

МОДЕРНИЗАЦИЯ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ «ДП-3М» ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛАСТОМЕРОВ

Варданян Н.Г., Золотарев Ю.В.

Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Москва

Ключевые слова: тензорезистор, измерение механического напряжения, напряженно-деформированное состояние, эластичный материал, полиамидный тензодатчик, тензометрический преобразователь, экспериментальная установка.

Аннотация. В статье дан обзор работ по подготовке тензометрического преобразователя к экспериментальному исследованию по определению механического напряжения в образцах эластичной структуры с помощью датчиков различных типов и конструкции. За неимением возможности приобрести новую установку авторам пришлось применить части старой учебной лабораторной установки по измерению КПД планетарной передачи с внесением изменений в конструкцию для измерения по четверть мостовой схеме (мост Уитстона).

MODERNIZATION OF THE «DP-3M» ACADEMIC LABORATORY UNIT FOR EXPERIMENTS ON STRAIN-DEFORMED STATE OF ELASTOMERS

Vardanyan N.G., Zolotarev Yu. V.

National Research University of Electronic Technology «MIET», Moscow

Keywords: strain gauge, measurement of mechanical tension, strain-stress state, elastic material, polyamide strain gauge sensor, strain gauge converter, experimental setup.

Abstract. The article provides an overview of the work on the preparation of a strain gauge converter for an experimental study to measure the mechanical tension in elastic structure samples using gauges of various types and designs. In the absence of the possibility to purchase a new laboratory unit, the authors had to use parts of an old educational laboratory unit to measure the efficiency of a planetary transmission with changes to the design for measurement according to a quarter-bridge scheme (Wheatstone's bridge).

Ввиду ряда не зависящих от авторов причин, возникла необходимость компенсировать отсутствующее на кафедре тензометрическое оборудование для целей проведения научных экспериментов в области измерения деформаций эластичных материалов.

В этих экспериментах задача, выполняемая первичным тензопреобразователем, усложняется тем, что установить тензорезисторы по стандартной для жесткой балки полумостовой схеме (один датчик на стороне подвергаемой действию растяжения, другой датчик – на противоположной стороне, зоне действия сил сжатия) попросту не выполнима. Эластичный образец претерпевает деформацию достаточно сложным образом, кардинально отличным от схемы деформации упругого материала, например, металлической пластины, работающей на изгиб. Эластомер перераспределяет напряжения внутри своей структуры за счет высокомолекулярных соединений, откликаясь на нагрузки, подобно сплетению множества спиральных пружин.

Необходимость проведения измерения по четверть мостовой схеме, отсутствие возможности купить новую тензостанцию или преобразователь

подтолкнули авторов на использование в качестве подобного инструмента сломанную учебно-лабораторную установку ДП-3М (далее по тексту – «установка») (см. рис. 1), 1982 года выпуска (МАИ) по исследованию КПД планетарной передачи, применяемой ранее в рамках курса «Детали роботизированных систем» [1]. В ней в качестве измерителей крутящего момента на входе и выходе передачи (электромотора и тормозного устройства) установлены механические динамометры с плоскими металлическими пружинами и микрометрическими индикаторами часового типа (ИЧ-2). Измерения показаний прогиба пружин проводились с помощью двух тензометрических преобразователей на основе нихромовой проволоки на бумажной основе. Установка была сломана и долгое время не использовалась. Найти датчики, аналогичные изначально используемым, при ремонте установки не удалось. Параллельно ремонту установки для целей научного эксперимента были приобретены полиамидные тензорезисторы.



Рис. 1. Общий вид используемой установки и фотография платы первичного тензопреобразователя

Экспериментальная работа, проводимая авторами, заключается в постепенном нагружении эластичных образцов различной структуры усилиями на растяжение (грузами или механическим натяжителем) с установленными на них различными исследуемыми сенсорами. Это исследование является предварительным в серии экспериментов по проверке сенсоров специально разработанных для эластичных материалов, т.е. датчиков имеющих возможность многократно претерпевать экстремальные удлинения линейных размеров без нарушения своей работоспособности.

На начальном этапе экспериментов было решено установить доступный и недорогой тензорезистор на основе полиамидной пленки с покрытием из константана.

Следовательно, резонным было объединить две задачи по ремонту лабораторной установки для учебных целей и расширению ее возможностей в

качестве регистратора показаний тензодатчиков указанного выше типа для целей проведения научного эксперимента.

Для проверки работы установки в режиме четверть мостовой схемы при ее ремонте датчик был установлен только на верхней части плоской пружины, а вместо нижнего устанавливалось компенсационное сопротивление, подобранное в соответствии с номиналом рабочего тензорезистора. Установка при этом давала достоверные показания, согласующиеся с теоретическими значениями КПД для планетарной передачи.

Предварительные эксперименты показали, что при достаточно малых значениях усилий, оказываемых на эластичный образец (порядка 1-3Н), чувствительности всей измерительной системы хватило, чтобы снять показания, согласующиеся с теоретическими выводами.

Получив положительный результат, решено было повысить чувствительность измерительной схемы, уменьшив по возможности вносимую инструментальную погрешность.

На плате первичного тензопреобразователя извлеченного из установки были обнаружены компенсационные тензорезисторы 2ПКБ номиналом 200.8Ом. Их наклеили на плату при создании прибора. Задача этих тензорезисторов – уменьшить температурную погрешность и сделать работу моста более стабильной.

Однако используемые в данный момент тензодатчики имеют отличную структуру и сопротивление. Вместо бумажного основания и тонкой нихромовой проволоки в качестве датчика они выполнены методом фототравления проводника на полиамидном основании и имеют иной размер, сопротивление и конфигурацию проводящей дорожки.

Для удобства модернизации решено изготовить новые платы по примеру заводских на современной элементной базе и с полиамидными тензодатчиками в качестве компенсационных, такими же, как на измерительной пружине (рис. 2).

Также необходимо было предусмотреть более удобное соединение собранной схемы к цифровому миллиамперметру, для более четкой регистрации измеренных значений.

Эта работа была проведена с помощью программной утилиты для трассировки печатных плат DipTrace, а сама плата выполнена по методу, описанному в данном источнике [6].

Как показано ранее, измерения эластичных образцов планируется проводить по схеме, схожей с той, которая была реализована при ремонте установки, т.е. на образец наклеивается всего один тензорезистор, как на рисунке 3.

Принцип действия тензорезистивного датчика заключается в изменении электрического сопротивления пропорционально силе механического воздействия. Это воздействие приложено к чувствительному элементу, выполненному в виде в виде зигзагообразного проводника, нанесенного на гибкую подложку.

Конфигурация используемого тензодатчика ВF350-2АА предполагает прямоугольную форму поперечного сечения нитей чувствительной решетки при сравнительно малой толщине. За счет этого увеличивается площадь сцепления решетки с поверхностью исследуемого эластичного материала, что улучшает передачу деформации к чувствительной решетке, повышая надежность производимых измерений.

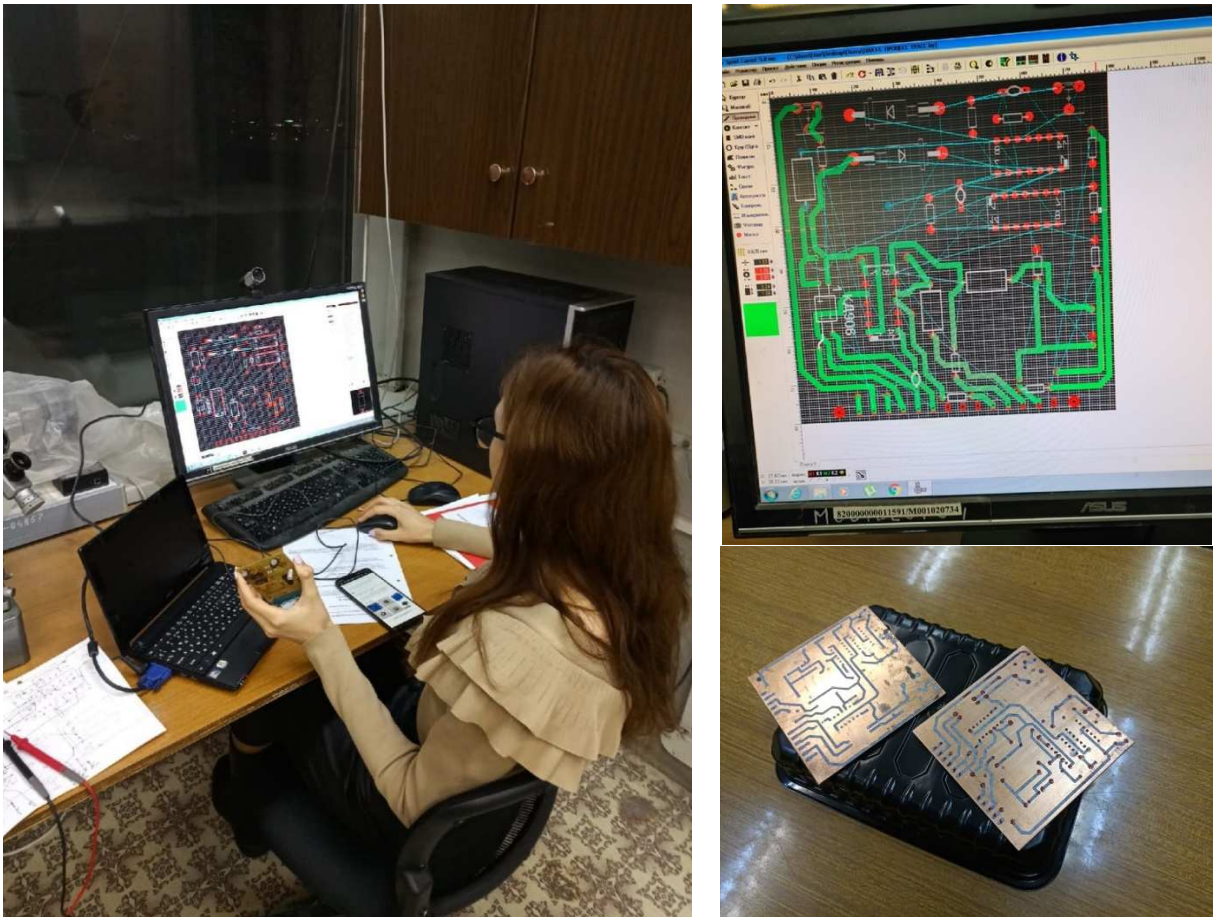


Рис. 2. Процесс изготовления платы студенткой 3-го курса Варданян Н.Г.

Сложность измерения картин внутренних напряжений с помощью тензодатчиков при внешнем воздействии силы определяется малым диапазоном изменения сопротивления тензодатчика под воздействием деформации. Изменение сопротивления датчика для непосредственного измерения омметром весьма незначительно.

Для регистрации столь малых изменений сопротивления в выходные сигналы напряжения широко используется мостовая схема, в данном случае, ее модификация – «четверть моста», изображенная на рисунке 4.

Выходное напряжение моста Уитстона определяется выражением:

$$\Delta U = \frac{(R_1 R_3 - R_2 R_4)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} U, \quad (1)$$

В данном случае выходное напряжение ΔU возникает при изменении сопротивления тензодатчика R_1 на величину ΔR_1 , вследствие деформации эластичного материала, передаваемого основанию соответствующего датчика [4].

На одном из плеч моста – резисторе R_4 установлено значение сопротивления, равное сопротивлению тензодатчика без прикладываемой механической силы. Для балансировки моста на оставшихся двух плечах моста – резисторах R_2 и R_3 установлено равное сопротивление. При деформации эластичного образца (сжатии или растяжении) сопротивление тензодатчика соответственно уменьшается или увеличивается, тем самым нарушая балансировку моста и создавая регистрируемое напряжение.

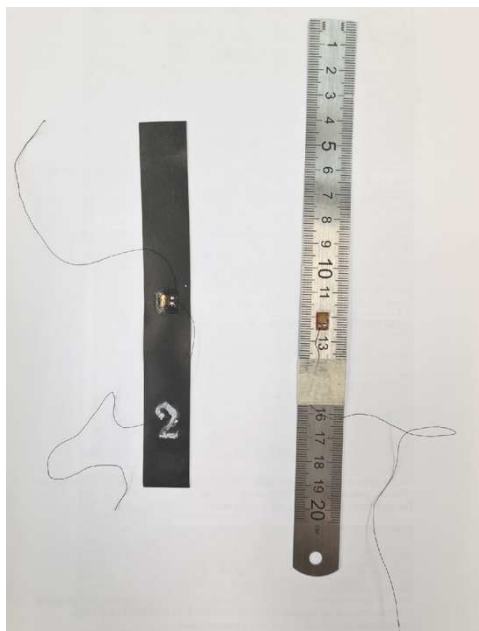


Рис. 3. Образцы с наклеенными тензодатчиками на основе полиамидной пленки подготовленные к эксперименту

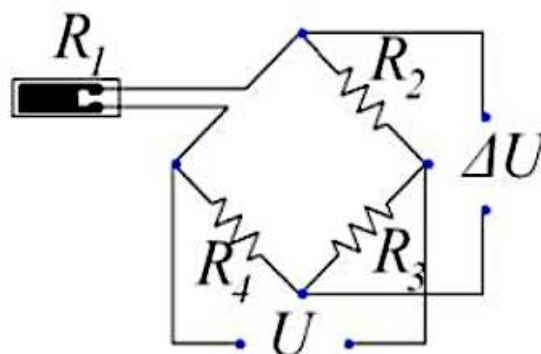


Рис. 4. Модификация моста Уитстона – «четверть моста»

Анализ схемы прибора показал, что измерительный тракт состоит из трех операционных усилителей, каскада дифференциального источника питания и схемы регистрации тока компенсации дифференциального моста. Описываемая схема регистрации деформации на основе тензодатчиков изначально использовалась в экспериментальной установке в «полумостовой» вариации моста Уитстона (рис. 5).

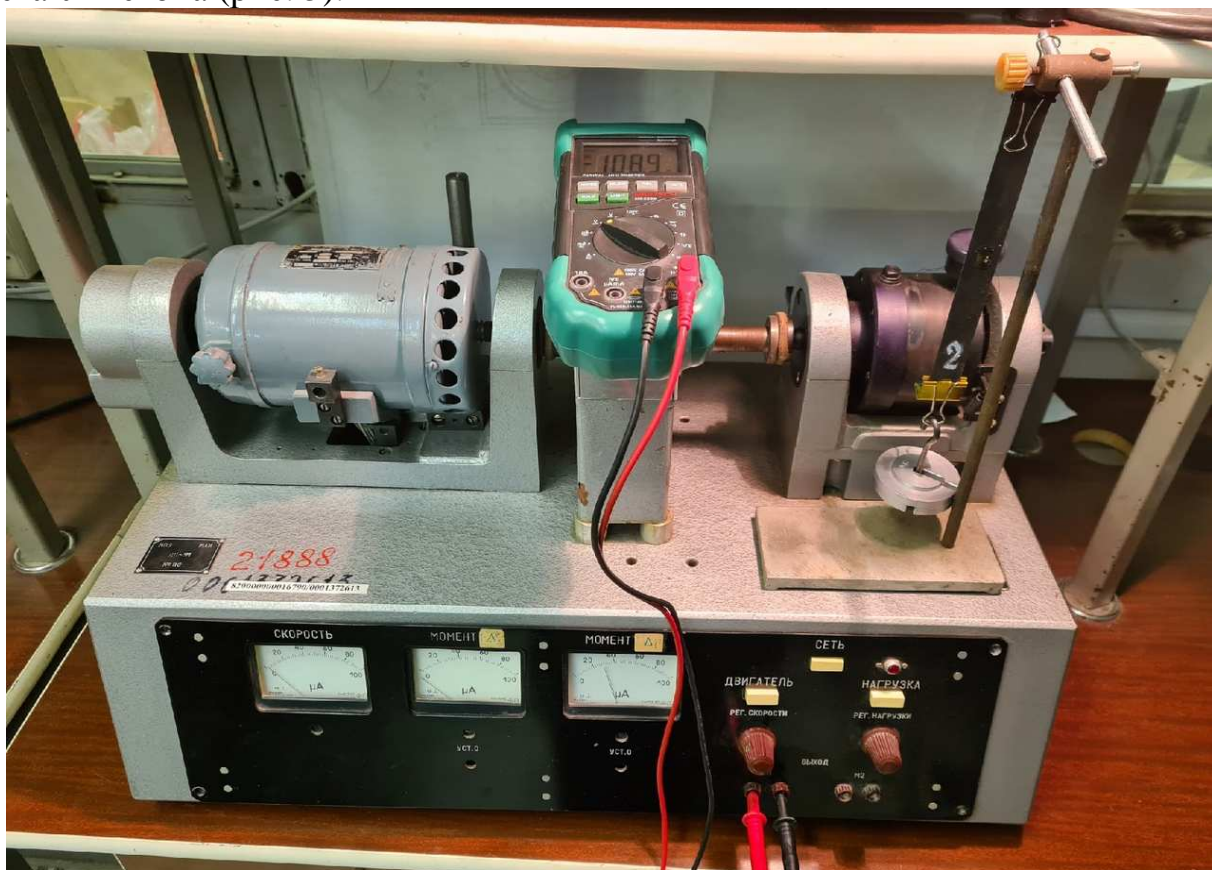


Рис. 5. Собранный стенд при процедуре проведения измерений.

На данный момент столь быстрое и простое решение позволило максимально быстро и бюджетно провести серию экспериментов по указанной тематике.

В дальнейшем авторами планируется более глубокая модернизация схемотехники установки, включающая использование современного быстродействующего ОУ с малыми шумами, вплоть до создания отдельного прибора для вышеуказанных измерительных целей.

Список литературы

1. Паспорт установки ДП1М (Прибор для изучения работы фрикционных передач) – Министерство высшего и среднего специального образования СССР. Специальное конструкторское бюро.
2. Золотарёв Ю.В., Гончарова А.В. Разработка стенда для сравнительного исследования механических напряжений в образцах эластичных материалов с применением тензочувствительных элементов на основе полиамида // Сборник трудов научно-практической конференции «Интеллектуальные системы и микросистемная техника». – М.: Изд-во Национальный исследовательский университет "Московский институт электронной техники", 2021. – С. 324-327.
3. Zolotarew Y.V. Comparative analysis of measurement methods for assessing the complex-deformed state of the elements of microelectronic equipment made of elastic materials // Conference ElConRus-2019. IEEE. 2019. P. 1986-1989.
4. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
5. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений. Справочное пособие / отв. ред. Б.С. Касаткин. – Киев: Изд-во Наукова думка, 1981. – 584 с.
6. Crabtree B. Your Guide to Home PCB Fabrication [Электронный ресурс]. – URL.: <https://www.allaboutcircuits.com/projects/home-pcb-fabrication>

Сведения об авторах:

Золотарев Юрий Васильевич – преподаватель, НИУ «МИЭТ», Москва;
Варданын Ника Григоревна – студент, НИУ «МИЭТ», Москва.