МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Физический факультет
Кафедра общей физики

С.Ю. Таскаев

ЦИФРОВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Учебно-методическое пособие

Новосибирск
2012

УДК 528.08
ББК В3я73-5

С.Ю. Таскаев. Цифровой осциллограф: учебно-методическое пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. 18 с.

Учебно-методическое пособие представляет собой практическое руководство по применению цифрового осциллографа для выполнения экспериментальных работ на практикумах Физического факультета НГУ. Пособие дополняет методические пособия по выполнению конкретных работ на практикумах и прилагаемое к осциллографу руководство пользователя. В пособии объясняется устройство цифрового осциллографа, описываются основные органы его управления, излагаются основные принципы измерения и даются советы по правильному применению осциллографа, подкрепленные выполнением упражнений. Пособие представляет интерес для преподавателей, студентов-физиков, научных сотрудников и инженеров, ведущих экспериментальные исследования с применением современных цифровых осциллографов.

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф., зав. лаб. ИТПМ СО РАН А.Д. Косинов.

Учебно-методическое пособие подготовлено в рамках реализации Программы развития НИУ-НГУ на 2009–2018 г.г.

© Новосибирский государственный университет, 2012
© С.Ю. Таскаев, 2012

Оглавление

Введение ……... 4
Устройство цифрового осциллографа ……... 5
Основные органы управления цифровым осциллографом …… 6
Экран осциллографа ……... 8
Несколько полезных советов ……. 10
Редко используемые функции ……... 11
Практические задания ……. 12
Задание 1. Измерение скорости света ..…… 12
Задание 2. Измерение ускорения свободного падения …….. 14
Задание 3. Изучение процесса нагревания нити накаливания лампочки …….. 16
Требования к отчету …… 17
Благодарности …….. 18
Литература ……..... 18

Студенты физического факультета в процессе обучения неизбежно пользуются цифровым осциллографом – основным оперативным инструментом экспериментатора. К осциллографу всегда прилагается руководство пользователя объемом не менее 200 страниц, в котором подробно описываются назначение всех кнопок и ручек, а также приводится исчерпывающая спецификация. Несмотря на наличие руководства, студенты испытывают трудности в освоении осциллографа и допускают типичные ошибки при его использовании. В данном пособии в краткой форме описывается устройство цифрового осциллографа, объясняются основные принципы измерения и даются советы по его правильному использованию.

Рис. 1. Фотография типичного цифрового осциллографа

Устройство цифрового осциллографа

Осциллограф – это прибор для измерения напряжения, как постоянного, так и переменного. Электрический сигнал, поданный на вход осциллографа, поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который преобразует сигнал в последовательность значений, соответствующих напряжению в каждый интервал времени. Затем эти значения в графическом виде выводятся на экран.

По дороге до АЦП сигнал может усиливаться и преобразовываться.

Первая процедура выполняется усилителем, который должен одинаково и в заданное число раз усиливать сигналы разной амплитуды. И хоть в усилителе неизбежно присутствуют нелинейные искажения и он подвержен влиянию температуры, тем не менее погрешность коэффициента усиления не превышает нескольких процентов. Калиброванные коэффициенты усиления задаются регулятором на панели, при этом следует иметь в виду, что в зависимости от выбранного в меню режима поворот регулятора на одно деление может менять коэффициент в разы или на доли процента.

Вторая процедура, преобразование, реализуется разделительным конденсатором, подключаемым в разрыв цепи. Поскольку через конденсатор не протекает постоянный ток, в этом случае можно аккуратно исследовать высокочастотную наводку постоянного сигнала большой амплитуды. В меню этот режим называется режимом измерения переменного тока (AC). Выбор режима постоянного тока (DC) позволяет измерять и постоянную, и переменную компоненту входящего сигнала.

В используемом по умолчанию режиме сбора данных – выборке – АЦП преобразует сигнал в последовательность значений по равномерно распределенным интервалам времени. Это означает, что в каждом интервале времени измерение напряжения производится в фиксированном месте, например, посередине. Такой режим в большинстве случаев позволяет точно отобразить сигнал. Однако если необходимо отследить быстрые флуктуации сигнала, которые могут попадать в диапазон между точками регистрации, рекомендуется использовать режим пиковой детекции.

Частота измерения (частота дискретизации) задается регулятором СЕК/ДЕЛ (SEC/DIV). Благодаря высокой стабильности применяемых генераторов частоты измерение временных промежутков можно производить со значительно более высокой точностью, чем амплитуды сигнала.

Осциллограф может работать (измерять) в автоматическом режиме и ждущем. В первом режиме происходит непрерывное сканирование сигнала и его отображение. Этот режим полезен при начале выполнения работы –

он позволяет убедиться в наличии сигнала и выбрать правильный масштаб по вертикали. Ждущий режим удобен для измерения – развертку можно запустить в нужный момент времени, вывести сигнал на экран и не спеша с помощью курсоров его измерить. Запуск измерения в нужный момент времени реализуется блоком синхронизации. Обычно синхронизацию осуществляют по фронту сигнала: достаточно регулятором выставить напряжение, а кнопкой меню наклон – рост или спад. Как только поступающий на вход сигнал достигнет выставленного значения напряжения и он в этот момент будет, например, нарастающим, как в меню, то запустится развертка, и сигнал отобразится на экране. Цифровой осциллограф обладает замечательной особенностью – он видит предысторию сигнала до появления запуска. В режиме готовности происходит постоянная регистрация и обновление всех данных, но вывод на экран осуществляется только при запуске, при этом можно вывести и данные, предшествующие моменту запуска.

Основные органы управления цифровым осциллографом

На передней панели осциллографа достаточно много ручек и кнопок. Они объединены в функциональные группы (рис. 2.):

- меню
- вертикальная развертка
- горизонтальная развертка
- запуск
- кнопки меню дисплея

При нажатии кнопки ПУСК/СТОП (RUN/STOP) будет осуществляться измерение сигнала, а в случае периодически повторяющихся сигналов – постоянное обновление измерений. Нажатие кнопки ОДИНОЧН ЗАПУСК (SINGLE SEQ) позволяет измерить один раз и не бояться, что произойдет обновление. Кнопка АВТОУСТ (AUTO SET) предназначена для получения изображения с автоматически установленными масштабами. Режим AUTO SET очень удобен для быстрого получения устойчивого изображения сигнала, но может случиться так, что это не совсем то, что вам нужно.

С помощью кнопки СБОР ДАННЫХ (ACQUIRE) можно изменить режим сбора данных с выборки на детектирование пиков или усреднение, ИЗМЕРЕНИЯ (MEASURE) – определить набор автоматически выполняемых осциллографом измерений, КУРСОР (CURSOR) – вызвать появление курсоров для измерения напряжения или времени, ЭКРАН (DISPLAY) – изменить режим работы экрана с традиционной временной развертки на XY, когда по горизонтальной оси будет разворачиваться один из посту-

пающих на вход осциллографа сигналов. Режим XY удобен для измерения сдвига фаз и частот сигналов методом фигур Лиссажу.

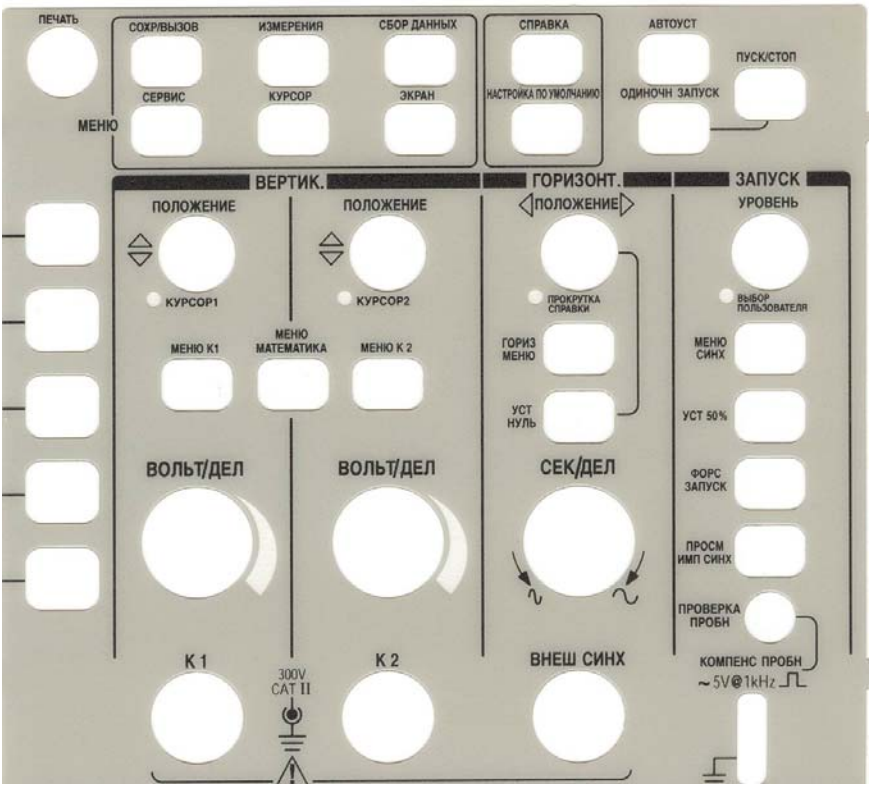

Рис. 2. Органы управления осциллографом

В группе ВЕРТИК (VERTICAL) в каждом канале регулятором ПОЛОЖЕНИЕ (POSITION) можно смещать по вертикали изображение сигнала. У этих ручек есть и альтернативная функция – смещение курсоров при измерении, при этом загорается индикатор под ручкой. Другим регулятором ВОЛЬТ/ДЕЛ (VOLT/DIV) устанавливается масштаб по вертикали, индицируемый внизу экрана. Кнопкой МЕНЮ К 1 (CH 1 MENU) вызывается меню 1-го канала, в котором можно установить тип сигнала, проверить, не установлен ли множитель в предположении возможного использования пробника и инвертировать для удобства сигнал. Нажатие кнопки МЕНЮ К 1 с удержанием позволяет отключить или обратно вклю-

чить индикацию на экране сигнала канала. Кнопка МЕНЮ МАТЕМАТИКА (MATH MENU) позволяет вызвать меню для сложения или вычитания сигналов или их быстрого Фурье-преобразования. При нажатии этой кнопки на экран сразу выводится результат математической обработки, который можно убрать повторным нажатием кнопки. При работе полезно обращать внимание на левый край экрана – цифрами 1 и 2 указывается номер индицируемого канала, а буквой М – результат математической обработки.

В группе ГОРИЗОНТ (HORIZONTAL) ручкой ПОЛОЖЕНИЕ (POSITION) устанавливается положение запуска и осуществляется смещение по горизонтали изображений сигналов. Регулятор СЕК/ДЕЛ (SEC/DIV) задает масштаб по горизонтали, индицируемый внизу экрана. Кнопкой ГОРИЗ МЕНЮ (HORIZ MENU) вызывается меню развёртки изображения по горизонтали, а кнопкой УСТ НУЛЬ (SET TO ZERO) момент запуска устанавливается в середину экрана.

В группе ЗАПУСК (TRIGGER) регулятором УРОВЕНЬ (LEVEL) устанавливается уровень запуска – уровень напряжения, по достижении которого на фронте (или на спаде) происходит запуск. Кнопкой МЕНЮ СИНХ (TRIG MENU) вызывается меню запуска, в котором можно выбрать режим запуска – автоматический или ждущий, источник сигнала запуска – канал 1, 2 или внешний (разъем ВНЕШ СИНХ (EXT TRIG)) и условие запуска – на нарастающий сигнал или спадающий. Обычно применяется запуск по фронту (Edge). Альтернативные – по длительности импульса при задаваемых условиях (Pulse) или видеосигналу (Video) – удобны для выполнения специализированных работ. Нажатие кнопки ФОРС ЗАПУСК (FORCE TRIG) позволяет осуществить форсированный запуск и измерить сигнал, несмотря на то, что условие запуска не выполнено.

Экран осциллографа

На экране осциллографа отображается достаточно много информации о режиме работы и установленных параметрах, поэтому умение читать эту информацию существенно помогает в проведении измерений. На рис. 3 приведена фотография экрана осциллографа с выносками, поясняющими тот или иной значок или текст.

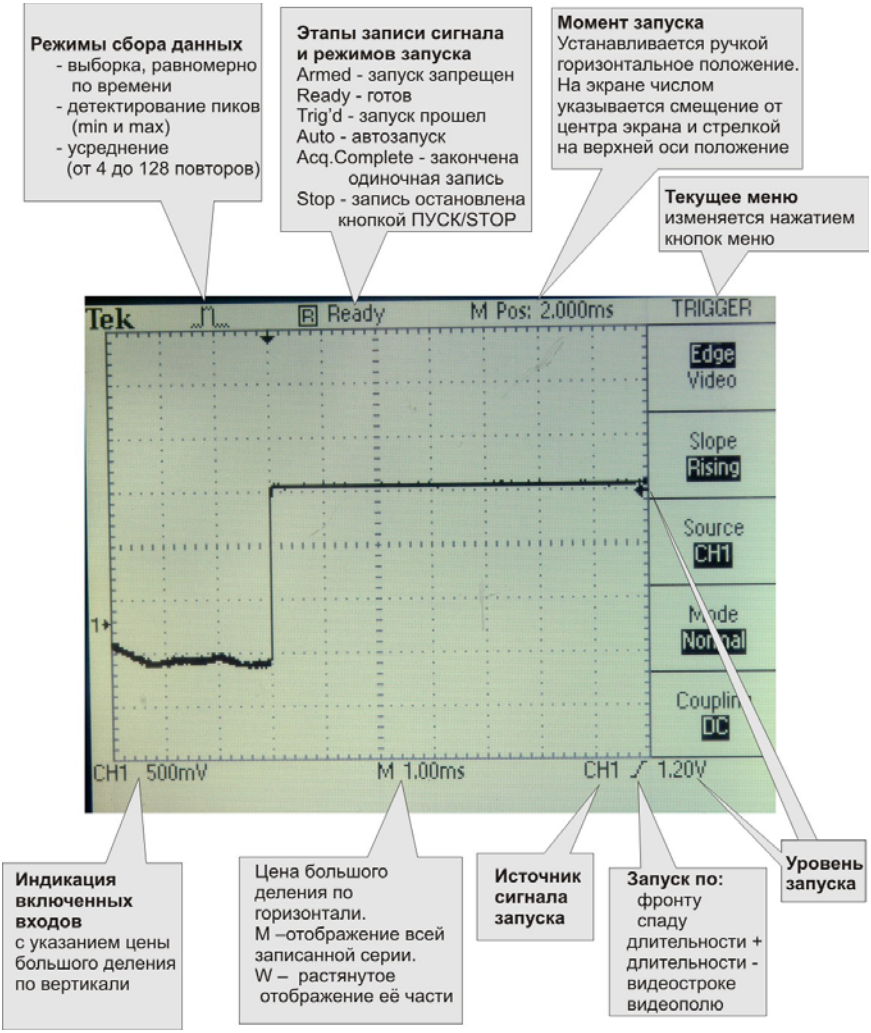

Рис. 3. Вид экрана осциллографа с пояснениями

Режимы сбора данных. Значком отображается стандартный режим выборки, когда измерения производятся через одинаковый интервал времени. В режиме пиковой детекции , используемом для обнаружения коротких всплесков, в каждом интервале регистрируются и отображаются максимальные и минимальные значения сигнала. При наличии в сигнале

высокого уровня шумов его осциллограмма при пиковой детекции содержит большие черные или заштрихованные области. Сбор данных в режиме усреднения ⎍ используется для снижения случайных или некоррелированных шумов в сигнале. Количество периодов для усреднения можно установить 4, 16, 64 или 128.

Режимы запуска. Режимы запуска достаточно полно описаны выше, а этапы записи сигнала должны быть понятны на выноске рис. 3.

Источник запуска. Осциллограф может запускаться от сигнала, поступающего на вход 1-го канала, на вход 2-го канала, на разъем внешнего запуска (имеется возможность уменьшить уровень синхронизирующего сигнала в 5 раз) или от напряжения в сети, от которого запитывается осциллограф.

Запуск может осуществляться по фронту нарастающего сигнала ⎍, по фронту спадающего сигнала ⎍, путем синхронизации строки видеосигнала ⎍ или его поля ⎍, а также по длительности положительного ⎍ или отрицательного ⎍ сигнала.

Маркер на верхней горизонтальной оси показывает положение синхронизации, а на правой вертикальной – её уровень. На левой вертикальной оси маркеры 1 и 2 указывают нулевые уровни сигналов, если эти каналы включены. Индикация буквы М указывает на проведенную математическую обработку – сложение-вычитание сигналов или результат быстрого Фурье-преобразования, букв А и В – сохраненные осциллограммы Ref A и Ref B.

Несколько полезных советов

Цель любого эксперимента – не только что-либо измерить, но измерить это с максимально возможной точностью. Поэтому основной совет состоит в том, чтобы измеряемый сигнал занимал как можно больше места на экране.

Второй совет заключается в масштабировании сигнала после того, как он измерен осциллографом и выведен на экран. Обычные АЦП характеризуются 8-разрядным разрешением, что означает, что по вертикали располагается 256 точек. Длина записи осциллографа составляет 2500 выборок на каждый канал, что означает, что по горизонтали располагается 2500 точек. Типичный жидкокристаллический дисплей осциллографа, характеризующийся 320 пикселами по горизонтали и 240 по вертикали, не позволяет достоверно отобразить все эти точки, поэтому масштабирование по горизонтали очень полезно для увеличения точности. В этом случае следует использовать курсоры и смещение сигнала.

Не доверяйтесь полностью измерениям, производимым осциллографом автоматически, – проверьте их. Наличие высокочастотной наводки может исказить результат.

Хотя входное сопротивление осциллографа достаточно велико – 1 МОм, подключение осциллографа к схеме со сравнимым или большим выходным сопротивлением изменяет измеряемую величину.

Редко используемые функции

Из редко используемых функций, с которыми можно ознакомиться в подробном руководстве пользователя, стоит обратить внимание на следующие.

Для того чтобы быстро и просто измерить длительность сигнала (ширину на высоте *1*/*e*) удобно установить амплитуду сигнала в 5,4 клетки и сдвинуть нулевой уровень сигнала на 2 клетки ниже центральной горизонтальной линии, которая лучше размечена, чем другие линии. Подбирать амплитуду сигнала следует регулятором ВОЛЬТ/ДЕЛ (VOLT/DIV), для чего предварительно в меню канала в ячейке ВОЛЬТ/ДЕЛ (VOLT/DIV) изменить чувствительность с обычно используемой ГРУБО (COARSE) на ТОЧНО (FINE).

Через меню СОХР/ВЫЗОВ (SAVE/RECALL) можно записать в память осциллографа одну или две осциллограммы, а затем воспроизвести на экране для сравнения с другим сигналом.

Практические задания

Задание 1. Измерение скорости света.

В работе 3.2 измерительного практикума [1] короткий электромагнитный импульс посылают в длинный кабель, один конец которого в месте посылки сигнала подключен к осциллографу, а другой разомкнут. На экране осциллографа регистрируют посылаемый сигнал и, с некоторой задержкой, отраженный (рис. 5). Измерив задержку и зная длину кабеля, легко можно определить скорость электромагнитной волны в кабеле.

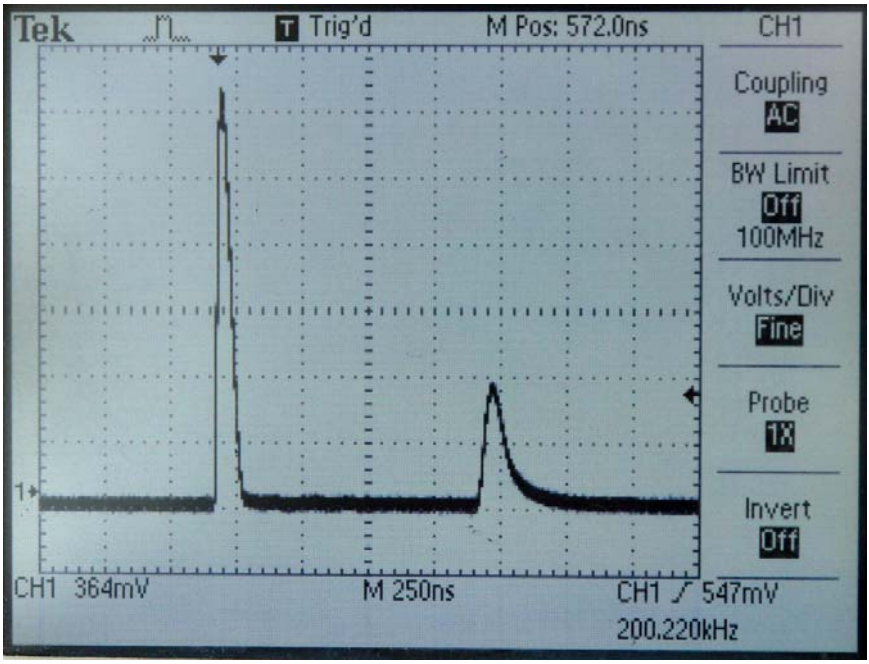

Рис. 4. Осциллограмма сигнала при подаче короткого электромагнитного импульса в длинный коаксиальный кабель

Весь вопрос: “между чем и чем измерять?” Ответ кажется очевидным – между пиками. Но не все так просто. Конечно, можно измерить между пиками, но только в том случае, если импульсы подобны. Таким образом, в первую очередь, следует убедиться в том, что посылаемый импульс подобен отраженному.

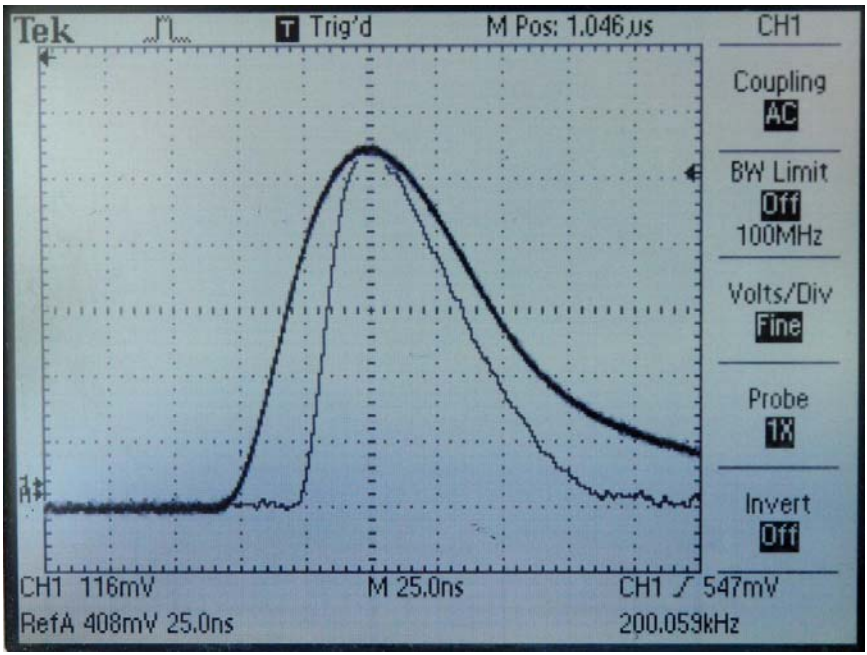

Рис. 5. Осциллограммы посылаемого сигнала, извлеченного из ячейки памяти RefA, и текущего отраженного (более толстая линия). Амплитуды сигналов специально уравнены для выяснения их подобности.

Получите осциллограмму сигнала, на которой видны посылаемый и отраженный импульсы. Передвиньте изображение посылаемого импульса в центр экрана и регулятором горизонтальной развертки разверните его. Измерьте ширину импульса на высоте *1*/*e*, а если он несимметричный – полуширины относительно максимума. Используя меню СОХР/ВЫЗОВ (SAVE/RECALL) сохраните этот развернутый сигнал в памяти осциллографа, например, как Ref A. Сохраненный сигнал высвечивается на экране, о чем информирует маркер А на левой вертикальной оси, а сведения о нем – после надписи RefA в левом нижнем углу экрана. После этого верните сигнал к первоначальной развертке, сдвиньте его так, чтобы в центр экрана поместился уже отраженный импульс, и проделайте все то, что проделали с посылаемым импульсом с целью измерения ширины импульса. Можно качественно убедиться в подобности импульсов или в ее отсутствии, сравнивая его с сохраненным в Ref A импульсом при той же горизонтальной развертке, при этом можно изменить чувствительность по напряжению (см. рис. 5).

В случае, если ширины импульсов окажутся разными, подумайте, между чем и чем следует измерять время распространения импульса по кабелю, какова будет ошибка измерения и почему такое может быть?

Задание 2. Измерение ускорения свободного падения.

В работе 7 измерительного практикума [2] предлагается измерить ускорение свободного падения баллистическим методом, когда падающее вниз тело движется с ускорением. Для измерения времени пролета фиксированного расстояния используются катушки, в которых наводится сигнал при пролете через них магнитика (рис. 6).

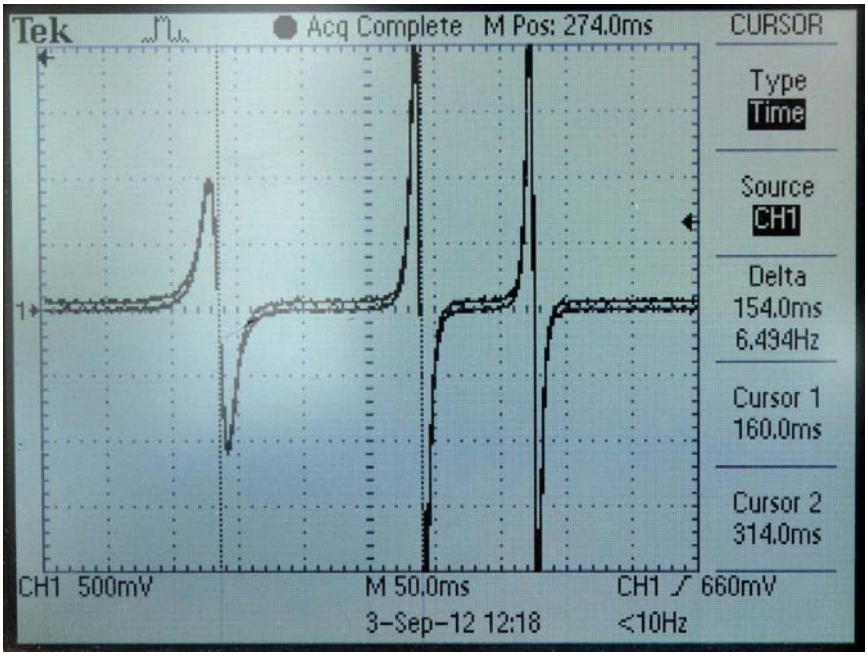

Рис. 6. Осциллограмма напряжения, индуцируемого в катушках магнитиком при его свободном падении

Первым делом следует убедиться в повторяемости сигнала, для чего одну из осциллограмм записать в памяти и высвечивать ее при проведении измерений.

Точность измерения ускорения свободного падения определяется, в основном, точностью определения разности времен пролета тела между 1 и 2

катушками и между 2 и 3 катушками. Это время можно измерить по осциллограмме, на которой видны все три импульса (рис. 6), но можно повысить точность измерения на порядок, если применить следующую процедуру. Установите первый импульс в центр экрана, разверните его по горизонтали на весь экран (рис. 7) и курсором измерьте момент времени перехода сигнала через ноль (это время отсчитывается от времени запуска), не забыв, естественно, записать точность этого измерения. Далее для удобства сверните сигнал так, чтобы опять были видны все три импульса, подвиньте теперь уже второй импульс в центр экрана и проделайте ту же процедуру. Повторите её и с третьим импульсом. Теперь вы будете знать с хорошей точностью абсолютные времена прохождения магнитика через центр всех трёх катушек и сможете достаточно точно определить ускорение падения тела.

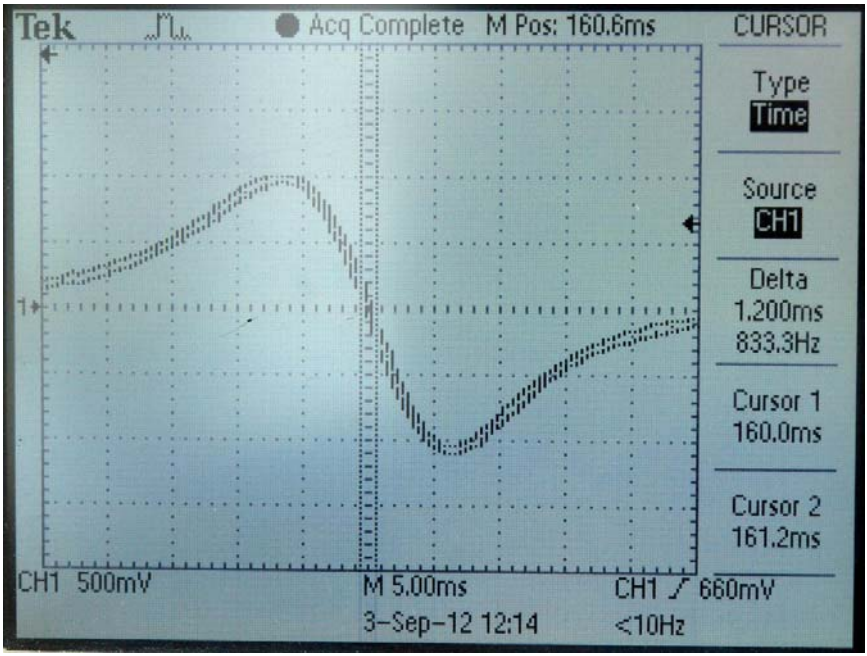

Рис. 7. Развернутая по времени осциллограмма напряжения, индуцируемого в первой катушке

Задание 3. Изучение процесса нагревания нити накаливания лампочки.

В работе 3.1 измерительного практикума [1] предлагается изучить процесс нагревания нити накаливания лампочки подключением ее к блоку питания, обеспечивающему постоянный ток. Регуляторами горизонтальной и вертикальной развертки добейтесь того, чтобы получаемая осциллограмма занимала большую часть экрана, причем был бы виден уровень сигнала до подачи тока на лампочку (рис. 8). Можете сохранить одну из осциллограмм в памяти осциллографа и сравнивать ее с последующими подачами питания на лампочку. Если увидите изменения, подумайте, с чем это может быть связано. С помощью курсоров измерьте уровень начального скачка напряжения и уровень установившегося напряжения.

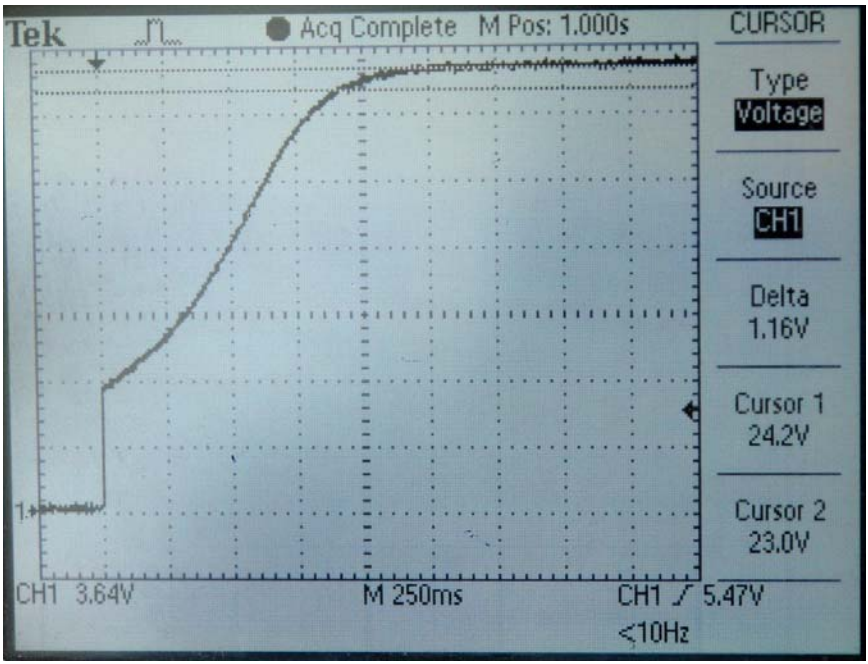

Рис. 8. Осциллограмма напряжения при пропускании постоянного тока через нить накаливания лампочки

При измерении времени нарастания сигнала встает такой простой вопрос: а как его измерить, если сигнал плавно стремится к максимальному значению? В этом случае можно воспользоваться следующим приемом. Часто временное поведение сигнала хорошо описывается экспоненциаль-

ной функцией, такой как $\exp(-t/\tau)$ или $1 - \exp(-t/\tau)$, где τ – характерное время. В данном случае с лампочкой за исключением области начального скачка сигнал ведет себя подобно функции $1 - \exp(-t/\tau)$. Для определения характерного времени τ следует измерить время, за которое сигнал достигает 95% максимального значения, и разделить его на 3. Дело все в том, что при $t/\tau = 3$ функция $1 - \exp(-3) = 0{,}95$. Когда вы измерите уровень установившегося напряжения, то легко определить 1/20 этого значения. Далее один курсор в режиме измерения напряжения установите на максимальное значение, а второй на 1/20 величины ниже (как на рис. 6). Пересечение этого курсора с сигналом как раз показывает момент достижения 95% максимального значения.

Требования к отчету

В отчете по работе необходимо представить:

по заданию 1:

- Зарисованные или распечатанные формы посылаемого в коаксиальный кабель электромагнитного импульса и отраженного.
- Значения характерной ширины посылаемого и отраженного импульсов с указанием погрешности.
- Значение измеренной скорости распространения электромагнитного сигнала в коаксиальном кабеле с указанием погрешности.

по заданию 2:

- Нарисованное или распечатанное характерное временное поведение сигнала при падении магнитика.
- Значение измеренного ускорения свободного падения с указанием точности измерения.

по заданию 3:

- Нарисованное или распечатанное характерное временное поведение напряжения при включении лампочки.
- В виде таблицы для трёх значений тока (от только-только начинающей светиться нити накаливания до яркого свечения) измеренные значения напряжений и характерного времени нарастания сигнала, а также посчитанные сопротивления лампочки в начальный момент времени и при стационарном длительном свечении.
- Значения температуры нити накаливания лампочки для трёх значений тока при стационарном длительном свечении.

Вопросы основные:

1. Что можно измерить осциллографом?
2. Как устроен цифровой осциллограф?
3. Какой основной недостаток цифрового осциллографа?
4. Какова точность измерения временных промежутков и амплитуды сигнала, произведенных вами?
5. Какова точность измерения ускорения свободного падения в задании 2?

Вопросы дополнительные:

1. Почему происходит преломление света?
2. Что такое радуга и почему она есть?
3. Когда и почему обычно перегорают лампочки накаливания?
4. При какой температуре начинает светиться металл?
5. Если A и B равны по единице с точностью по 10%, то какой точностью будет обладать результат их произведения, деления, сложения и вычитания?

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность А.А. Кочееву за предложение написать данное пособие, актуальное для выполнения практикумов на Физическом факультете НГУ.

Литература

[1] Л. Н. Смирных, А. Г. Костюрина. Изучение работы осциллографа. Учебно-методическое пособие. Новосибирск: НГУ,2007. - 55 с.

[2] А.В. Багинский, Ю.И. Бельченко, А.М. Задорожный, и др. Описание лабораторных работ по физике. Измерительный практикум. Часть 2. Под ред. А.В. Багинского. Новосибирск: Новосиб. ун-т, 1999. – 95 с.