболее важные аспекты этих модулей ЛА – глубина памяти и запуск. Основные характеристики модулей состояния/временных соотношений:

Глубина памяти	до 128 Мвыборок
Скорость анализа состояний	до 1,5 Гбит/с
Минимальная длительность тактового импульса	3,5 нс
Максимальное время между состояниями	34 с
Быстродействие при временном анализе	до 2 ГГц
Расфазировка между каналами	2 нс
Максимальное число каналов	340

Осциллографические модули. При интеграции в ЛА серии 16700 осциллографические модули делают измерения и анализ более доступными, так что время поиска неисправности сокращается. Часто неисправность обнаруживается в одной области измерения, в то

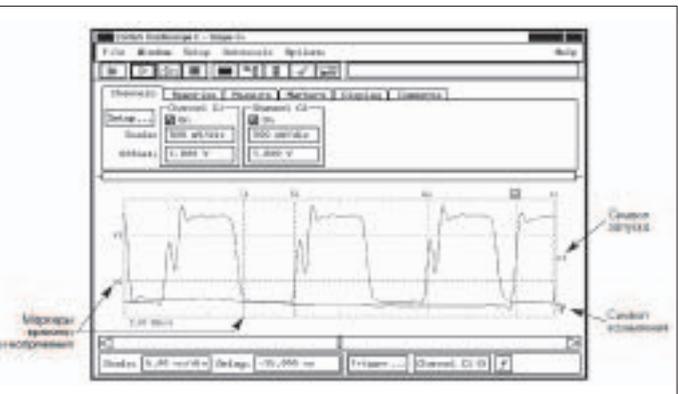


Рис.4. Настройки осциллографического модуля ЛА серии 16700

время как причина ее находится в другой. На рис.4 видны одновременно все основные элементы настройки осциллографа, упрощающие его работу. Так, маркеры времени и напряжения позволяют точно измерять детали сигнала. Основные характеристики осциллографического модуля 16534A:

Полоса пропускания	500 МГц
Входное сопротивление	2 МОм
Максимальное входное напряжение	±250 В постоянного тока
Максимальная скорость выборки	2 Гвыборок/с
Максимальное число каналов	до 20
Разрешение по вертикали	8 бит
Временное разрешение по горизонтали	10 пс

Модули генерации тестовых стимулов. В ЛА сочетаются возможности генерации тестовых стимулов и получения откликов на них. Так, генератор стимулов моделирует тестовые последовательности и затем подает сигнал, означающий, что модули анализа состояний и временных соотношений могут начать измерения. Осциллографи-



ческий модуль способен помочь в локализации источника временных несоответствий или в поиске причин изменений сигнала – шума, затухания, выбросов, перекрестных помех или одновременной коммутации. Переходные приставки генератора тестовых стимулов могут непосредственно подсоединяться к стандартным соединителям на исследуемом устройстве. Основные характеристики модуля генерации тестовых стимулов 16720A:

Максимальная тактовая частота	180 МГц
Число выходных каналов	48
Максимальная глубина памяти	16 Мвекторов
Максимальное число модулей в ЛА	5
Максимальный размер вектора при пяти модулях	240 бит

Анализ данных

После сбора данных проводится быстрое усиление целостности данных на дисплее, чтобы обеспечить представление работы системы. Для этого к ЛА прилагаются дополнительные прикладные программы.

Относясь к логическим анализаторам высшего уровня, приборы серии 16700 и стоят в пределах от 10 тыс. до 30 тыс. долл.

ЛА СЕРИИ TLA 700 ФИРМЫ TEKTRONIX

Задача анализа цифровых сигналов, с одной стороны, упрощается за счет предопределенности формы идеального элемента сигнала – прямоугольного импульса или фронта, а с другой – усложняется большим объемом предназначенной для анализа информации и высокими требованиями к синхронизации двух процессов: сбора данных измерительным прибором и работы тестируемого устройства.

ЛА серии TLA 700 (рис.5) характеризуются использованием развитых схем синхронизации, позволяющих рассмотреть логическое состояние с разных моментов синхронизации, а также большими объемами памяти, поскольку в современных микропроцессорных



Рис.5. Общий вид ЛА серии TLA 700

системах причина отказа и его проявление зачастую разделены во времени. Схемы синхронизации объединены с набором библиотечных схем, которые можно адаптировать к реальным потребностям пользователя. Это новое семейство ЛА, которое содержит цветные портативные и настольные базовые блоки обработки, модули ЛА и модули цифровых запоминающих осциллографов.

Разработанные фирмой Tektronix ЛА серии TLA 700 представляют собой новый вид логических анализаторов, которые удовлетворяют требованиям современных и перспективных микропроцес-

сорных систем. Специфику этих приборов определяет уникальная асинхронная цифровая система сбора данных MagniVu, которая обеспечивает более быстрый сбор информации по сотням каналов с глубокой памятью. Каждый модуль системы задает временное разрешение по всем каналам в 500 пс. Эта технология, кроме того, сильно расширяет возможности ЛА в отладке и проверке устройств.

Логический анализатор TLA 700 проводит одновременный анализ логических состояний и временных параметров с помощью одного зонда, что экономит время, улучшает рабочие параметры и упрощает пользование прибором. В основе конструкции пробников лежат технологические разработки осциллографических пробников для ВЧ-измерений слабых сигналов. Они содержат предпроцессоры для интеллектуального сбора информации. Собственный процессор пробника и его ПО проводят при этом вспомогательное моделирование работы тестируемого объекта для управления процессом сбора данных. Это новый шаг в разработке щупов. Имея высокую плотность (так что при работе с микропроцессором Pentium требуется сборка только из четырех щупов), они вносят паразитную емкость на уровне 2 пФ. Основные характеристики ЛА серии TLA 700:

Тактовая частота при временном анализе	2 ГГц
Тактовая частота при анализе состояний	100–200 МГц
Число каналов на модуль	34–136
Глубина памяти на канал	до 512 К
ОС Windows 95 делает TLA 700 полностью совместимым с сетями и принтерами.	

Последним достижением фирмы Tektronix, которое она анонсировала в апреле 2002 года, явились модули TLA7Axх на SiGe для ЛА наивысшего быстродействия. Они осуществляют временной анализ с тактовой частотой 8 ГГц одновременно с анализом состояний на тактовой частоте от 120 до 800 МГц. Возможны конфигурации ЛА с 34, 68, 102 и 136 каналами. Для такого ЛА характерна глубина памяти 256 Мбит.

Стоимость приборов серии TLA 700, представляющих высшее достижение в этой области, от 10 тыс. до 50 тыс. долл.

www.e-insite.net/tmworld/

www.cta.ru/

www.ednmag.com/

www.agilent.com/find/LAsystems

www.tek.com/Measurement/logic_analyzers/

www.evaluationengineering.com/products/050203.htm

Контрольно-измерительные приборы и системы, 1998, декабрь, с.23–26.