

## Лабораторная работа

### Исследование потока сигналов интерфейса I<sup>2</sup>C с помощью осциллографов серии DPO4000.

**Цель:** демонстрация функциональных возможностей осциллографов серии DPO4000 по исследованию и анализу потоков данных последовательной шины I<sup>2</sup>C.

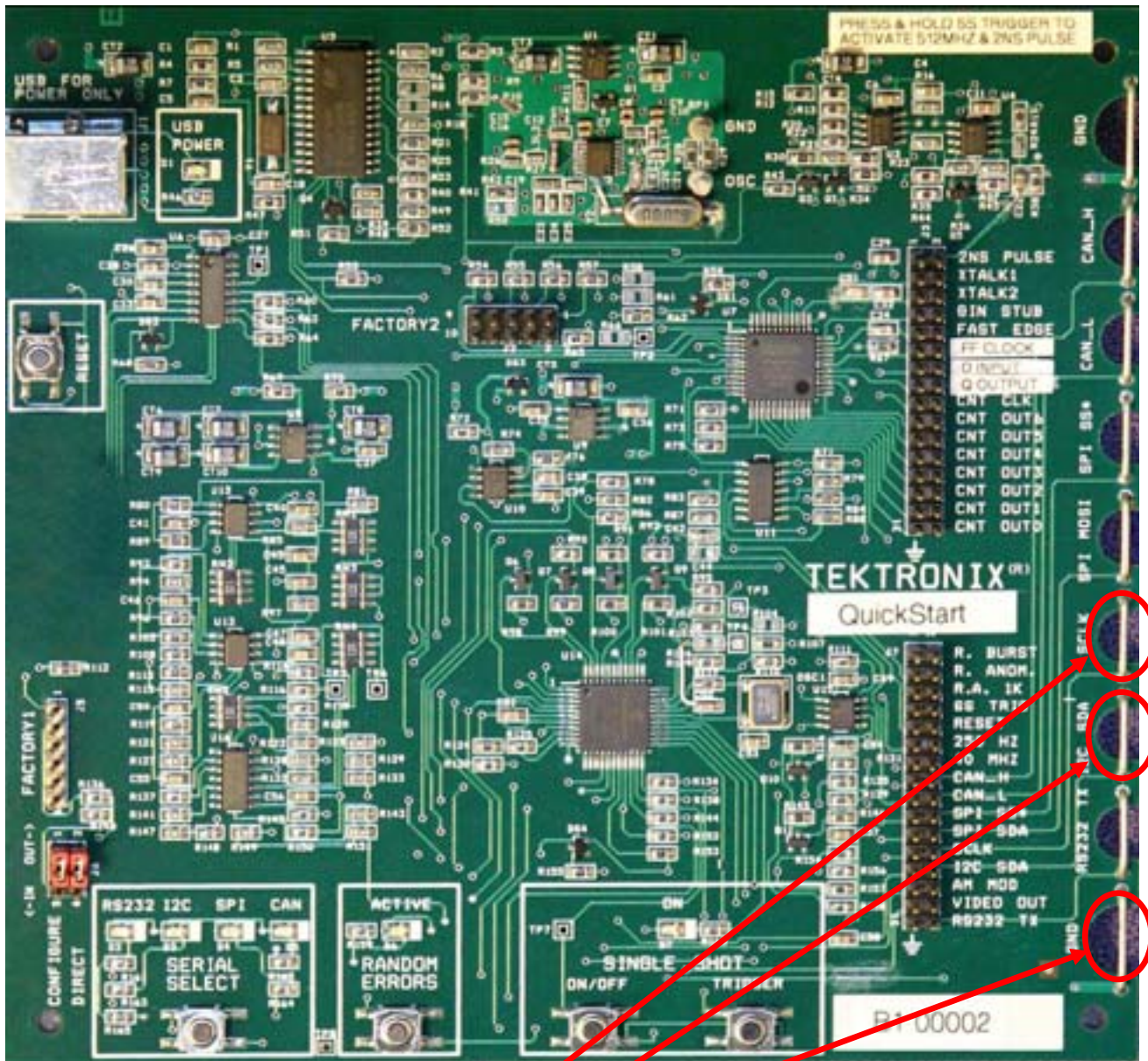
**Задачи:**

Оценить возможности осциллографа DPO4000 для работы с сигналом шины I<sup>2</sup>C. Можно посмотреть реализацию синхронизации по элементам протокола I<sup>2</sup>C: Старт, стоп, адрес, данные, поиск события в памяти с помощью технологии Wave Inspector™, автоматическое формирование и сохранение таблицы событий, передача условий поиска из Wave Inspector в систему синхронизации.

**Используемое оборудование**

1. Осциллограф серии DPO4000 с модулем DPO4EMBD
2. Демонстрационная плата DPO4000 Demo Board (020-2694-XX)
3. Осциллографические пробники P6139A (или аналогичные) – 2 шт.
4. USB-кабель (для подключения питания к демонстрационной плате)

## Демонстрационная плата



### Описание сигналов

«SCLK» — тактовый сигнал шины I<sup>2</sup>C;

«I2C SDA» — сигнал данных шины I<sup>2</sup>C;

«GND» — контакт заземления.

(на плате имеются также выходы других сигналов, но они не используются в данной работе).

## Подготовка к работе

1. Включите осциллограф DPO4000 (к входам прибора не должны быть подключены пробники).
2. Подключите пробники к входам каналов 1 и 2.
3. Питание демонстрационной платы DPO4000 может осуществляться через USB порт, расположенный на передней панели осциллографа. Подключите USB кабель к USB порту осциллографа и входу питания демонстрационной платы.
4. При включении платы загорается зеленый светодиод **USB POWER**, расположенный в верхнем левом углу платы (см. рис.).
5. Проверьте, чтобы в левом нижнем углу платы горел красный светодиод **I2C**. Если горит любой другой светодиод, нажмите кнопку **SERIAL SELECT**, пока не загорится светодиод **I2C**.
6. Подключите пробник канала 1 к контакту **SCLK** демонстрационной платы (см. рис.). test point on the demo board and the probe ground to **GND**.
7. Подключите пробник канала 2 к контакту **I2C SDA** демонстрационной платы (см. рис.).
8. Зажимы заземления обоих пробников подключите к контакту заземления платы (см. рис.).

## Задание 1. Навигация по сигналу с помощью функции Wave Inspector

### Задача 1. Навигация по сигналу с помощью регулятора Pan / Zoom

1. Настройте органы управления осциллографа как показано ниже:
  - нажмите клавишу **Default Setup** внизу дисплея;
  - включите отображение сигнала на канале **2** путем нажатия голубой клавиши **2**;
  - установите вертикальный масштаб (Vertical **Scale**) каналов 1 и 2 на величину **2 V/div**;
  - поместите осциллограмму канала 1 в верхней части экрана, а канала 2 — в средней;
  - установите уровень запуска (Trigger **Level**) примерно **2 V**, что соответствует примерно середине амплитуды сигнала на канале 1;
  - нажмите клавишу **Acquire** на передней панели и клавишу **Record Length** под дисплеем и выберите длину записи 1 млн. точек (**1 M points**) в боковом меню;
  - установите горизонтальный масштаб (Horizontal **Scale**) на величину **20.0 ms/div**;
  - нажмите клавишу **Single** на передней панели для захвата одного сигнала;
  - нажмите клавишу **Menu Off** для отключения меню.

2. Вы захватили сигнал шины I<sup>2</sup>C длительностью 200 мс. Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



На дисплее отображены тактовый сигнал (желтого цвета, канал 1) и сигнал данных (голубого цвета, канал 2) шины I<sup>2</sup>C.

3. Теперь попробуем детализировать изображение сигнала шины I<sup>2</sup>C. В большинстве цифровых осциллографов элементы управления, связанные с масштабированием (коэффициент масштабирования и положение), находятся в труднодоступных вложенных меню или в них используется сложная система управления с передней панели.

Функция Wave Inspector имеет на передней панели специализированные органы управления, облегчающие навигацию по захваченному сигналу и его анализ. Для эффективного просмотра осциллограмм используется специальная двухуровневая ручка **Pan/Zoom** «Панорамирование/Масштабирование». Внутренняя ручка изменяет масштаб. Вращение по часовой стрелке соответствует увеличению масштаба. Вращение против часовой стрелки – уменьшению и отключению масштабирования.

Поверните внутреннюю ручку на несколько щелчков по часовой стрелке, чтобы включить масштабирование.

4. Обратите внимание, что в верхней части экрана отображается весь захваченный сигнал целиком, серый прямоугольник показывает, какая часть сигнала увеличена. В нижнем окне отображается увеличенный фрагмент осциллограммы.

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



## Задача 2. Навигация по сигналу с помощью регулятора Воспроизведение/Пауза

1. Для просмотра всего захваченного сигнала с нужной степенью детализации на большинстве осциллографов требуется прокручивать ручку горизонтального перемещения (Horizontal Position) сотни, а то и тысячи раз. Другой путь — изменить горизонтальный масштаб, переместиться по сигналу с помощью ручки горизонтального перемещения, а затем снова изменить горизонтальный масштаб. Но все это очень неэффективно.

Функция Wave Inspector позволяет облегчить этот процесс. Внешняя ручка служит для перемещения окна масштабирования по осциллограмме с целью быстрого доступа к нужной части сигнала. Кроме того, внешняя ручка снабжена обратной связью по усилию, определяющей скорость просмотра сигнала. Чем сильнее повернута внешняя ручка, тем быстрее перемещается окно масштабирования. Чтобы изменить направление просмотра, достаточно повернуть ручку в другую сторону.

Поверните внешнюю ручку против часовой стрелки для перемещения к началу сигнала. Обратите внимание, что скорость перемещения зависит от угла поворота внешней ручки. Поверните внешнюю ручку по часовой стрелке до упора, чтобы переместиться к концу сигнала с максимальной скоростью.

2. Вы можете также автоматически просматривать весь захваченный сигнал. Нажмите кнопку ►/II (**Воспроизведение/Пауза**). Вы можете регулировать направление и скорость прокрутки с помощью внешней ручки.

3. Если Вы встретили заинтересовавший Вас участок сигнала, вы можете приостановить прокрутку, нажав кнопку ►/II (**Воспроизведение/Пауза**).

### **Задача 3. Установка и удаление меток, перемещение между метками**

1. Функция Wave Inspector позволяет маркировать нужные участки осциллограммы для их дальнейшего изучения.

Нажмите кнопку **Set/Clear Mark (Установить/Удалить Метку)**, чтобы установить метку в середине масштабированного (нижнего) окна.

Обратите внимание, что метки представляют собой сплошные белые треугольники, которые одновременно появляются по верхней кромке в середине масштабированного окна и на соответствующем участке осциллограммы в верхнем обзорном окне, содержащем весь сигнал. Эти метки служат своеобразными «закладками» на осциллограмме.

2. Используя органы управления функции Wave Inspector, переместитесь от начала осциллограммы к ее концу, установив несколько меток на разных участках с помощью кнопки **Set/Clear Mark (Установить/Удалить Метку)**.

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



3. Установив метки, Вы можете быстро перемещаться между ними с помощью клавиш со стрелками «←» и «→» на передней панели. Каждое нажатие на клавишу позволяет перемещаться к предыдущей («←») или следующей («→») метке. Обратите внимание, что при перемещении между метками серый прямоугольник в верхнем обзорном окне показывает положение масштабированного окна на осциллограмме.

4. Находясь на одной из меток, Вы можете удалить ее, нажав кнопку **Set/Clear Mark (Установить/Удалить Метку)**.

Удалите все метки с осциллограммы, перемещаясь между ними с помощью клавиш «←» и «→» и нажимая кнопку **Set/Clear Mark (Установить/Удалить Метку)**.



## Задание 2. Поиск с помощью функции Wave Inspector

Функция Wave Inspector имеет ряд инструментов, позволяющих осуществлять автоматический поиск интересных участков в захваченном сигнале.

### Задача 1. Настройка поиска

1. Не изменяя настроек, оставшихся после выполнения задания 1, нажмите кнопку **Search** (Поиск) на передней панели и кнопку **Search Type** (Тип поиска) под дисплеем. Появится выпадающее меню со списком доступных типов поиска.
2. Нажимайте кнопку **Search Type** (Тип поиска) под дисплеем, пока не будет выбран тип поиска **Pulse Width** (Длительность импульса).
3. Нажмите кнопку **Source** (Источник) под дисплеем и кнопку **Channel 2** (Канал 2) сбоку от дисплея. В качестве источника поиска выбран канал 2, на который поступит сигнал данных шины I<sup>2</sup>C.
4. Нажимайте кнопку **Polarity** (Полярность) под дисплеем, пока не будет выбрана положительная полярность (**Positive**, Фронт).
5. Нажмите кнопку **Set Mark When** (Установить метку, когда...) под дисплеем и кнопку **Pulse Width <** (Длительность импульса <) сбоку от дисплея. Используя регулятор **Multipurpose a**, установите значение длительности импульса около 5 мкс.
6. Нажмите кнопку **Threshold** (Порог) под дисплеем и кнопку **Threshold** (Порог) сбоку от дисплея. Используя регулятор **Multipurpose a**, установите значение порога равное примерно половине амплитуды сигнала на канале 2. На этом уровне будет измеряться длительность импульса.
7. Нажмите кнопку **Search** (Поиск) под дисплеем. Нажимайте кнопку **Search Marks** (Поиск меток) сбоку от дисплея, пока не будет выбрана опция **On** (Включено). Обратите внимание, что количество найденных событий отображается в нижнем левом углу экрана.
8. Нажмите клавишу **Menu Off** для отключения меню. Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



## Задача 2. Пользовательские метки и метки поиска

1. Нажмите клавишу «←» или «→» для перемещения к одной из меток поиска.
2. Вращая внутреннюю ручку регулятора Wave Inspector по часовой стрелке, установите величину развертки 4 мкс/дел. Обратите внимание, что отмеченные импульсы имеют длительность менее 5 мкс.
3. Обратите внимание, что треугольники меток поиска — полые, в отличие от сплошных треугольников пользовательских меток.
4. Нажмите кнопку **Search** (Поиск) под дисплеем для вызова меню **Search** (Поиск).
5. Нажмите кнопку **Save All Marks** (Сохранить все метки) сбоку от дисплея. Обратите внимание, что треугольники меток поиска стали сплошными. Эти метки (и, соответственно, результаты поиска) сохранены в памяти прибора, поэтому можно проводить поиск по другим условиям поиска.
6. Нажмите кнопку **Clear All Marks** (Удалить все метки) сбоку от дисплея, чтобы удалить все метки поиска.

### Задача 3. Запуск по критериям поиска

1. Поиск и запуск в осциллографах серии DPO4000 тесно связаны. Если мы хотим осуществить запуск по сигналу, который соответствует условиям поиска (сигнал на канале 2 с шириной импульса менее 5 мкс), мы можем войти в меню запуска и установить те же условия запуска. Но это можно сделать проще.

2. Нажмите кнопку **Search** (Поиск) под дисплеем и кнопку **Copy Search Settings to Trigger** (Копировать настройки поиска в запуск) сбоку от дисплея. Обратите внимание, что индикатор запуска в нижнем правом углу дисплея изменился.

3. Нажмите клавишу **Single** (Одиночный) на передней панели для захвата одного сигнала.

4. Вращая внешнюю ручку регулятора Wave Inspector, установите метку запуска в центр масштабированного (нижнего) окна.  
Обратите внимание, что осциллограф захватил сигнал с импульсом, длительность которого менее 5 мкс.

5. Обратите внимание, что в боковом (вертикальном) меню есть пункт **Copy Trigger Setting to Search** (Копировать настройки запуска в поиск). При нажатии этой кнопки Вы можете найти в захваченном сигнале все события, соответствующие условию запуска.

### Задание 3. Анализ потока данных шины I<sup>2</sup>C

#### Задача 1. Настройка

1. Не изменяя настроек, оставшихся после выполнения задания 2:

- нажмите кнопку **Search** (Поиск) под дисплеем для вызова меню **Search** (Поиск);
- отключите метки поиска путем нажатия кнопки **Search Marks** (Метки поиска) сбоку от дисплея, пока не будет выбрана опция **Off** (Выключено);
- нажмите клавишу **Menu Off** для отключения меню.
- установите горизонтальный масштаб (Horizontal **Scale**) на величину **400 μs/div**, используя внутреннюю ручку регулятора Wave Inspector;

2. Установите нижнее (масштабированное) окно на начало пакета (тактовый импульс и импульс данных на спаде, затем следует пачка тактовых импульсов).

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



3. Выполните следующие шаги:

- нажмите клавишу **B1**;
- нажмите клавишу **Bus B1** (Шина B1) под дисплеем для отображения поддерживаемых стандартов шин;
- нажимайте клавишу **Bus B1** (Шина B1) под дисплеем, пока не будет выбрана опция **I<sup>2</sup>C**;

- нажмите клавишу **Define Inputs** (Определить входы) под дисплеем; в боковом меню подтвердите, что тактовые сигналы **SCLK** поступают на канал 1, а сигналы данных **I2C SDA** — на канал 2;
- нажмите клавишу **Thresholds** (Пороги) под дисплеем и с помощью регуляторов **Multipurpose a** и **Multipurpose b** установите значение порога равное примерно половине амплитуды сигналов на каждом канале;
- обратите внимание, что на дисплее появилась новая осциллограмма;
- нажмите клавишу **Menu Off** для отключения меню;
- используя регулятор **Multipurpose a**, установите новую осциллограмму (сигнал шины) ниже осциллограммы канала 2.

4. Используя органы управления Wave Inspector, увеличьте масштаб и найдите на сигнале шины следующие элементы:

- начало пакета — зеленая вертикальная черта;
- адрес — желтая рамка;
- данные, передающиеся в пакете — голубая рамка;
- отсутствие подтверждения — восклицательный знак в красной рамке;
- конец пакета — красная вертикальная черта.

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



## Задача 2. Декодирование с помощью таблицы событий

1. Декодированные данные могут быть также представлены в виде таблицы событий, которая похожа на список состояний на дисплее логического анализатора. Нажмите клавишу **Display As** (Отобразить как) под дисплеем для вывода меню форматов отображения информации.
2. Нажимайте кнопку **Event Table** (Таблица событий) сбоку от дисплея, пока не будет выбрана опция **On** (Включено).
3. Обратите внимание, что таблица отображает все декодированные события, содержащиеся во всем захваченном сигнале, с метками времени для каждого пакета.

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



Регулятор **Multipurpose a** позволяет просматривать все содержимое таблицы.

4. Нажимайте кнопку **Event Table** (Таблица событий) сбоку от дисплея, пока не будет выбрана опция **Off** (Выключено).

### Задача 3. Последовательный запуск

1. Нажмите кнопку **Trigger Menu** (Меню запуска) на передней панели.
2. Нажмите кнопку **Type** (Тип) под дисплеем. Обратите внимание, что появился новый тип запуска — **Bus** (Шина).
3. Нажимайте кнопку **Type** (Тип) под дисплеем, пока не будет выбран тип запуска **Bus** (Шина).
4. Обратите внимание, что установки шины в нижнем меню соответствуют установкам, выполненным Вами ранее, поэтому нет необходимости их повторять.
5. Нажимайте кнопку **Source Bus** (Источник шины) под дисплеем, пока не будет выбрана опция **B1** (которая является шиной I<sup>2</sup>C).
6. Нажмите кнопку **Trigger On** (Запуск включен) под дисплеем и обратите внимание на все значимые компоненты шины I<sup>2</sup>C, по которым может быть осуществлен запуск.
7. Чтобы осуществить последовательный запуск, например, по пакету с 7-битным шестнадцатеричным (hex) адресом 76, необходимо:
  - нажимать кнопку **Trigger On** (Запуск включен) под дисплеем, пока не будет выбрана опция **Address** (Адрес);
  - нажать кнопку **Address** (Адрес) под дисплеем;
  - нажимать кнопку **Addressing Mode** (Вид адреса) сбоку от дисплея, пока не будет выбрана опция **7-bit** (7 бит);
  - нажать кнопку **Address** (Адрес) сбоку от дисплея;
  - ввести шестнадцатеричный адрес 76 путем выбора каждой цифры с помощью регулятора **Multipurpose a** и установки ее значения ее с помощью регулятора **Multipurpose b**. Обратите внимание, что аналогичным образом Вы можете ввести адрес также в бинарном виде.
8. Нажмите клавишу **Single** (Одиночный) на передней панели для захвата одного сигнала.
9. Увеличьте масштаб в позиции запуска и убедитесь, что осуществлен захват пакета с адресом 76.

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



#### Задача 4. Последовательный поиск

1. Нажмите кнопку **Search** (Поиск) на передней панели и кнопку **Search Type** (Тип поиска) под дисплеем. Появится выпадающее меню со списком доступных типов поиска, включая тип **Bus** (Шина).
2. Нажимайте кнопку **Search Type** (Тип поиска) под дисплеем, пока не будет выбран тип поиска **Bus** (Шина).
3. Нажимайте кнопку **Source Bus** (Источник шины) под дисплеем, пока не будет выбрана опция **B1** (которая является шиной I<sup>2</sup>C). Обратите внимание, что установки шины в этом меню соответствуют установкам, выполненным Вами ранее, поэтому нет необходимости их повторять.
4. Нажмите кнопку **Search For** (Искать) под дисплеем и обратите внимание на все значимые компоненты шины I<sup>2</sup>C, по которым может быть осуществлен запуск.
5. Нажимайте кнопку **Search For** (Искать) под дисплеем, пока не будет выбрана опция **Start** (Старт).



6. Нажмите кнопку **Search** (Поиск) под дисплеем. Нажимайте кнопку **Search Marks** (Метки поиска) сбоку от дисплея, пока не будет выбрана опция **On** (Включено). Обратите внимание, что количество найденных событий отображается в нижнем левом углу экрана.

7. Нажмите клавишу **Menu Off** для отключения меню.

8. Используйте клавиши «←» и «→» для перемещения между метками поиска.

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



9. Для поиска пакетов с 7-битным шестнадцатеричным (hex) адресом, начинающимся с 5 (5X hex), необходимо:

- нажимать кнопку **Search For** (Искать) под дисплеем, пока не будет выбрана опция **Address** (Адрес).

- нажимать кнопку **Addressing Mode** (Вид адреса) сбоку от дисплея, пока не будет выбрана опция **7-bit** (7 бит);

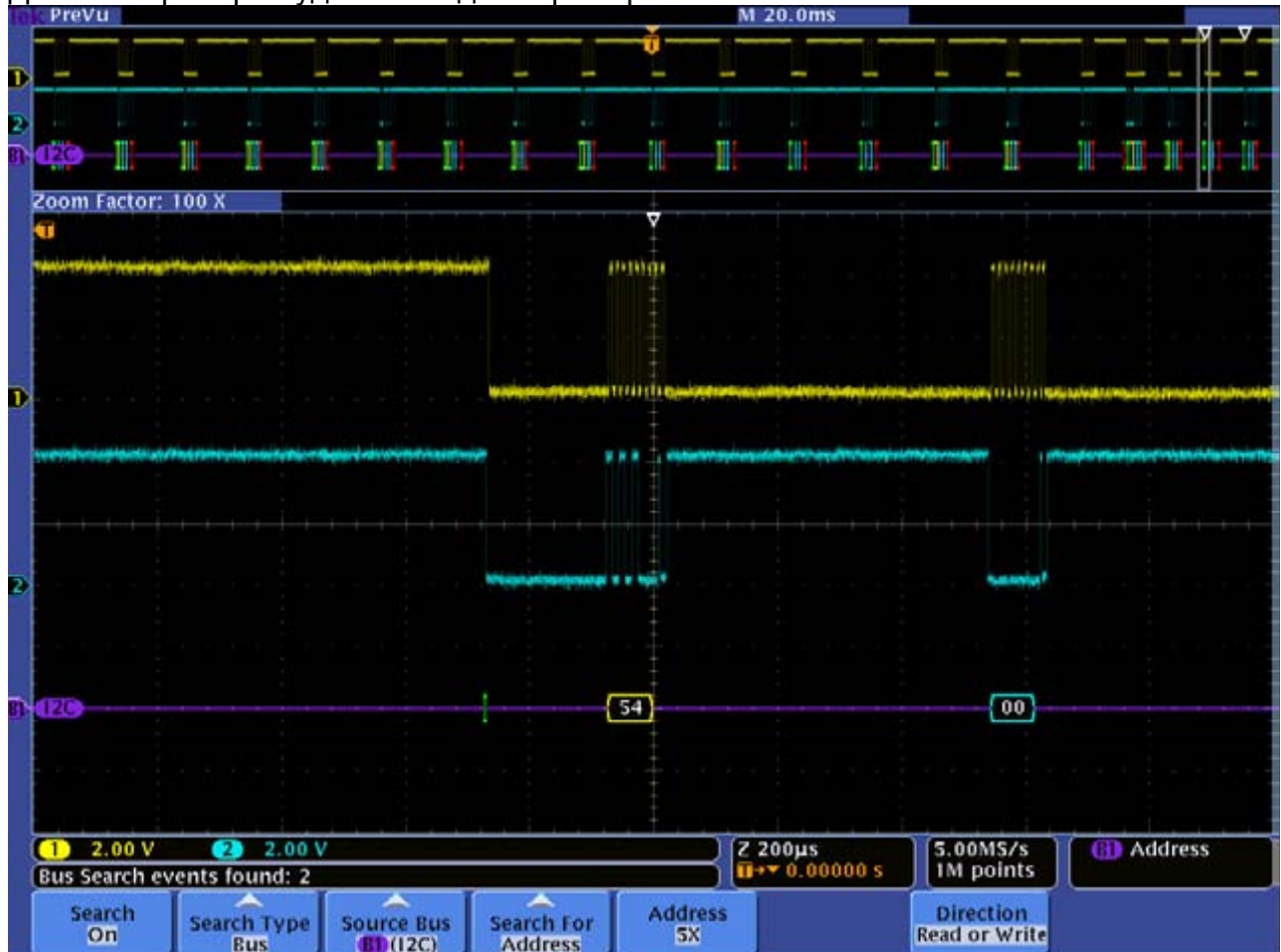
- нажать кнопку **Address** (Адрес) сбоку от дисплея, пока не будет отображено меню **Address** (Адрес);

- ввести шестнадцатеричный адрес 5X путем выбора каждой цифры с помощью регулятора **Multipurpose a** и установки ее значения ее с помощью регулятора **Multipurpose b**. Обратите внимание, что аналогичным образом Вы можете ввести адрес также в бинарном виде.

- обратите внимание, что индикатор количества найденных событий в нижнем левом углу экрана динамически обновляется при изменении адреса;
- Нажмите клавишу **Menu Off** для отключения меню

10. Используйте клавиши «←» и «→» для перемещения между метками поиска.

Дисплей прибора будет выглядеть примерно так:



### Вопросы по лабораторной работе

1. Какая функция осциллографов серии DPO4000 позволяет работать с записями большой длины, а эффективно проводить анализ осциллограмм?
2. Какая ручка регулятора Wave Inspector используется для управления панорамированием? Масштабированием?
3. Какие критерии поиска доступны в осциллографах серии DPO4000?
4. Чем отличаются пользовательские метки от меток поиска?
5. Как определить количество найденных событий в результате поиска по какому-либо критерию?
6. В каком виде могут быть представлены декодированные данные шины I<sup>2</sup>C?
7. Какие типы последовательного запуска доступны в осциллографах серии DPO4000?