

## Лабораторная работа

### ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА ДЛЯ АМПЛИТУДНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЯДЕРНО- ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

**1. Аннотация на русском языке.**

**2. Abstract – аннотация на английском.**

**3. Methods for digitizing pulse shapes and describing the capabilities of modern digital oscilloscopes – Методы оцифровки формы импульсов и описание возможностей современного цифрового осциллографа - описание работы для выполнения с цифровым осциллографом – на английском.**

**4. Методы оцифровки формы импульсов и описание возможностей современного цифрового осциллографа – на русском языке.**

**5. Рабочее задание для выполнения работы на установке, созданной на основе современного цифрового осциллографа – на русском языке.**

**6. ПРИЛОЖЕНИЕ №1. Таблица с кратким описанием основных измерений, которые можно проводить с помощью современного ЦО.**

## **Аннотация**

Данная работа посвящена измерениям амплитудных и временных параметров импульсов от генератора и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) на экспериментальной установке, созданной на основе современного цифрового осциллографа.

### Цель работы:

- получение базовых представлений о принципах работы цифрового осциллографа, генератора импульсов и ФЭУ;
- приобретение навыков работы с цифровым осциллографом и генератором импульсов;
- измерения амплитудных и временных параметров импульсов от генератора импульсов и ФЭУ.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Совокупность электронной аппаратуры и средств вычислительной техники образуют автоматизированную систему накопления и обработки данных, получаемых в ходе ядерно-физического эксперимента. Работа этих систем основана на электронных методах ядерной физики, приборах и технике для измерения параметров ионизирующих излучений, включая ядерную электронику. При этом данные об изучаемых или контролируемых объектах или процессах с помощью детекторов (датчиков) в подавляющем большинстве случаев преобразуется в электрические сигналы. Для работы с этими электрическими сигналами применяются электронные устройства в виде модульных блочных систем в стандарте CAMAC, VME, NIM. Для проведения даже не очень сложных исследований, например, измерение амплитудных и

временных характеристик фотоумножителей, необходима установка из десяти-пятнадцати модулей, расположенных в двух крейтах. Долгое время это было основным способом создания исследовательских установок.

В настоящее время появились новые устройства – цифровые осциллографы, которые могут для большой серии измерений заменить сложные установки.

Цифровым осциллографом (ЦО) будем называть устройство, содержащее входное устройство, амплитудно-цифровой преобразователь, запоминающее устройство, **компьютер**, дисплей для представления визуальной информации. Первые цифровые осциллографы, называемые цифровыми запоминающими осциллографами (ЦЗО) отличаются отсутствием компьютера, и поэтому имеющими фактически функции только осциллографа, т.е. представление только осциллограмм.

Использование дисплея вместо осциллографической трубки открывает возможность для отображения любой дополнительной информации и управления прибором с помощью меню.



Рис.1. Цифровой осциллограф LeCroy WR640Zi

Основными характеристиками цифрового осциллографа являются полоса пропускания, разрядность АЦП, частота отсчетов (дискретизации) и

объём памяти. Отметим, что первая из этих четырёх характеристик определяется, в основном, аналоговой частью ЦО, находящейся на входе осциллографа, т.е. до АЦП; вторая и третья – аналого-цифровым преобразователем; четвёртая – запоминающим устройством.

## 2. Методы оцифровки формы импульсов

### 2.1. Параллельный АЦП

Большинство высокоскоростных осциллографов и некоторые высокочастотные измерительные приборы используют параллельные АЦП из-за их высокой скорости преобразования, которая может достигать 5Г ( $5 \cdot 10^9$ ) отсчетов/сек для стандартных устройств и 20Г отсчетов/сек для оригинальных разработок. Обычно параллельные АЦП имеют разрешение до 8 разрядов, но встречаются также 10-12-ти разрядные версии.

На рис.2 представлен принцип работы ЦО. Входной сигнал поступает на параллельный АЦП, который стробируется с высокой частотой и код с АЦП поступает в запоминающее устройство.

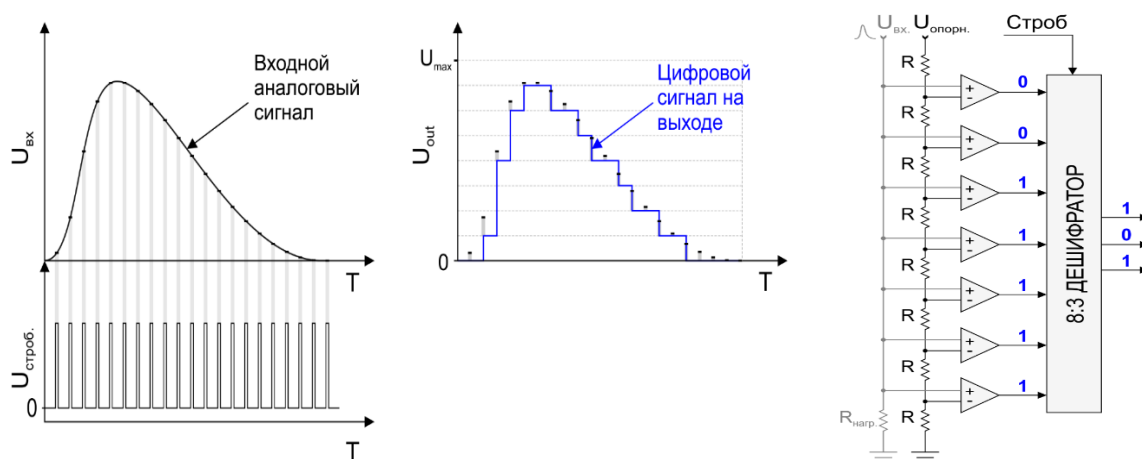


Рис.2. Принцип работы ЦО.

Для обеспечения требуемой частоты преобразования применяется параллельно до 100 АЦП, которые обеспечивают требуемую частоту дискретизации.

В настоящее время лидером среди цифровых осциллографов обеспечивает полосу пропускания 30 ГГц, частоту дискретизации 80 Гвыб/с, длина памяти до 512 мБ. Такие параметры обеспечиваются с монолитным однокристалльным АЦП специальной разработки по кремний-германиевой (SiGe) технологии.

Высокая стоимость ЦО в первую очередь определяется именно стоимостью АЦП. Как альтернатива для создания более дешевых устройств для оцифровки импульсов в настоящее время разработан и применяется другой метод.

## **2.2. Измеритель формы импульса. Принцип Домино.**

На рис.3 представлена функциональная схема двухканального устройства, работающего по принципу оцифровки «Домино», основанном на применении микросхемы DRS4. Входной сигнал поступает на емкости (обычно в количестве 1000), на которых повторяется входной сигнал. С помощью цепочки логических элементов, с задержкой (например) 200 пс, друг за другом емкости отключаются, и на них фиксируется мгновенное значение, соответствующее амплитуде входного импульса на момент отключения.

После окончания цикла аналогового запоминания формы импульса последовательно к каждой емкости подключается достаточно медленный, экономичный АЦП, в результате чего получается серия из 1000 кодов, которая описывает форму импульса с шагом 200 пс, аналогично ЦО до представления на дисплее. Эта информация считывается в компьютер и обрабатывается в зависимости от задачи.

Это устройство уступает по многим параметрам ЦО, однако благодаря меньшей стоимости используется в ряде работ. На рис.4 представлена фотография устройства.

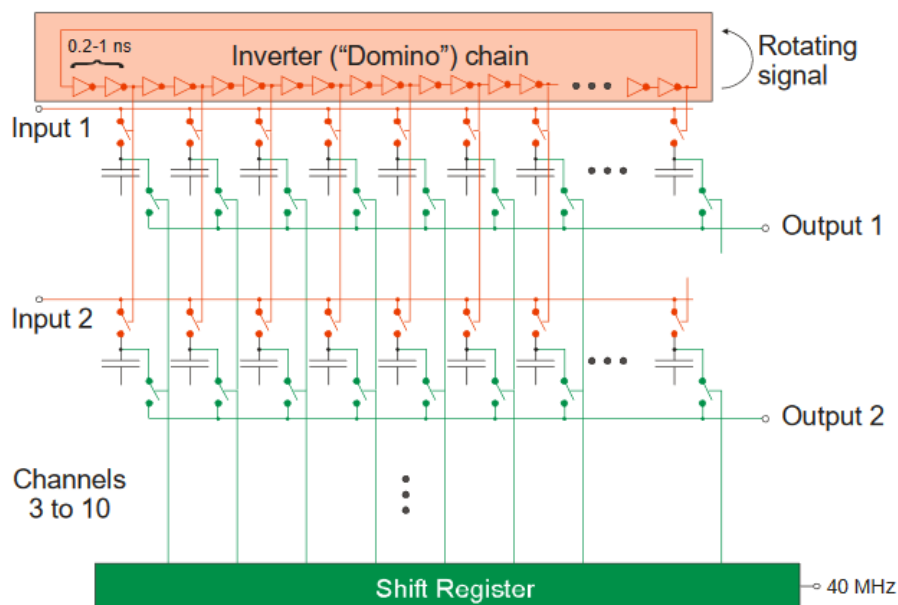


Рис.3. Принцип действия оцифровки типа «Домино».

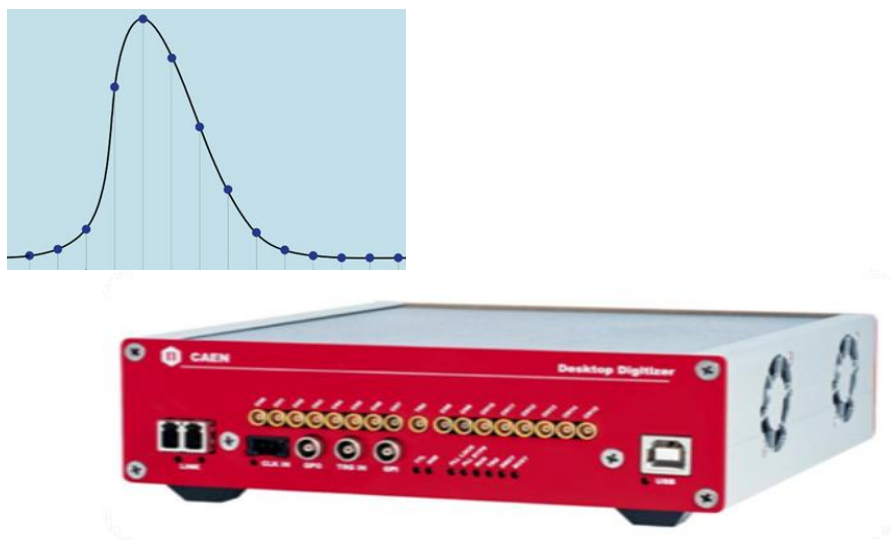


Рис.4. 16-канальное устройство для оцифровки импульсов CAEN DT5742.

### 3. Возможности современного цифрового осциллографа.

ЦО кроме возможности представления осциллограмм на экране позволяет проводить много видов измерений и представления результатов измерений как в числовом виде, так и в виде гистограмм.

ЦО может представлять **осциллограмму** в виде точек и это будет единственный достоверный способ представления сигналов, зафиксированных в виде отсчётов. Но вид такой осциллограммы плох для рассматривания, да и яркость осциллограммы окажется низкой.

Чтобы на экране ЦО получить изображение процесса не в виде отдельных точек, а в виде непрерывных линий, нужно использовать тот или иной вид интерполяции. (Напомним, что математически интерполяция является вычислением значений некоторой функции, заданной отдельными узловыми точками, в промежутках между узлами.)

Простейшей является линейная интерполяция, которая сводится к соединению узловых точек отрезками прямых. Она легко реализуется математически и потому часто применяется как в системах компьютерной математики, так и в программах для цифровых осциллографов, «рисующих» осциллограммы на экране осциллографа.

В большинстве случаев (но не всегда) желательно применять более сложную интерполяцию, обеспечивающую плавность осциллограмм. Наиболее распространена *интерполяция вида  $\sin(t)/t$* .

По результатам, полученным после считывания и интерполяции, можно определить параметры импульсов (амплитуду, площадь, длительность импульса на разном уровне, длительность фронта, спада), временное соотношение между двумя импульсами на разном уровне. В осциллографе защиты программы для десятков типов измерений.

Необходимо отметить, что измерения, проводимые с ЦО, фактически идут с обработкой off-line. Если реально, например, временные измерения, проводимые с помощью электронных систем, осуществляются по одной точке (точке пересечения порога), то в ЦО для определения времени регистрации используются несколько точек оцифровки на фронте и проводится усреднение по этим точкам, уменьшая таким образом влияние шумов. Т.е., для измерения каких-то физических процессов лучше использовать ЦО, т.к. уменьшается влияние электроники. Однако, если надо определить характеристики детектора, который должен работать в режиме регистрации событий (например, как стартовый импульс для время-пролетной системы), то с ЦО можно получить параметры детектора лучше, чем в реальном эксперименте.

Целью многих исследований является представление результатов в виде **гистограмм**. В математической статистике гистограмма – это функция плотности вероятности распределения случайного события или случайной величины, построенная на основе выборок из этого распределения. В случае цифрового осциллографа массивом выступает массив данных измерения выбранного параметра. Возможности построения, анализа и измерения гистограмм превращает любой ЦО в мощный аналитический инструмент.

Реальный массив измерений в графическом виде в цифровых осциллографах может быть представлен и так называемым **«трендом»**.

Тренд – это график, представляющий собой функцию, в которой горизонтальная ось (ось X) представляет ось номера измерения –  $1, 2, 3, 4, \dots, n$ , (эта ось не связана с временной осью развертки осциллографа), а по оси Y (вертикальной оси) располагаются значения результата измерения выбранного параметра.

Тренд состоит только из реальных точек значений результатов измерений и представляет собой развернутый массив данных результатов измерений. Число точек тренда задается пользователем и может составлять от



1 до нескольких миллионов (в зависимости от типа осциллографа и установленных опций). При сохранении тренда в файл, сохраняется весь выбранный массив результатов измерений с указанием номера измерения. Далее эти данные можно использовать для обработки внешними средствами.

На рис. 5 представлен экран ЦО с представленными данными в виде осциллограмм и гистограмм, и числовых значений.

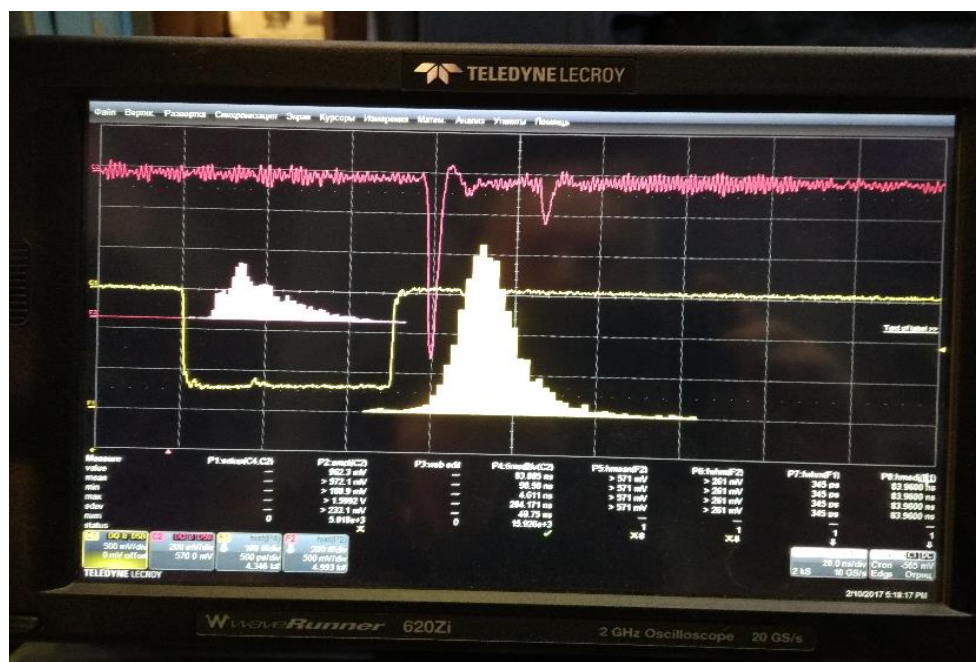


Рис.5. Пример дисплея ЦО с результатами измерений: осциллограммы, гистограммы амплитудного и временного распределения.

### 3. Достоинства и недостатки цифровых осциллографов

Цифровые осциллографы – это новый класс осциллографических устройств, имеющих как серьезные достоинства, так и некоторые недостатки. Отметим только самые важные из них.

Основные достоинства ЦО вытекают из возможностей обработки информации в цифровом виде: неограниченное время хранения информации; широкие диапазоны скорости ее считывания; возможность замедленного

воспроизведения отдельных участков запомненного сигнала; получение ярких и четких осциллограмм; вывод информации на персональный компьютер или на внешние устройства (принтер, память и т.п.); применение сложных алгоритмов обработки данных внутри осциллографа с помощью встроенного процессора, возможность отображения сигнала до момента запуска (при "отрицательном" времени);

Наличие в цифровых осциллографах процессоров позволяет для любого вида сигнала определять и отображать на экране различные значения напряжения сигнала, а также результаты различных преобразований (например – преобразования Фурье).

Практически любой ЦО может подключаться к персональному компьютеру через стандартные порты – параллельный PRT и последовательные COM и USB или давно известный приборный порт GPIB.

В качестве иллюстрации возможностей современных ЦО в ПРИЛОЖЕНИИ №1 приведена Таблица с кратким описанием основных измерений, которые можно проводить с помощью современного ЦО (из описания осциллографа WaveRunner 6 Zi/HRO, см. в списке литературы ссылку «Полное руководство оператора WaveRunner 6 Zi/HRO Oscilloscopes Operator's Manual.© 2017 Teledyne LeCroy, Inc. All rights reserved», <http://cdn.teledynelecroy.com/files/manuals/waverunner-6zi-operators-manual.pdf>).

Основными недостатками ЦО является более высокая стоимость, более сложное управление, а также недостатки, вызванные применением АЦП и ЦАП. Аналого-цифровое и цифроаналоговое преобразование сигнала в тракте Y всегда выполняется с конечной разрядностью, что ведет к появлению характерных шумов квантования, принципиально отсутствующих у аналоговых осциллографов. Шум квантования виден на осциллограммах ряда

цифровых осциллографов, особенно – дешёвых, имеющих малую разрядность АЦП и ЦАП.

Вообще говоря, экран современных цифровых осциллографов перенасыщен информацией: на нем имеется меню операций, значения различных цифровых установок и результатов вычислений. Поэтому для полноценного использования этой информации нужно внимательно изучить инструкцию по конкретному прибору и правильно использовать возможности прибора в части предоставления информации.

**Большинство ЦО имеют кнопку Autoset для автоматической установки параметров, обеспечивающих правильное (но не самое лучшее!) наблюдение сигнала. Эту функцию можно использовать при случайном использовании незнакомого режима, когда не знаете, как вернуться в знакомый режим.**

#### **4. Описание установки (вариант с генератором импульсов и вариант с ФЭУ).**

Для знакомства с простейшими функциями ЦО используется генератор импульсов АК ИП 3303 с двумя выходами, которые подключаются к входам осциллографа. На Рис.6 представлена функциональная схема лабораторной установки с генератором импульсов.

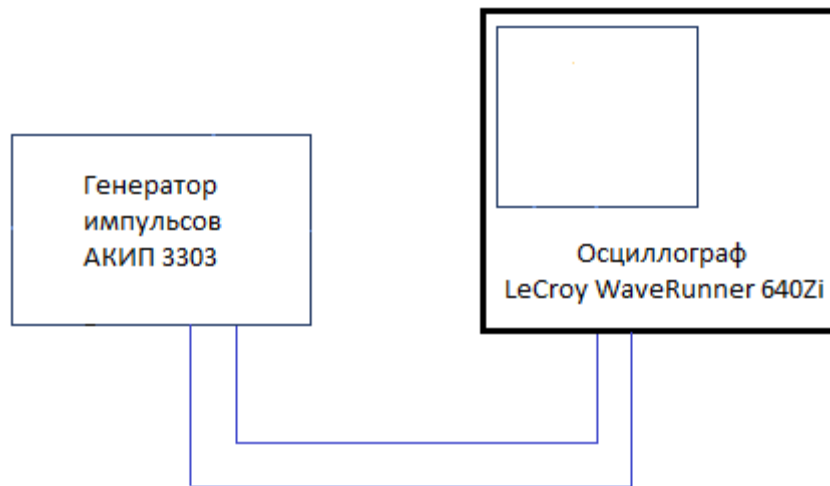


Рис.6. Функциональная схема лабораторной установки с генератором импульсов АКИП 3303.

Однако для изучения работы осциллографа при наличии временного и амплитудного разброса используются импульсы от фотоумножителя, который засвечивается импульсами от генератора световых импульсов (лазер или светодиод). Функциональная схема лабораторной установки с ФЭУ представлена на Рис. 7.

Оптический сигнал лазера поступает на аттенюатор и далее в светоизолированный кожух к ФЭУ. Далее сигнал с ФЭУ поступает на вход линейного логического разветвителя и после него – на вход осциллографа. Электрический сигнал от лазера, синхронизованный с оптическим с высокой точностью ( $\approx 5$  пс), поступает на другой вход осциллографа (импульс запуска).

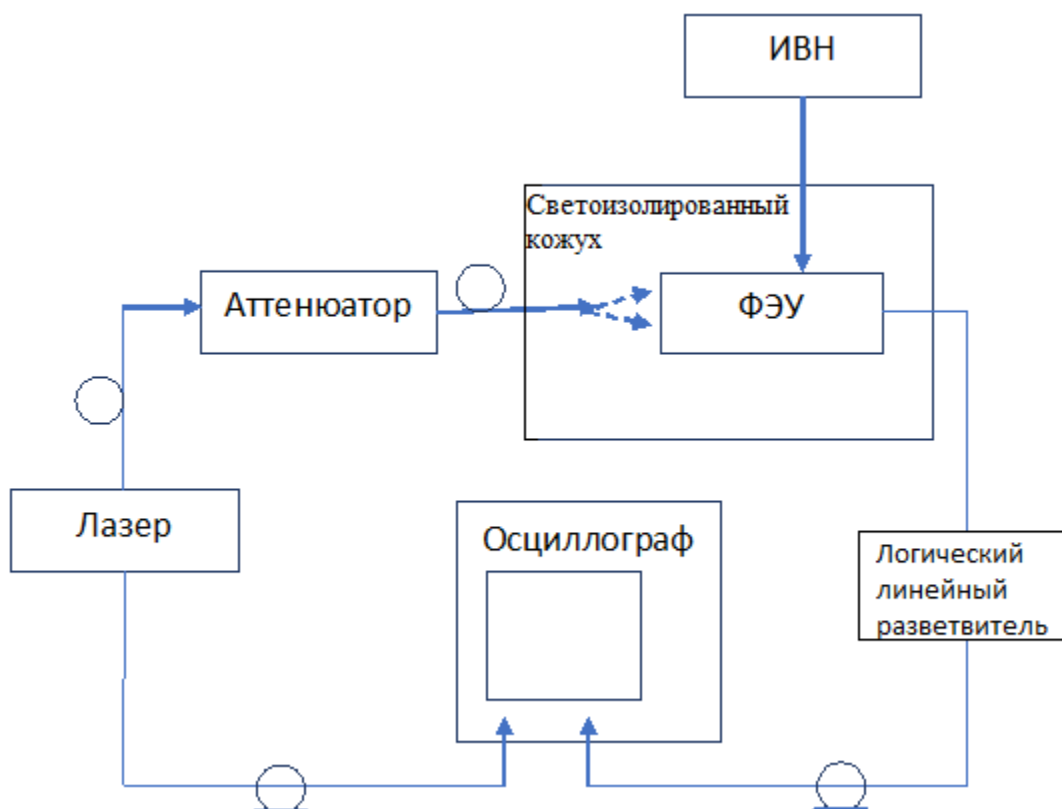


Рис.7. Функциональная схема лабораторной установки с ФЭУ.

Основными элементами установки являются (Рис. 7):

- светоизолированный кожух для размещения ФЭУ;
- фотоумножитель с блоком питания;
- импульсный источник света – пикосекундный лазер или светодиод;
- оптический аттенюатор;
- логический линейный разветвитель;
- Современный ифровой осциллограф;

## 5. Рабочее задание

1. Выставить выходные импульсы генератора 1 В, длительность 1 мкс, период 100 мкс, задержку между импульсами 3 мкс (см. **«Инструкцию по работе с генератором импульсов АКПП 3303»**).

2. Подключить выходы генератора к двум входам осциллографа.

**Для входа осциллографа в режиме 50 Ом максимальная амплитуда 5 В.**

3. Наблюдать импульсы на двух входах. Записать осциллограммы в память осциллографа или на флэш-память для последующей распечатки.

4. Установить режим измерения амплитуды сигнала на одном и другом входе. Сравнить с наблюдаемым на осциллографе. Сделать измерение для импульсов разной амплитуды и полярности (см. **«ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»**).

5. Установить режим измерения заряда (площади импульса). Провести измерение, сравнить результат с наблюдаемым на осциллографе.

Для этого необходимо проделать пункты аналогично п.4, выбирая вместо измерения амплитуды измерение площади (см. **«ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»**).

6. Выставить измерение временного интервала между триггером (импульсом, по которому осуществляется запуск) и импульсом по второму входу. Учитывать полярность фронта. Провести измерение для разной задержки импульсов, устанавливаемой на генераторе. (см. **«ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»**)

7. Вместо импульсов от генератора импульсов подключить импульсы от генератора световых импульсов: на один вход (импульс запуска) подать синхроимпульс, на второй вход – импульс от ФЭУ. Наблюдать импульсы. (см.

## **«ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»)**

8. Провести измерения аналогичные п.4 и п.5 с импульсами от ФЭУ (см. **«ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»**).

9. Провести измерение амплитудного разрешения от амплитуды сигнала ФЭУ:

- амплитуда сигнала изменяется интенсивностью светового импульса;
- амплитуда изменяется напряжением на ФЭУ.

10. Провести временные измерения в зависимости от амплитуды сигнала ФЭУ, аналогичные п.6.

10. Установить разный порог привязки к импульсам с ФЭУ:

- постоянный 10 мВ, провести измерение временного разрешения от амплитуды в диапазоне входных импульсов от 20 мВ до 1000 мВ;

- 50 мВ, провести измерение временного разрешения для амплитуды от 100 до 1000 мВ;

- следящий порог – 20% относительно амплитуды, провести измерение временного разрешения от амплитуды в диапазоне от 20 до 1000 мВ.

(см. рис. 18 **«ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»**).

10.2. Убедиться, что во вкладке «Gate» установлены правильные ворота для нахождения импульса сигнала (см. рис. 19 **«ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»**)

10.3. Добавить гистограмму и необходимые параметры

10.4. Для того, чтобы гистограммы не накладывались друг на друга и на сигналы, можно разделить окно осциллограмм на 4 части, и переключать конкретные каналы/функции между окнами кнопкой «Next Grid» (см. рис. 20 «ИНСТРУКЦИЯ по работе с цифровым осциллографом LeCroy WaveRunner 640Zi»)

11. Сравнить полученные в п.10 результаты.

### **6. Представление полученных результатов.**

1. Осциллограммы импульсов.

2. Зависимость амплитудного разрешения от амплитуды импульса:

- амплитуда меняется изменением интенсивности светового импульса;

- амплитуда изменяется напряжением на ФЭУ.

3. Зависимость временного разрешения от амплитуды импульса:

- амплитуда меняется изменением интенсивности светового импульса;

- амплитуда изменяется напряжением на ФЭУ

4. Зависимость временного разрешения ФЭУ от амплитуды импульса для различного типа временной привязки: постоянный порог, следящий порог.

### **Литература**

Гаврилов Л.Е. Основы ядерной электроники. Ч.1: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 164 с.

Терешков В.В., Цветков Ф.А., Лабынцев А.В. Цифровые осциллографы: теоретические основы применения: Учебное пособие / Под ред. В.В. Терешкова. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2013. – 84 с.



Полное руководство оператора WaveRunner 6 Zi/HRO Oscilloscopes Operator's Manual.© 2017 Teledyne LeCroy, Inc. All rights reserved.  
<http://cdn.teledynelecroy.com/files/manuals/waverunner-6zi-operators-manual.pdf>

Тюрин В.А. Метод прямого цифрового синтеза в генераторах сигналов специальной формы SFG-2110 и АКПП-3410/3: учебно-методическое пособие/ В.А. Тюрин. - Казань: Казанский федеральный университет, 2015. - 74 с.

[https://kpfu.ru/staff\\_files/F233095282/30.08.15\\_Tjurin\\_Metod\\_pryamogo\\_cifrovogo\\_sinteza....pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F233095282/30.08.15_Tjurin_Metod_pryamogo_cifrovogo_sinteza....pdf)

Генераторы сигналов от А до Я. Учебное пособие. Copyright © 2008, Tektronix (<https://doc.platan.ru/docs/pdf/generatory-signalov.pdf>).

## ПРИЛОЖЕНИЕ №1

Описание основных измерений, которые можно проводить с помощью современного ЦО на примере осциллографа LeCroy WaveRunner 640Zi

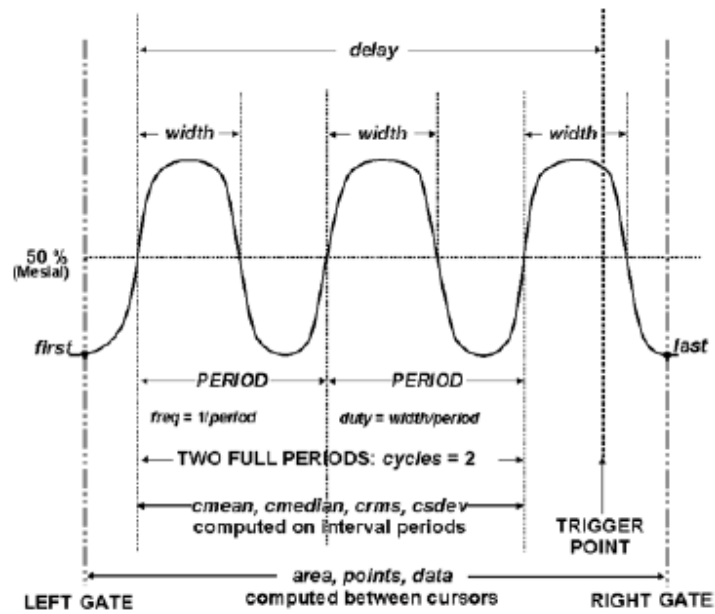
<http://cdn.teledynelecroy.com/files/manuals/waverunner-6zi-operators-manual.pdf>

Measurement	Description
Amplitude (ampl)	Measures the difference between upper and lower levels in two-level signals. Differs from pkpk in that noise, overshoot, undershoot, and ringing do not affect the measurement. Amplitude is calculated by using the formula Top – Base. On signals not having two major levels (such as triangle or saw-tooth waves), the amplitude parameter returns the same value as peak-to-peak.
Area	Integral of data. Computes area of the waveform relative to zero level. Values > zero contribute positively to the area; values < zero, negatively.
Base	Lower of two most probable states (higher is top). Measures lower level in two-level signals. Differs from min in that noise, overshoot, undershoot, and ringing do not affect measurement. On signals not having two major levels (such as triangle or saw-tooth waves), the amplitude parameter returns the same value as minimum.
Bit Rate	Bit rate of serial data stream.
Cycles (cycles)	Determines number of cycles of a periodic waveform lying between cursors. First cycle begins at first transition after the left cursor. Transition may be positive- or negative-going.
Delay	Time from trigger to transition: Measures time between trigger and first 50% crossing of specified signal. Delay can be used to measure the propagation delay between two signals by triggering on one and determining delay of other.
Delta Delay (ddelay)	Computes time between 50% level of two sources.
Dperiod@level (dper@lv)	Adjacent cycle deviation (cycle-to-cycle jitter) of the period measurement for each cycle in a waveform. The reference level for this measurement can be specified.
Dtime@level (dt@lv)	Computes the time between transitions of the selected sources at the specified levels. Only positive going transitions are counted.
Dtrig Time (dtrig)	Time from last trigger to this trigger
Duration (dur)	For single sweep waveforms, dur is 0; for sequence waveforms: time from first to last segment's trigger; for single segments of sequence waveforms: time from previous segment's to current segment's trigger; for waveforms produced by a history function: time from first to last accumulated waveform's trigger.
Duty Cycle	Percent of period for which data are above or below the 50% level of the signal.
Duty@level (duty@lv)	Percent of period for which data are above or below a specified level.
Dwidth@level	Difference (delta) between adjacent widths above or below a specified level.
Edge@level (edge@lv)	Number of positive edges in waveform that cross the specified threshold level.
Edge to Edge	Delta time between some edge on the first source to some (other) edge on a second source.
Fall 80-20% (fall8020)	Duration of pulse waveform's falling transition from 80% to 20% of the amplitude averaged for all falling transitions between the measurement gates. On signals not having two major levels (triangle or saw-tooth waves, for example), top and base can default to maximum and minimum, giving less predictable results.

Measurement	Description															
Fall time (fall)	Duration of pulse waveform's falling transition from 90% to 10% of the amplitude averaged for all falling transitions between the measurement gates. On signals not having two major levels (triangle or saw-tooth waves, for example), top and base can default to maximum and minimum, giving less predictable results.															
Fall@level (fall@lv)	<p>Fall at level: Duration of pulse waveform's falling edges between user-specified transition levels.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Thresh.</th> <th>Remote</th> <th>Lower Limit</th> <th>Upper Limit</th> <th>Default</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lower</td> <td>Low</td> <td>1%</td> <td>46%</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Upper</td> <td>High</td> <td>55%</td> <td>99%</td> <td>90%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Threshold arguments specify two vertical values on each edge used to compute fall time:  lower = lower thresh. x amp/100 + base  upper = upper thresh. x amp/100 + base</p>	Thresh.	Remote	Lower Limit	Upper Limit	Default	Lower	Low	1%	46%	10%	Upper	High	55%	99%	90%
Thresh.	Remote	Lower Limit	Upper Limit	Default												
Lower	Low	1%	46%	10%												
Upper	High	55%	99%	90%												
First	Indicates value of horizontal axis at left cursor.															
Frequency (freq)	Period of cyclic signal measured as time between every other pair of 50% crossings. Starting with first transition after left measurement gate. The period is measured for each transition pair. The reciprocal of each period measurement is calculated as the frequency.															
Freq@level (freq@lv)	Period of cyclic signal measured as time between every other pair at the specified level. Starting with first transition after left measurement gate. The period is measured for each transition pair. The reciprocal of each period measurement is calculated as the frequency.															
FWHM	Measures the width of the largest area histogram peak at half of the population of the highest peak.															
FWxx	Measures the width of the largest area histogram peak at xx% of the population of the highest peak.															
Half Period (hper)	Half period of a waveform.															
Hist ampl (hamp)	Difference in value between the two most populated peaks in a histogram.															
Hist base	Value of the left-most of the two most populated histogram peaks.															
Hist max pop	Peak with maximum population in a histogram.															
Hist maximum	Value of the highest (right-most) populated bin in a histogram.															
Hist mean	Average or mean value of data in a histogram.															
Hist median	Value of the 'x' axis of a histogram that divides the population into two equal halves.															
Hist minimum	Value of the lowest (left-most) populated bin in a histogram.															
Hist mode	Position of the highest histogram peak.															
Hist pop@x	Population at bin for specified horizontal coordinate.															
Hist range	Calculates range (max-min) of a histogram.															
Hist rms	Root mean square of the values in a histogram.															
Hist sdev	Standard deviation of values in a histogram.															
Hist top	Value of the right-most of the two most populated histogram peaks.															
Hist X@peak	Value of the <i>n</i> th highest histogram peak. You supply the value of <i>n</i> .															
Hold Time	Time from the clock edge to the data edge.															
Last	Time from trigger to last (rightmost) cursor.															

Measurement	Description
Level@X (lvl@x)	Gives the vertical value at the specified <i>x</i> position. If the <i>x</i> position is between two points, it gives the interpolated value. When the Nearest point checkbox is selected, it gives the vertical value of the nearest data point.
MATLAB param	Custom MATLAB function that produces a measurement. Requires XDEV option to edit functions through the oscilloscope GUI using MATLAB Script.
Maximum (max)	Measures highest point in waveform. Unlike top, does not assume waveform has two levels.
Mean	Average of data for time domain waveform. Computed as centroid of distribution for a histogram of the data values.
Median	The average of base and top values.
Minimum (min)	Measures the lowest point in a waveform. Unlike base, does not assume waveform has two levels.
N-cycle Jitter	Peak-to-peak jitter between edges spaced <i>n</i> UI apart.
NBPhase	Provides measurement of the narrow band phase at a specific frequency of the waveform.
NBPower	Provides measurement of the narrow band power at a specific frequency of the waveform.
None	Disables parameter calculation
Num Points (npoints)	Number of points in the waveform between the measurement gates.
Overshoot-	Amount of overshoot following a falling edge. This is represented as percentage of amplitude. Overshoot- is calculated using the formula $(base - min.) / ampl \times 100$ . On signals not having two major levels (triangle or saw-tooth waves, for example), may not give predictable results.
Overshoot+	Amount of overshoot following a rising edge specified This is represented as a percentage of amplitude. Overshoot+ is calculated using the formula $(max. - top) / ampl \times 100$ . On signals not having two major levels (triangle or saw-tooth waves, for example), may not give predictable results.
Peak to Peak (pkpk)	Difference between highest and lowest points in waveform. Unlike ampl, does not assume the waveform has two levels. Peak to peak is calculated using the formula $maximum - minimum$ .
Peaks	Number of peaks in a histogram.
Percentile (pct)	Horizontal data value that divides a histogram so the population to the left is <i>xx%</i> of the total.
Period	The time between every other pair of 50% crossings. Starting with first transition after left measurement gate, period is measured for each transition pair, with values averaged to give final result.
Period@level (per@lv)	The time between every other pair of at the level specified. Starting with first transition after left measurement gate, period is measured for each transition pair, with values averaged to give final result.
Phase	Phase difference between signal analyzed and signal used as reference. Both signals are measured from the 50% point of their rising edges.
Rise 20-80% (rise2080)	Duration of pulse waveform's rising transition from 20% to 80% of the amplitude averaged for all rising transitions between the measurement gates. On signals not having two major levels (triangle or saw-tooth waves, for example), top and base can default to maximum and minimum, giving less predictable results.

Measurement	Description
Rise Time	Duration of pulse waveform's rising transition from 10% to 90% of the amplitude averaged for all rising transitions between the measurement gates. On signals not having two major levels (triangle or saw-tooth waves, for example), top and base can default to maximum and minimum, giving less predictable results.
Rise@level (rise@lv)	Duration of pulse waveform's rising edges between user-defined transition levels. Threshold arguments specify two vertical values on each edge used to compute rise time: lower = lower thresh. x amp/100 + base upper = upper thresh. x amp/100 + base
RMS	Root Mean Square of data (between gates) calculated using the formula: $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i)^2}$ Where: vi denotes measured sample values, and N = number of data points within the periods found up to maximum of 100 periods.
Setup	Time from the data edge to the clock edge.
Skew	Time of Clock2 edge (nearest to Clock1) minus time of Clock1 edge. "Clock" refers to specified edge and level of any two sources, data signals included.
Slew Rate (slew)	Slew rate or local dV/dt in a transition zone
Std Dev (sdev)	Standard deviation of the data between the measure gates using the formula: $\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - mean)^2}$ Where: vi denotes measured sample values, and N = number of data points within the periods found up to maximum of 100 periods. This is equivalent to the rms for a zero-mean waveform. Also referred to as AC RMS
TIE@level (tie@lv)	Difference between the measured times of crossing a given slope and level and the ideal expected time. For Slope you can choose positive, negative, or both. For output units you can choose time or unit interval (UI). A unit interval equals one clock period. The Virtual Clock setup gives you a choice of Standard (1.544 MHz) or Custom reference clocks. You can also use a mathematically derived Golden PLL to filter low frequency jitter. The cutoff frequency is user selectable.
Time@level (time@lv)	Time from trigger (t=0) to crossing at a specified level.
Top	Higher of two most probable states (base is lower). Measures higher level in two-level signals. Differs from max in that noise, overshoot, undershoot, and ringing do not affect measurement. On signals not having two major levels (such as triangle or saw-tooth waves), the amplitude parameter returns the same value as minimum.
Total Pop (totp)	Total population of a histogram.
Width	Width of cyclic signal determined by examining 50% crossings in data input. If first transition after left cursor is a rising edge, waveform is considered to consist of positive pulses and width the time between adjacent rising and falling edges. Conversely, if falling edge, pulses are considered negative and width the time between adjacent falling and rising edges. For both cases, widths of all waveform pulses are averaged for the final result.
Width@level (wid@lv)	Width measured at a user-specified level.
WidthN (widn)	Time of cyclic signal determined by examining 50% crossings in data input. The widthN is measured from falling edge to rising edge.



### Determining Differential Time Measurements

The instrument enables accurate differential time measurements between two traces: for example, propagation, setup and hold delays.

Parameters such as Skew require the transition polarity of the clock and data signals to be specified. A hysteresis range may be specified to ignore any spurious transition that does not exceed the boundaries of the hysteresis interval. In the figure below, Skew measures the time interval separating the falling edge of Source1 from the rising edge of Source2.

