

# ТЕСТИРОВАНИЕ МАТРИЦЫ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ СКАНЕРОВ ПРИ ПОМОЩИ ИСТОЧНИКОВ-ИЗМЕРИТЕЛЕЙ 2602В ИЛИ 2606В И ГРАФИЧЕСКОГО СЭМПЛИРУЮЩЕГО МУЛЬТИМЕТРА DMM7510

## LASER DIODE ARRAY TEST FOR 3D SENSING WITH A 2602B OR 2606B SYSTEM SOURCEMETER® INSTRUMENT AND DMM7510 GRAPHICAL SAMPLING DMM

### ВВЕДЕНИЕ

Потребность в измерении расстояния и скорости в трёхмерном пространстве стала насущной необходимостью во многих приложениях – от автономного вождения в автомобильной промышленности, дополненной реальности в играх и бытовых приборах до интерфейсов оператора и роботизированных устройств в промышленной автоматике. Для получения информации о глубине в трёхмерных приложениях широко применяются полупроводниковые лазеры с вертикальным резонатором и поверхностным излучением (VCSEL). Например, метод времени пролёта (TOF) основан на измерении времени прохождения одиночного лазерного импульса

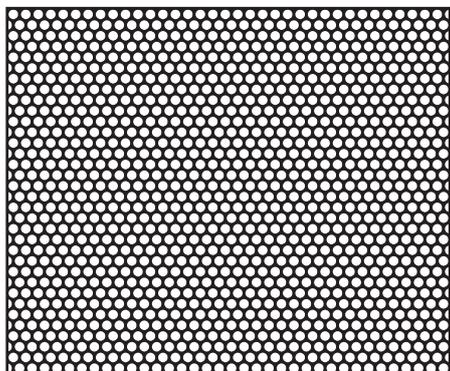


Рис. 1. Пример двумерной матрицы VCSEL

или последовательности импульсов от облучателя до объекта и обратно в фокальную плоскость. Этот метод позволяет получить полную пространственную и временную информацию, необходимую для построения объёмного изображения. Возможно даже динамическое распознавание жестов с применением непрерывно подаваемых импульсов в реальном масштабе времени.

### ЛАЗЕРЫ VCSEL ДЛЯ ТРЕХМЕРНЫХ СКАНЕРОВ

Существуют два распространённых метода трёхмерного сканирования. Первый метод, называемый методом структурированной подсветки, использует для расчёта глубины лазерную триангуляцию по сигналам облучателя и приёмника. Кроме того,

## Tektronix

для расчёта глубины с помощью стандартной двумерной камеры этот метод может комбинировать проекцию оптического изображения с отражённым, но искажённым оптическим изображением. Другой метод, получивший название TOF, оценивает задержку от

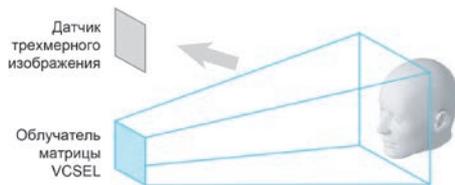


Рис. 2. Измерение TOF с помощью матричного массива

излучения света до его обнаружения. Камера TOF опирается в своей работе на два принципа. Непрерывное модулированное световое излучение используется для определения разности фаз между излучённым и принятым синусоидальным сигналом для вычисления времени прохождения и, тем самым, косвенного определения расстояния. Импульс света используется для непосредственного измерения времени прохождения от устройства до объекта и обратно. Кроме того, импульс света от одного облучателя VCSEL может использоваться для сканирования в двух направлениях. Одним из наиболее передовых приборов, использующих этот принцип, является камера TOF на основе матричного массива, которая измеряет глубину по одному снимку с помощью матричного датчика трёхмерного изображения.

### ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПЯЖЕНИЯ МАТРИЦЫ VCSEL

Радиус действия облучателя прямо пропорционален мощности источника света. Один VCSEL может излучать всего лишь

несколько милливатт, но матрица излучателей VCSEL, содержащая сотни VCSEL на квадратный миллиметр, может излучать свет мощностью несколько ватт и освещать значительно большие пространства. Матрицы VCSEL, используемые в трёхмерных сканерах, обладают достаточной мощностью для расширения радиуса действия до нескольких сотен метров.

Матрицу VCSEL можно создать, объединив параллельно несколько тысяч одновременно работающих излучателей. Помимо этого, излучатели можно объединить в адресуемые группы или банки, которые можно включать и выключать индивидуально. Кроме того, некоторые группы могут иметь отдельные контакты, позволяющие управлять ими независимо или синхронно. Для управления группами применяются серии синхронизированных импульсов тока. Во время кратковременного включения группы выполняется точный замер напряжения по вершине импульса. Для дальнейшего анализа, в зависимости от измеренной величины напряжения, может потребоваться дополнительное измерение температуры и тока фотодиода. Кроме того, с помощью анализатора

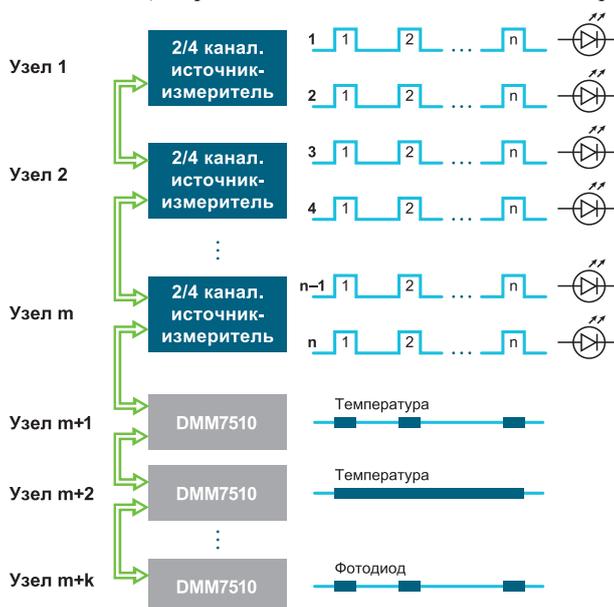


Рис. 3. Тест матрицы VCSEL с помощью нескольких источников-измерителей и мультиметров, объединённых через канал TSP-Link

спектра или спектрометра выполняется мониторинг спектра оптической мощности.

**СЦЕНАРИЙ ОБРАБОТКИ**

Приборы со встроенным процессором сценариев тестирования (TSP) компании Keithley идеально подходят для подачи сложных сигналов и выполнения описанных выше измерений, в то же время обеспечивая максимальную производительность в

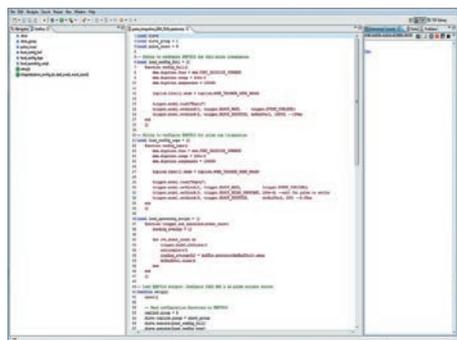


Рис. 4. Среда разработки Test Script Builder (TSB)

условиях производства. Например, источники-измерители (SMU) 2602B или 2606B можно использовать в качестве быстродействующих прецизионных генераторов импульсов тока для синхронного возбуждения лазерных диодов и измерения прямого падения напряжения. Несколько цифровых мультиметров можно точно засинхронизировать с задержкой менее 1 мкс для измерения температуры (путём измерения сопротивления встроенных в матрицу VCSEL терморезисторов) и оптической мощности (путём измерения тока светодиода).

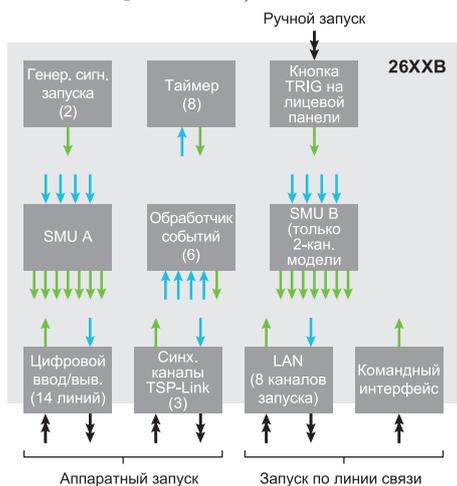


Рис. 5. Система запуска источника-измерителя серии Keithley 2600B

Основное преимущество применения с этой целью источников-измерителей заключается в том, что они оборудованы встроенным процессором сценариев тестирования. TSP позволяет гибко управлять испытательными последовательностями, поддерживая условные ветвления типа if..then, do..while, расширенные вычисления,

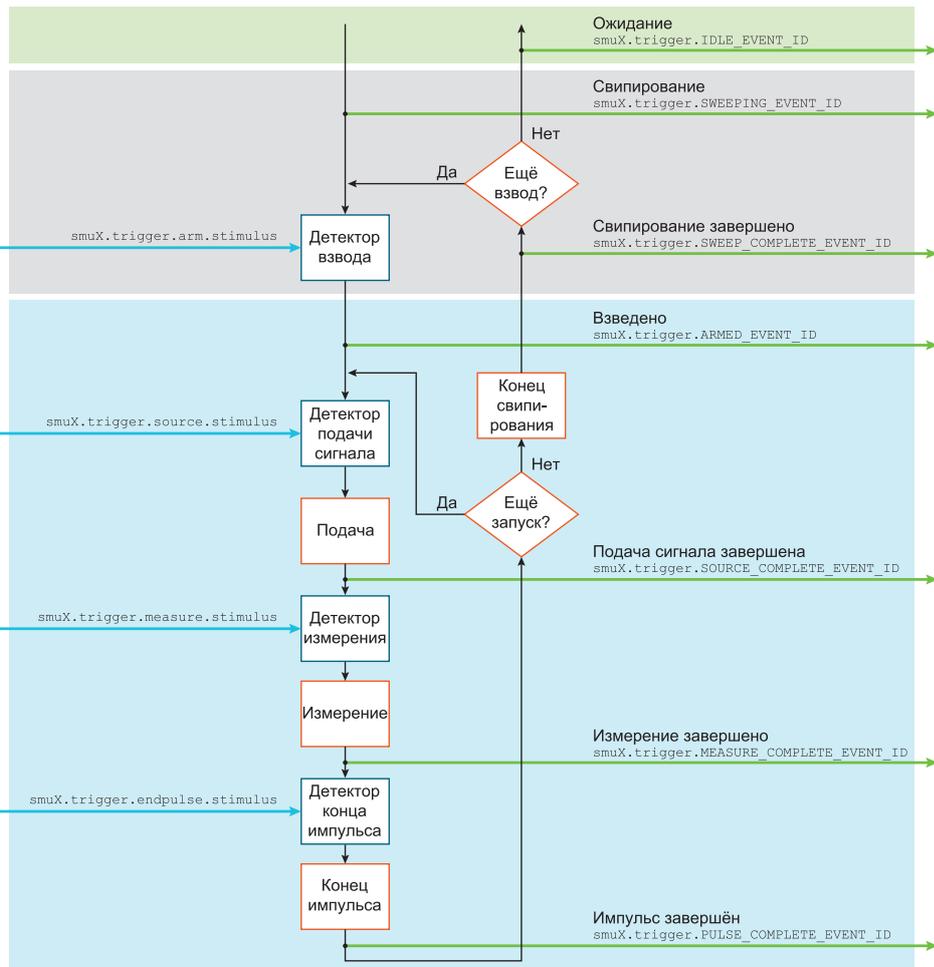


Рис. 6. Алгоритм работы модели синхронизации запуска источника-измерителя Keithley серии 2600B

принятие решений «годен/не годен», создание пользовательских функций и точное взаимодействие с другими приборами, пробниками и устройствами управления через цифровые каналы ввода/вывода, каналы синхронизации TSP-Link и т. п. Это существенно снижает объём информации, передаваемой между ПК и прибором по внешним интерфейсам, таким как GPIB, LAN или USB. В результате снижается загрузка системы и существенно повышается пропускная спо-

собность производственных линий. Используя мощные возможности TSP и канала TSP-Link, сви́перирующие измерения тока и напряжения лазеров (LIV) можно выполнять с аппаратными скоростями, не зависящими от быстродействия ПК и каналов связи.

Показанная на рисунке 4 среда разработки Keithley Test Script Builder позволяет исполнять код TSP на приборе, включая проверку работы программы и выходных сигналов. Такой подход к проектированию позволяет

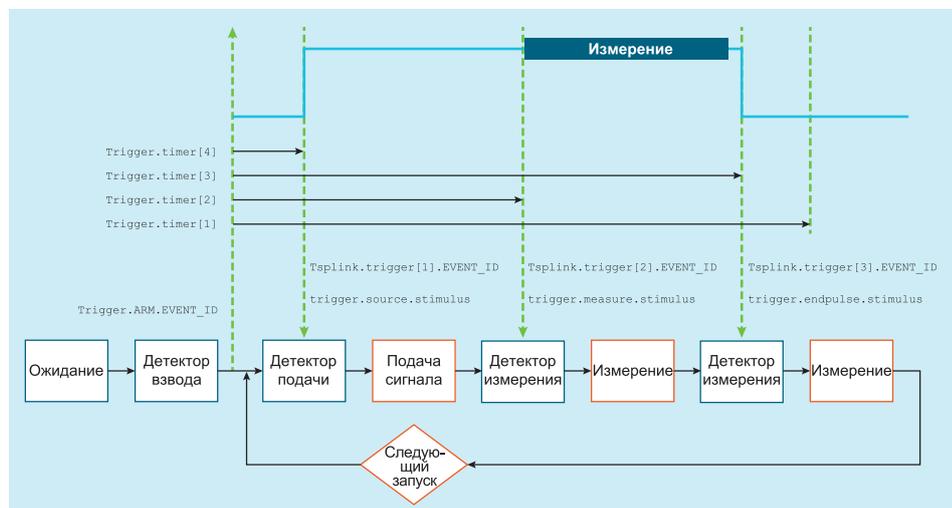


Рис. 7. Реализация LIV-сви́пирования с помощью модели синхронизации запуска Keithley 2602B и 2606B

проверять отдельные блоки программного кода до переноса их в другие испытательные среды, такие как VB.NET, LabVIEW® и т. п.

Кроме того, каждый прибор оснащен встроенным буфером данных для хранения результатов измерений. По завершении теста сохранённые в буфере результаты можно передать в ПК для последующего анализа.

Ещё одним интерфейсом, который можно использовать для синхронизации

программный формирователь команд запуска.

Запускаемые устройства, например, таймеры, можно использовать для определения периода следования импульсов, длительности импульса и измерения задержки с помощью единой точки отсчета времени. Три аппаратных канала запуска TSP-Link синхронизируют время начала импульса, время окончания импульса и начало измерения, а также соединенные последовательно приборы всей системы с точностью до нескольких сотен наносекунд.

Ручной запуск

На рисунке 6 показана модель синхронизации запуска, применённая для свипирующих LIV-измерений матрицы VCSEL с помощью источника-измерителя серии 2600B. Точный контроль длительности импульса, периода следования импульсов и задержки измерения легко реализуется с помощью комбинации таймеров и связи с другими приборами через каналы запуска TSP-Link.

Сценарий TSP, описывающий модель синхронизации запуска, показанную на рисунке 7.

```
-- Настройка ожидания
smua.source.output = smua.OUTPUT _ OFF
smua.source.func = smua.OUTPUT _ DCAMPS
smua.source.rangei = 123-3
smua.source.limits = 1
```

```
-- Настройка импульса
smua.trigger.source.listi({40e-3})
smua.trigger.source.action = smua.ENABLE
smua.trigger.endpulse.action = smua.SOURCE _ IDLE
smua.trigger.arm.count = 1
smua.trigger.arm.stimulus = 0
smua.trigger.count = pulse _ count
```

```
-- Настройка задержки конца импульса
trigger.timer[1].reset()
trigger.timer[1].delay = 5.67e-3
trigger.timer[1].count = 1
trigger.timer[1].stimulus = smua.trigger.SOURCE _ COMPLETE _ EVENT _ ID
smua.trigger.endpulse.stimulus = trigger.timer[1].EVENT _ ID
```

**СИСТЕМА ЗАПУСКА DMM7510**

Keithley DMM7510 представляет собой TSP-совместимый прибор, который легко интегрируется с источниками-измерителями 2602B и 2606B через TSP-Link и обеспечивает синхронизацию с точностью до 1 мкс в пределах всей системы. Система запуска DMM7510 очень похожа на систему запуска 2602B и 2606B и состоит из восьми генераторов сигнала запуска, четырёх таймеров, одной кнопки ручного запуска на лицевой панели, двух обработчиков событий, шести аппаратных линий запуска (цифровой ввод/вывод), трёх аппаратных каналов запуска TSP-Link, одного канала запуска Trigger Link VMC, восьми

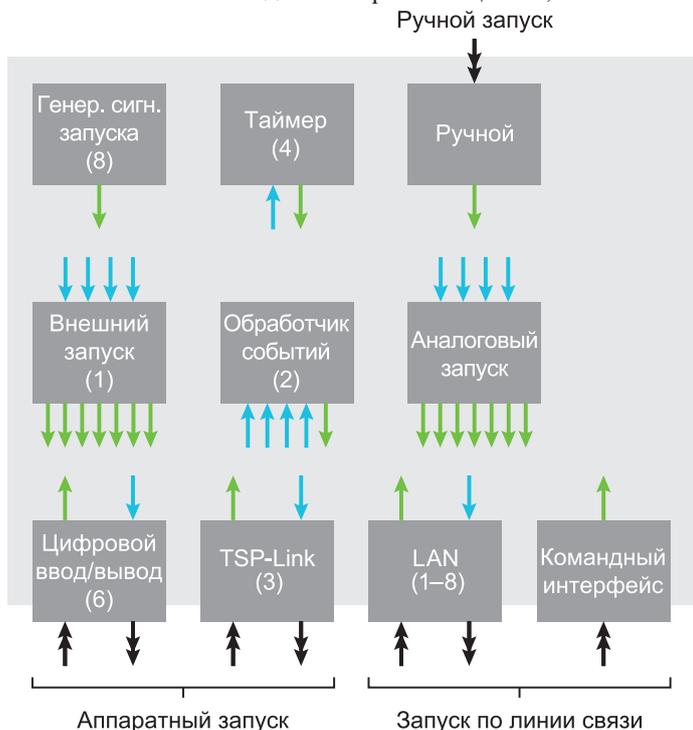


Рис. 8. Система запуска Keithley DMM7510

ции испытательной последовательности, является интерфейс Trigger Link. Если измеритель и коммутатор соединены кабелем Trigger Link, они могут взаимосинхронизоваться, повышая тем самым скорость исполнения теста. Благодаря этой встроенной шине большинством системных функций можно управлять без прямого участия компьютера. При правильной настройке Trigger Link компьютер занимается только инициализацией теста и получением данных от системы.

**СИСТЕМА ЗАПУСКА ПРИБОРОВ KEITHLEY СЕРИИ 2600B**

Система запуска источников-измерителей серии Keithley 2600B обладает мощным набором функций, позволяющим синхронизировать подачу нескольких импульсов с измерением напряжения и тока. Показанная на рисунке 5 система демонстрирует все элементы системы запуска 2600B SMU, которые включают два генератора сигналов запуска, восемь таймеров, одну кнопку ручного запуска на лицевой панели, шесть обработчиков событий, 14 аппаратных линий запуска (цифровой ввод/вывод), три аппаратных канала запуска TSP-Link, пять каналов запуска LAN и

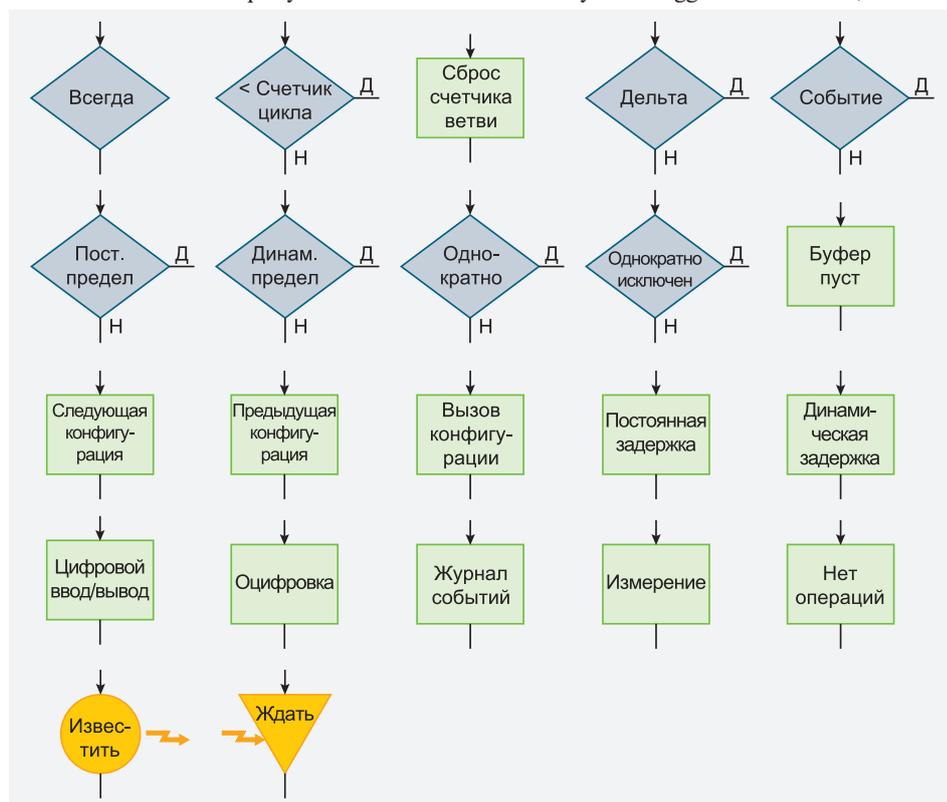


Рис. 9. Блоки для создания модели запуска DMM7510

каналов запуска LAN, программного формирователя команд запуска и аналоговой схемы запуска (рисунок 8).

Мультиметр DMM7510 не имеет фиксированной модели запуска, аналогичной той, что показана на рисунке 6 для источников-измерителей серии 2600В. Однако он предлагает возможность создания любой модели запуска для любой испытательной последовательности. На рисунке 9 приведён полный перечень блоков, который можно использовать для построения модели запуска, включая цикл, детектор событий (WAIT), измерение (ACTION), задержку (DELAY) и т. п.

Модель запуска, определённая фрагментом сценария TSP, создаётся для каждого DMM7510, показанного на рисунке 3. Каждый DMM7510 ждёт появления синхроимпульса от соответствующего SMU, в ответ на который запускает измерение температуры, запускаемых по таймеру, по сети или по аппаратным цифровым сигналам ввода/вывода. Алгоритм, соответствующий этой модели запуска, показан на рисунке 10.

Следующий фрагмент сценария TSP демонстрирует модель запуска, созданную для выполнения измерений температуры, запускаемых по таймеру, по сети или по аппаратным цифровым сигналам ввода/вывода. Алгоритм, соответствующий этой модели запуска, показан на рисунке 10.

```
function NTC _ Test(NTCRange,MeasTime,MeasInterval, NPLC)
```

```
MeasCounts = math.ceil(MeasTime/MeasInterval) + 1
```

```
dmm.measure.range = NTCRange  
dmm.measure.nplc = NPLC
```

```
trigger.timer[1].reset()  
trigger.timer[1].delay = MeasInterval  
trigger.timer[1].start.stimulus = trigger.EVENT _  
NOTIFY1  
trigger.timer[1].start.generate = trigger.OFF  
trigger.timer[1].enable = trigger.ON
```

```
trigger.model.setblock(1, trigger.BLOCK _ BUFFER _  
CLEAR, defbuffer1)  
trigger.model.setblock(2, trigger.BLOCK _ WAIT,  
trigger.EVENT _ LAN5)  
trigger.model.setblock(3, trigger.BLOCK _ NOTIFY,  
trigger.EVENT _ NOTIFY1)  
trigger.model.setblock(4, trigger.BLOCK _ MEASURE,  
defbuffer1)  
trigger.model.setblock(5, trigger.BLOCK _ WAIT,  
trigger.EVENT _ TIMER1)  
trigger.model.setblock(6, trigger.BLOCK _ BRANCH _  
COUNTER, MeasCounts, 3)
```

```
trigger.model.initiate()  
trigger.lanout[5].protocol = lan.PROTOCOL _  
MULTICAST  
trigger.lanout[5].connect()  
trigger.lanout[5].assert()  
waitcomplete()  
printbuffer(1,defbuffer1.n,defbuffer1)  
end
```

### ОЦИФРОВКА ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ГРАФИЧЕСКОМ МУЛЬТИМЕТРЕ

Кроме интегрирования сопротивления DMM7510 поддерживает режим оцифровки, который позволяет захватывать ток или напряжения со скоростью один миллион выборок в секунду во всём рабочем диапазоне прибора. Например, мультиметр может оцифровать ток в диапазоне от 100 фА до 10 А с интервалом 1 мкс и разрешением 18 разрядов.

Поскольку в условиях производства наиболее критичным показателем является время тестирования, возможность определения окна измерения с точностью до 1 мкс путём простого изменения числа выборок даёт огромное преимущество.

Кроме того, DMM7510 автоматически обновляет среднее значение всех показаний, находящихся в буфере. Это дополнительно упрощает обработку данных измерений, выполненных на вершине импульса. Вы можете извлечь



Рис. 11. Измерение импульсов в режиме оцифровки

среднее значение буфера и очистить буфер для следующего импульса.

На рисунке 11 показана последовательность импульсов тока, захваченная мультиметром DMM7510 в режиме оцифровки тока. Мультисенсорный экран позволяет даже растянуть каждый импульс лёгким прикосновением пальца.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

TSP-совместимые источники-измерители 2602В и 2606В, а также мультиметр DMM7510 компании Keithley позволяют без особого труда объединить настольные приборы в единую систему и достичь лучшей в отрасли синхронизации запуска и максимальной пропускной способности в любой автоматизированной производственной среде.

Процессор сценариев тестирования и канал TSP-Link компании Keithley являются двумя ключевыми технологиями, обеспечивающими поддержку более эффективных и надёжных электрических тестов в таких новых приложениях, как трехмерное сканирование.

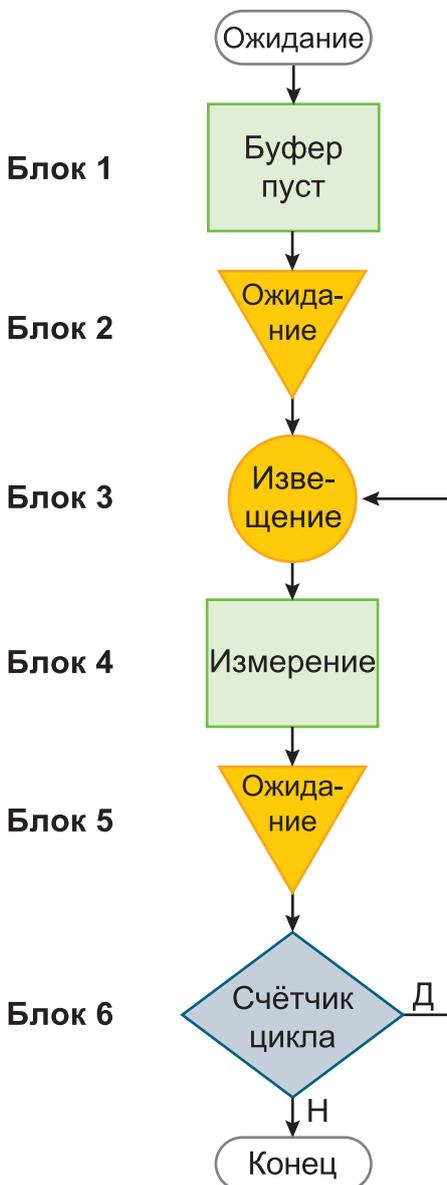


Рис. 10. Модель запуска

*The growing demand for distance and velocity measurements in three-dimensional space is evident in many industrial applications. Keithley's Test Script Processor and TSP-Link are two key technologies that enable more efficient and reliable electrical test for new applications such as 3D sensing. Keithley's TSP-enabled 2602B and 2606B SMUs and DMM7510 allow users to integrate bench instruments effortlessly into a holistic system and achieve industry's best trigger synchronization and maximum throughput for any automated or production environment.*