

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ НА РЕЛЬСЫ ОТ КОЛЕС ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ADuC 812

AN AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING THE RAILS LOAD DUE TO ROLLING STOCK WHEELS

Пенза, НИИФИ
Penza, NIIFI

В докладе представлена автоматизированная система на основе высокоинтегрального микроконтроллера ADuC812. Система предназначена для определения нагрузки на рельсы от колес железнодорожного транспорта. Ее применение позволяет увеличить срок службы локомотивов и повышает безопасность эксплуатации.

An automated system on the basis of AD and C812 high – integration microcontroller is presented. The system is designed for measuring the rails load due to rail transport wheels. This system offers longer lifetime of locomotives and higher safety in operation.

Отдельные электровозы серии ВЛ10у, прибывшие для капитального ремонта, имеют значительные отклонения статических нагрузок по осям и колесам от средних значений, обусловленных Правилами капитального ремонта электровозов (в ряде случаев более, чем в три раза), что приводит к интенсивному одностороннему износу бандажей, повреждению тяговых двигателей из-за буксования, ухудшению тяговых характеристик электровозов и повышенному расходу электроэнергии на тягу поездов, сокращению сроков службы колесных пар.

В НИИФИ была разработана система для определения нагрузок по осям и колесам на основе микроконтроллера ADuC 812, содержащего в одном кристалле процессорное ядро, совместимое с семейством 8051, оперативную память, постоянную перепрограммируемую память кода данных, ПЦП с мультиплексером на 8 каналов, два ЦАП, а также датчик температуры, встроенные схемы автокалибровки, возможность подключения внешнего опорного напряжения и стандартный интерфейс для связи с ПЭВМ или другими устройствами.

В системе использован тензорезисторный метод преобразования неэлектрических величин в электрические, обладающий высокой линейностью преобразования, отличающийся простотой конструктивных решений, значительной надежностью в эксплуатации.

Необходимость автоматизации коррекции погрешностей тензометрических устройств возникает из-за сложности настройки начальных параметров функции преобразования датчиков. Трудоемкость настройки может достигать 60-70 % трудоемкости изготовления датчика. Зачастую настройка сопровождается итерационным процессом регулирования параметров. Иногда настройка датчика приводит к ухудшению отдельных его свойств: снижается чувствительность, возникает нелинейность функции преобразования и температурных характеристик.

Кроме того, индивидуальная настройка датчика не исключает настройку перед измерением начальных параметров функции преобразования измерительной системы, включающей датчик и нормирующий преобразователь. Зачастую эти регулировки производят вручную с помощью регулирующих цепей, расположенных в нормирующем преобразователе.

Процесс регулировки коэффициента преобразования тензометрического устройства описывается степенным рядом

$$K = A \sum_{j=0}^{i-1} B^j + K_0 B^i ,$$
$$A = \frac{U_n - U_0}{\Delta_c + \Delta_k} ;$$
$$B = \frac{\Delta_c}{\Delta_c + \Delta_k} ;$$

где K_0 – исходный коэффициент преобразования устройства; K_i – коэффициент преобразования устройства в i -ом итерационном такте; Δ_c – суммарное аддитивное смещение, приведенное к его входу; Δ_k – калибровочное воздействие по входу устройства; U_0 и U_n – опорные начальный и номинальные уровни выходного сигнала устройства.

Из условий сходимости степенного ряда ($|B| < 1$) выводится область смещения $\Delta_c \in]-0,5\Delta_\kappa; -\infty[$, в которой итерационный процесс регулировки коэффициента преобразования устройства сходится к номинальному значению

$$K_n = \frac{U_n - U_0}{\Delta_\kappa}.$$

Погрешность коэффициента преобразования в i -м такте преобразования определяется остаточным членом ряда. Для устранения ограничения по уровню смещения ($-0,5\Delta_\kappa$) необходимо ввести грубое дополнительное постоянное смещение в измерительную цепь до регулируемого усилителя, которое выведет суммарное смещение Δ_c в область, соответствующую условию сходимости ряда.

Устройство с автоматической коррекцией погрешностей позволяет исключить отмеченные недостатки. Основные положения, принимаемые во внимание при проектировании средств автоматической коррекции в тензометрических устройствах, заключаются в следующем [1].

1. Регулирование должно проводиться на выходе измерительного устройства, чем обеспечивается минимальная погрешность коррекции.

2. Коррекция погрешностей датчика осуществляется путем изменения параметров функции преобразования нормирующего преобразователя.

3. Управляющее воздействие на корректирующий блок вырабатывается по результату сравнения преобразованного образцового входного калибровочного воздействия на датчик (в виде образцовой механической величины или калибровочного сопротивления) с опорными значениями начального и номинального выходных уровней.

Тензометрическое устройство, выполненное по методу прямого преобразования, представляет собой линейную измерительную цепь (ИЦ), состоящую из n звеньев, функция преобразования которой имеет следующий обобщенный вид [2]:

$$Y_n = \sum_{q=0}^n a_q \prod_{p=q+1}^n K_p (1 + \delta K_p),$$

где Y_n - выходной сигнал ИЦ; a_0 - измеряемый параметр; $a_{q/q \in [1; n]}$ - множество аддитивных смещений звеньев ИЦ, приведенных к выходам; K_p - номинальный коэффициент преобразования p -го звена; δK_p - относительная мультипликативная погрешность звена.

Компенсировать мультипликативную и аддитивную составляющие систематической погрешности ИЦ можно регулированием коэффициента преобразования и аддитивного смещения одного из звеньев. При этом целесообразно проводить операции регулирования в выходном звене. Следовательно, для компенсации систематических погрешностей необходимо введение в структуру ИЦ выходного корректирующего звена.

Функцию преобразования ИЦ с блоком коррекции в выходном звене можно представить выражением

$$K_n (1 + \delta K_n) \left[a_0 \prod_{\rho=1}^{n-1} K_\rho (1 + \delta K_\rho) \right] + K_n (1 + \delta K_n) \left[\sum_{q=1}^{n-1} a_q \prod_{\rho=q+1}^{n-1} K_\rho (1 + \delta K_\rho) \right] + a_n,$$

где K_n - номинальный коэффициент блока коррекции; δK_n - корректирующее относительное приращение коэффициента передачи блока коррекции; a_n - корректирующее смещение блока коррекции.

Для компенсации мультипликативной и аддитивной погрешностей блок коррекции должен выработать отрицательную реакцию

$$\delta K_n = - \sum_{\rho=1}^{n-1} \delta K_\rho ;$$

$$a_n = - K_n (1 + \delta K_n) \left[\sum_{q=1}^{n-1} a_q \prod_{\rho=q+1}^{n-1} K_\rho (1 + \delta K_\rho) \right] .$$

Для системы разработан датчик силы, который является первичным измерительным преобразователем системы. При проектировании датчика были решены задачи, связанные с особенностями его сопряжения с объектом измерения. В датчик заложен тензометрический метод преобразования, основанный на изменении сопротивления тензочувствительного материала, из которого изготовлены тензорезисторы. При деформации чувствительного элемента функция преобразования определяется уравнением

$$\int_{R_n}^{R_k} \frac{dR}{R} = K_{np} \int_{l_n}^{l_k} \frac{dl}{l},$$

где R_n – начальное сопротивление тензорезистора; l_n – начальная длина чувствительного элемента тензорезистора; R_k и l_k – сопротивление и длина элемента в конце процесса нагружения; K_{np} – коэффициент преобразования.

Использование сдвиговых деформаций позволило создать датчик силы с пределом измерения 17тс высотой 54мм с хорошими точностными характеристиками.

Передача силы к датчику осуществляется силовой цепью, состоящей из объекта измерения, опоры и соединительных элементов. Так как поверхности, с которыми контактирует датчик, формируются ковкой, они имеют значительные отклонения от геометрической формы и неравномерность прилегания силопередающих плоскостей. В этих случаях фактическая линия действия измеряемой силы не совпадает с осью. Отклонение от оси достигает 2° , что в два раза превышает допустимое по ГОСТ 23880-90. Для уменьшения погрешности от отклонения от оси возмещающей силы разработана конструкция обеспечивающая полную симметрию измерительной цепи.

Получению высоких технических характеристик датчика способствовало применение фольговых тензорезисторов Ев 001, разработанных в НИИФИ и имеющих повышенную надежность и стабильность. При их изготовлении было использовано "ноу-хау", позволяющее получить соединение полиимидной пленки толщиной 20 мкм с фольгой из тензорезистивного сплава НМ23ХЮ толщиной 5 мкм.

Установка тензорезисторов Ев 001 на чувствительный элемент датчика осуществлялась при помощи клея ТК 201 без термообработки, что позволило отказаться от сложных установочных приспособлений и значительно сократить продолжительность изготовления.

Исходя из условий эксплуатации, большое внимание уделено обеспечению пыле- и влагозащиты. Для этого применены кольцевые уплотнители и мембраны, которые позволили отказаться от сварки и, как следствие, улучшить метрологические характеристики датчика, т.к. отсутствует искажение полей напряжений от сварки. Дополнительное повышение влагостойкости обеспечивается герметизирующим покрытием тензорезисторов по патенту №1582597 "Способ получения герметизирующего покрытия".

В состав датчика силы введен калибровочный резистор, аттестованный на номинальный выходной уровень в условиях изготовителя, обеспечивающий проверку работоспособности системы и позволяющий решить вопрос автоматической регулировки коэффициента преобразования системы в целом и взаимозаменяемости датчиков в условиях эксплуатации в пределах основной погрешности системы.

Система автоматически настраивается на индивидуальную функцию преобразования датчика поначальному и номинальному выходному сигналу, задаваемому калибровочным резистором (патент № 1670376 "Тензометрическое устройство с автоматическим регулированием коэффициента преобразования"). При этом перед измерением устраняются составляющие погрешности от временного и температурного дрейфа. В тензометрическом устройстве исключен итерационный характер процесса настройки начальных параметров функции преобразования. Цель достигается введением в схему устройства выборки и хранения УВХ, которое компенсирует смещение нуля на входе программируемого усилителя. Процесс регулировки начальных параметров тензометрического устройства происходит за один такт.

Система прошла сертификационные испытания и внесена в Реестр систем сертификации средств измерений под №990010080. (сертификат соответствия №0000307).