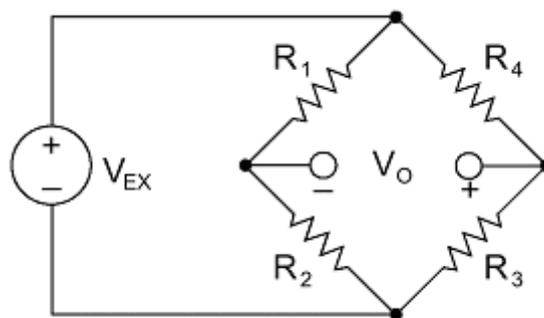


Руководство к лабораторному практикуму:

Измерения и измерительные приборы

С использованием набора Measurements Part для NI ELVIS III



Лабораторная работа 6:
Проект системы измерения деформации

All rights reserved. Данный ресурс и любые его части не могут быть скопированы или в любой форме воспроизведены иным способом без письменного разрешения издателя.

National Instruments относится с уважением к чужой интеллектуальной собственности и призывает к этому же своих читателей. Данный ресурс защищен законами об охране авторских прав и прав на интеллектуальную собственность. Вы имеете право передавать программное обеспечение и прочие материалы, разработанные с помощью описанного в данном ресурсе программного обеспечения, третьим лицам в соответствии с условиями приобретенной вами лицензии и другими законодательными ограничениями.

LabVIEW и National Instruments являются торговыми марками National Instruments.

Названия других упомянутых торговых марок и изделий являются собственностью их правообладателей.

Дополнительные ограничения ответственности: Читатель принимает все риски от использования данного ресурса и всей информации, теорий и программ, содержащихся или описанных в нем. Данный ресурс может содержать технические неточности, типографические ошибки, прочие ошибки и упущения, и устаревшую информацию. Ни автор, ни издатель не несут ответственности за любые ошибки или неточности, за обновление любой информации и за любые нарушения патентного права и прочих прав на интеллектуальную собственность.

Ни автор, ни издатель не дают никаких гарантий, включая, но не ограничиваясь, любую гарантию на достаточность ресурса и любой информации, теорий или программ, содержащихся или описанных в нем, и любую гарантию, что использование любой информации, теорий или программ, содержащихся или описанных в ресурсе, не нарушит любое патентное право или иное право на интеллектуальную собственность. РЕСУРС ПОСТАВЛЯЕТСЯ "КАК ЕСТЬ". ИЗДАТЕЛЬ ЗАЯВЛЯЕТ ОБ ОТКАЗЕ ОТ ЛЮБЫХ ГАРАНТИЙ, ЯВНО ВЫРАЖЕННЫЕ ИЛИ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫХ, ВКЛЮЧАЯ, НО НЕ ОГРАНИЧИВАЯСЬ, ЛЮБЫЕ ПОДРАЗУМЕВАЕМЫЕ ГАРАНТИИ ТОВАРНОГО СОСТОЯНИЯ, ПРИГОДНОСТИ ДЛЯ КОНКРЕТНОЙ ЦЕЛИ И НЕНАРУШЕНИЯ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ.

Издатель или автор не предоставляют прав или лицензий под любым патентным правом или иным правом на интеллектуальную собственность прямо, косвенно или лишением права на возражение.

НИ ПРИ КАКИХ ОБСТОЯТЕЛЬСТВАХ ИЗДАТЕЛЬ ИЛИ АВТОР НЕ НЕСУТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ПРЯМЫЕ, КОСВЕННЫЕ, ОСОБЫЕ, СЛУЧАЙНЫЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИЛИ ВТОРИЧНЫЕ УБЫТКИ, ПОНЕСЕННЫЕ ИЗ-ЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТОГО РЕСУРСА ИЛИ ЛЮБОЙ ИНФОРМАЦИИ, ТЕОРИЙ ИЛИ ПРОГРАММ, СОДЕРЖАЩИХСЯ ИЛИ ОПИСАННЫХ В НЕМ, ДАЖЕ БУДУЧИ ПРЕДУПРЕЖДЕННЫ О ВОЗМОЖНОСТИ ПОДОБНЫХ УБЫТКОВ, И ДАЖЕ ЕСЛИ УБЫТКИ ВЫЗВАНЫ НЕБРЕЖНОСТЬЮ ИЗДАТЕЛЯ, АВТОРА ИЛИ ИНЫХ ЛИЦ, Применимое законодательство может не разрешить исключение или ограничение случайных или косвенных убытков, поэтому приведенные выше ограничения или исключения могут вас не касаться.

Лабораторная работа 6: Проект системы измерения деформации

В этой лабораторной работе вы воспользуетесь методами, описанными в предыдущих работах, разработаете и реализуете систему измерения деформации.

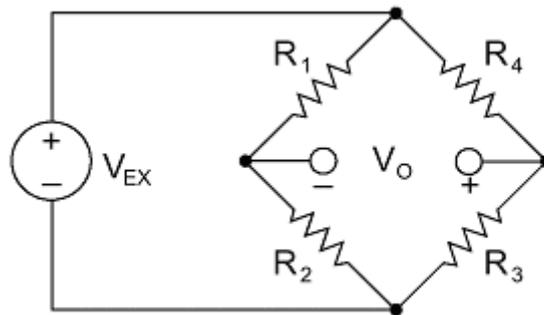


Рисунок 1 Мост Уитстона

Цель работы

После выполнения данной лабораторной работы вы сможете:

1. Объяснять характеристики сигнала и датчика, соответствующие заданию на разработку системы измерения деформации
2. Разрабатывать и реализовывать схему кондиционирования сигнала для измерения деформации
3. Обсуждать разрешающую способность и частоту дискретизации
4. Выполнять измерение деформации и анализировать измеренный сигнал

Необходимые инструментальные средства и технологии

Платформа: NI ELVIS III

- Используйте необходимые измерительные приборы NI ELVIS III

Примечание: для работы с приборами NI ELVIS III требуется комплект кабелей и аксессуаров (приобретается отдельно).

- ✓ Руководство пользователя:
<http://www.ni.com/en-us/support/model.ni-elvis-iii.html>
- ✓ Учебные пособия:
https://www.youtube.com/playlist?list=PLvcPluVaUMIWm8ziaSxv0gwtshBA2dh_M

Технические средства:
Макетная плата NI ELVIS III

Учебное пособие по макетной плате:
<http://www.ni.com/tutorial/54749/en>

Компоненты измерительных систем:
Комплект Measurements Part Kit

Компоненты, используемые в этой лабораторной работе:

- Тензодатчик C2A-13-125LW-350
- Различные дискретные компоненты для сборки схем преобразования сигналов

Программное обеспечение: LabVIEW

- Виртуальные измерительные приборы вы будете запускать из приборной панели

- ✓ Перед загрузкой и установкой программного обеспечения обратитесь к преподавателю или лаборанту за информацией о лицензиях на программное обеспечение и об инфраструктуре вашей лаборатории
- ✓ Загрузка и установка для NI ELVIS III:
<http://www.ni.com/academic/download>
- ✓ Учебные пособия:
<http://www.ni.com/academic/students/learn-labview/>

Ожидаемые результаты

В этой лабораторной работе вы должны спроектировать и реализовать измерительную систему, соответствующую требованиям конкретного задания. Вам придется неоднократно выбирать и принимать решения, а затем вы должны будете протестировать разработанную систему, чтобы убедиться, что она удовлетворяет требованиям задания.

В данной работе будут реализованы 4 операции из последовательности преобразования сигналов, рассмотренные в предыдущих лабораторных работах:

- Сигналы и датчики
- Преобразование (кондиционирование) сигналов
- Аналого-цифровое преобразование и дискретизация сигналов
- Программное обеспечение и обработка данных

Вы можете обращаться к предыдущим лабораторным работам за информацией. В ходе выполнения данной работы вам будут задаваться вопросы, ответы на которые помогут вам в процессе проектирования и реализации системы.

В конечном счете вы реализуете измерительную систему и предоставите документацию, детально описывающую ваши решения в ходе проектирования и окончательный вариант спроектированной системы. Преподавателю, скорее всего, необходимо предъявить полный отчет о работе. Узнайте у вашего преподавателя, есть ли конкретные требования к отчету или шаблон для его оформления.

1.1 Задание на проектирование системы измерения деформации

Исходные данные

Измерения деформации выполняется для того, чтобы определить состояние рельсового пути. В нормальных условиях эксплуатации деформация участка пути при движении транспортного средства по рельсам должно быть постоянным. Например, транспортное средство весом 10 тонн должно каждый раз одинаково деформировать рельс. Ваша система должна обнаруживать, когда профиль деформации транспортного средства, проходящего по рельсам, становится ненормальным, указывая либо на проблему с рельсом, либо с самим транспортным средством.

Сначала ваша измерительная система должна определить нормальный профиль деформации при движении транспортного средства. Затем система должна регистрировать деформацию при движении транспортного средства по участку рельса, на котором установлен тензодатчик. Регистрация деформации должна производиться вместе с временной меткой, чтобы можно было определить, когда возникла проблема, и какое именно транспортное средство проезжало по рельсу в это время.

Примечание: Для тестирования вам необходимо разработать проект, который можно протестировать в разумных масштабах. Например, вы можете наблюдать физическое устройство, проходящее по поверхности. Ваша система должна измерять деформацию в направлении движения. Вам нужно будет обдумать размещение и ориентацию тензодатчика, чтобы деформация передавалась через поверхность на тензодатчик, и чтобы транспортное средство его не повредило.

Ваша система должна удовлетворять следующим требованиям:

- Работать непрерывно не менее 8 часов.
- При обнаружении транспортного средства записывать данные в течение 60 секунд.
- Для различения проезжающего транспортного средства и незначительного события, воздействующего на рельс, например, падение ветки, в системе должна быть предусмотрена возможность задания порога по уровню деформации.

Прочтите больше об используемых тензодатчиках здесь:

www.digikey.ca/product-detail/en/micro-measurements-division-of-vishay-precision-group/MMF307449/1033-1042-ND/7344715.

1.2 Сведения из теории

Project Lab Strain

Introduction Video

Рисунок 1-1 Скриншот видео. <https://youtu.be/bxY25tgR0mA>



Краткое содержание видео

- Деформация - это отношение изменения длины материала к исходной длине материала, не подверженного воздействию.
- Аксиальная (продольная) деформация определяет, как материал растягивается или сжимается из-за приложенной линейной силы в горизонтальном направлении
- Наиболее широко используется металлический проводниковый тензодатчик

Что такое деформация?

При механических испытаниях и измерениях вы должны понимать, как объект реагирует на различные силы. Изменение формы материала, возникающее из-за приложенной силы, называется деформацией. Деформация определяется отношением изменения длины материала к исходной длине материала, не подверженного воздействию. Деформация может быть положительной (растяжение) из-за удлинения или отрицательной (сжатие) из-за уплотнения. Когда материал сжимается в одном направлении, тенденция к расширению в

двух других направлениях, перпендикулярных к этой силе, известна как эффект Пуассона. Коэффициент Пуассона (ν) является мерой этого эффекта и равен отношению деформации в поперечном направлении к деформации в продольном направлении, взятому со знаком минус. Несмотря на то, что деформация безразмерна, иногда она выражается в таких единицах, как дюйм/дюйм или мм/мм. На практике величина измеряемой деформации очень мала, поэтому ее часто выражают в микродеформациях (microstrain – $\mu\epsilon$), то есть $\epsilon \times 10^{-6}$.

Деформацию можно измерить несколькими способами, но наиболее распространенным является способ, основанный на использовании тензорезисторов. Электрическое сопротивление тензорезистора изменяется пропорционально величине деформации. Наиболее широко используется наклеиваемый металлический проводниковый тензорезистор. Он выполнен из очень тонкой проволоки или, чаще всего, металлической фольги, расположенной в виде сетки (решетки). Решетка максимизирует длину металлической проволоки или фольги, подверженной деформации в параллельном направлении. Решетка связана с тонкой основой, называемой подложкой, которая наклеивается непосредственно на испытуемый образец. Поэтому деформация образца передается непосредственно на тензодатчик, который реагирует линейным изменением электрического сопротивления.

Основным параметром тензорезистора является его чувствительность к деформации, количественно выражаемая коэффициентом тензочувствительности (Gage Factor – GF). GF – отношение относительного изменения электрического сопротивления к относительному изменению длины или деформации:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

Уравнение 1-1

У металлических тензодатчиков обычно $GF \approx 2$. Вы можете узнать реальное значение GF конкретного тензодатчика у поставщика или в документации.

В практике измерений деформация редко превышает несколько тысячных долей ($m\epsilon = \epsilon \times 10^{-3}$). Поэтому при измерении деформации необходимо точно измерять очень небольшие изменения сопротивления. Например, пусть испытуемый образец подвергается деформации 500 $m\epsilon$. Изменение электрического сопротивления тензорезистора с $GF = 2$ составит всего $2 (500 \times 10^{-6}) = 0,1\%$. Для тензорезистора сопротивлением 120 Ом это изменение составит всего 0,12 Ом.

Чтобы измерить такие небольшие изменения сопротивления, тензодатчики используют принцип моста Уитстона. Обычно мост Уитстона представляет собой схему из четырех резистивных плеч с напряжением активации V_{EX} – напряжением питания моста.

Дополнение моста

Мосты Уитстона

Как вы помните, мост Уитстона может быть сконфигурирован в виде четверть-, полу- и полномостовой схемы.

Мост Уитстона является электрическим эквивалентом двух параллельных делителей напряжения. R_1 и R_2 составляют один делитель, а R_4 и R_3 - второй. Выходное напряжение моста Уитстона V_0 измеряется между средними узлами двух делителей.

Вы можете использовать эту формулу для расчета V_0 :

$$V_0 = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] * V_{EX}$$

Уравнение 1-2

1.3 Сигналы и датчики

Учитывая требования к заданию на проектирование, рассмотрите основные свойства измеряемого сигнала. Вспомните лабораторную работу *Сигналы и датчики* и подумайте, какие характеристики сигнала наиболее важны для реализации проекта. Рассмотрите основные этапы технического проектирования системы, приведенные ниже:

1. Постановка задачи
2. Сбор информации о задаче
3. Мозговой штурм и анализ возможных решений
4. Решение задачи
5. Тестирование проекта
6. Доработка проекта

1-1 Какие характеристики сигнала наиболее важны для выполнения задания и как его характеристики отражают измеряемую физическую величину?

- В имеющемся комплекте всего несколько датчиков. Это означает, что фактически вы не сможете выбирать из всего многообразия существующих датчиков. Однако важно помнить, что в реальных условиях вам придется выбирать из множества датчиков, пригодных для решения задачи измерений.
- В нашем случае необходимо оценить, соответствуют ли датчики из предоставленного вам комплекта требованиям технического задания.

1-2 Какие характеристики выбранного вами датчика значительно превосходят требования задания?

1-3 Какие характеристики выбранного вами датчика наиболее критичны для заданных требований?

1.4 Преобразование (кондиционирование) сигналов

Учитывая требования к заданию на проектирование, вы должны теперь определить, какой тип преобразования сигнала необходимо будет реализовать.

Вспомните из лабораторной работы *Преобразование сигналов*, что существует множество различных схем кондиционирования, соответствующих желаемому результату. Вы должны решить, какие схемы лучше всего подходят для реализации проекта.

1-4 Какое свойство выбранного датчика изменяется при изменении физической величины?

1-5 Как это изменение может быть передано в систему сбора данных через датчик?

1-6 Какой тип кондиционирования сигналов понадобится для выполнения задания?

- Пришло время спроектировать и реализовать схему кондиционирования сигнала, используя ваши ответы на приведенные выше вопросы.
- Не забудьте учесть условия измерений при сборке схемы.

1-7 Прикрепите к отчету документацию по вашему проекту. Это могут быть эскизы, скриншоты или любая другая имеющаяся у вас документация.

- Когда закончите собирать свою схему, протестируйте ее.

1-8 Потребовалось ли внести какие-либо усовершенствования в ваш проект по результатам тестирования схемы кондиционирования?

1.5 Аналого-цифровой преобразователь и дискретизация

Учитывая требования к заданию на проектирование, теперь вы можете рассмотреть влияние АЦП и дискретизации на качество измерений.

Примечание: Вы можете найти дополнительную информацию в выполненной вами лабораторной работе *АЦП и дискретизация*.

1-9 Какое наименьшее изменение физической величины можно измерить с помощью АЦП (в единицах измерения физической величины)?

Примечание: Вы должны также учесть используемый тип кондиционирования сигнала.

1-10 Какая частота дискретизации требуется для решения поставленной задачи, и что необходимо учесть при выборе частоты дискретизации?

- Теперь разработайте простую программу сбора данных для измерения сигнала после схемы кондиционирования.

1-11 Как формируется сигнал? Объясните полученные результаты. Нужно ли что-то изменить в схеме кондиционирования сигнала?

1-12 Изменяется ли результат измерения при изменении физической величины так, как предполагалось?

1.6 Программное обеспечение и обработка данных

Учитывая требования к заданию на проектирование, теперь вы должны разработать программное обеспечение и проанализировать результаты проектирования. Если нужна дополнительная информация, вернитесь к отчету выполненной вами лабораторной работы *Программное обеспечение и обработка данных*.

1-13 Какие методы сбора данных необходимы для выполнения задания?

1-14 Какие методы обработки данных лучше всего подойдут для выполнения задания?

1-15 Как вы преобразуете результаты измерения сигнала в инженерные единицы? Учтите чувствительность датчика, влияние схемы кондиционирования сигнала и нелинейность датчика.

- Разработайте программу сбора и обработки данных.
- Примите во внимание этапы процесса проектирования, а также ваши предыдущие проекты.

1-16 Опишите программное обеспечение и реализованный алгоритм обработки данных. Нужно было программно выполнять калибровку и/или линеаризацию?

- Теперь протестируйте вашу программу сбора и обработки данных.

1-17 Как вы можете улучшить программное обеспечение? Какие новые функции могут быть полезны для этой измерительной системы?

1.7 Тестирование системы

Настало время протестировать разработанную вами систему. Рассмотрите методологию подтверждения правильности измерений. Вам понадобится симулировать изменения физической величины в соответствии с исходными данными задания на проектирование.

1-18 Задокументируйте условия, при которых выполнялось измерение и тестирование, а также критерии, используемые для подтверждения корректности результатов. Как вы симулировали изменения физической величины? Как подтвердите, что ваша система измеряет деформацию?

1-19 Удовлетворяет ли ваша система требованиям задания? Объясните, почему. Если система не удовлетворяет требованиям, как вы можете улучшить ваш проект?

1-20 Предоставьте доказательства соответствия требованиям задания окончательного варианта реализованной вами системы. Доказательства должны быть подкреплены схемами и/или скриншотами окончательного варианта измерительной системы.

1.8 Заключение

1-21 Какой этап проектирования и разработки вашей измерительной системы был самым трудным?

1-22 Как можно усовершенствовать вашу измерительную систему? Рассмотрите характеристики и надежность.
