

АНАЛИЗ ФУНКЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАТЧИКА ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ ВОЛОКНИСТОЙ ЛЕНТЫ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

В.А. АВРОРОВ, В.В. ВОЛКОВ, В.С. НИКОЛАЕВ, М.В. ГОРЮНОВА

(Пензенская государственная технологическая академия)

В соответствии с положением об измерительном преобразователе [1], [2] структура измерительного устройства представляется в виде совокупности измерительных преобразователей, осуществляющих функциональные преобразования сигналов различной физической природы. Измеряемая величина претерпевает ряд последовательных преобразований, которые характеризуются тем, что контролируемая величина поступает на вход первого преобразователя, а его выходная величина является входной величиной второго, и т.д. Преобразование осуществляется до тех пор, пока на выходе последнего не будет получено выходное значение, удобное для восприятия оператором или для использования с целью дальнейших преобразований, регистрации или управления.

В литературе отсутствуют данные о статической и динамической точности датчиков, измеряющих толщину волокнистой ленты N по силе, возникающей при прохождении контролируемого продукта через уплотнитель. Можно предположить, что статическая точность такого типа преобразователей зависит как от степени распрямленности и параллелизации волокон [5], так и температурных режимов работы преобразователя. Динамическая точность в полной мере будет зависеть от упругости волокон и колебательных процессов машины в зоне установки преобразователя. Вариантом использования такого типа датчиков в системе автоматического вы-

равнивания волокнистой ленты является установка их в вытяжных приборах, где общая вытяжка разделена на две части: одна – постоянная и служит для измерения силы вытягивания, другая – регулируемая. В этом случае синтезируется разомкнутая система регулирования, где в качестве задающей величины используется сила вытягивания $F=f(N)$ при постоянной величине вытяжки.

При построении структурно-логической схемы данного типа преобразователя опустим учет распрямленности и параллелизации волокон, их упругость, которые учитываются при калибровке измерительной системы применительно к конкретным режимам работы преобразователя.

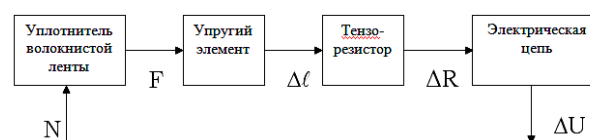


Рис. 1

Обобщенная структурная схема тензорезисторного датчика линейной плотности (ДЛП) волокнистой ленты, основанного на регистрации усилий протаскивания ленты, представлена на рис. 1. Измеряемый номер N , непрерывно движущейся ленты, проходящей через уплотнитель, преобразуется в усилие протаскивания F , которое преобразуется в деформацию Δl упругого элемента. Деформация упругого элемента преобразуется в изменение сопротивления ΔR

тензорезистора, которое, в свою очередь, в измерительной электрической цепи преобразуется в выходное напряжение ΔU . В рассмотренной последовательности преобразователей четко выражается их различие по физическим основам преобразования и закономерности связи одной физической величины с другой.

Функциональные зависимости и уравнения, характеризующие взаимосвязь указанных физических параметров, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} F &= f(N, A), \\ \Delta l &= \varepsilon l = F_p l / c, \\ \Delta R &= K_t R \Delta l / l, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где A – параметры уплотнителя (для конкретного типа величина постоянная); ε – относительная деформация участка упругого элемента; l – длина измерительного участка упругого элемента; c – жесткость упругого элемента; K_t – коэффициент тензочувствительности в направлении базы тензорезистора; R – сопротивление тензорезистора.

Физические процессы в преобразователе подчиняются связи между входной и выходной величинам $Y = f(X)$.

Идентичная характеристика для датчика в целом является функцией преобразования датчика, где под отношением изменения выходной величины ΔY к соответствующему значению входной величины ΔX , понимается чувствительность датчика [2], иначе $B = \Delta Y / \Delta X$.

В случае нелинейности чувствительность является функцией входной величины X_i и определяется как $B_i = (\Delta Y / \Delta X)$ при $X = X_i$. Тогда коэффициент преобразования датчика будет выражать отношение выходной величины датчика к соответствующему значению входной величины $K = Y / X_i$. Если зависимость между входной и выходной величинами линейна, то чувствительность и коэффициент преобразования равны. В этом случае $Y = BX$.

Рассматриваемая нами структурная схема датчика относится к системе прямого преобразования. Его чувствительность

определится произведением чувствительности отдельных преобразователей $B = B_1 B_2 \dots B_{n-1} B_n$ и может быть найдена как отношение выходной величины к входной: $B = Y / X$. В случае тензорезисторного датчика чувствительность выразится как

$$B = \frac{\Delta R}{f(N, A)} \frac{c}{K_t R},$$

где $\frac{c}{K_t R}$ – параметр преобразовательной части упругий элемент – тензорезистор является постоянной величиной для конкретного датчика в определенном диапазоне чувствительности. Из формулы видно, что чувствительность определяется константой чувствительного элемента и отношением входного и выходного параметров.

Построение тензометрического датчика [3], [4] основано на включении тензорезисторов в электрическую измерительную цепь или делителя напряжения, или мостовой схемы. Для повышения чувствительности отдается предпочтение мостовой схеме. В этом случае используется сразу четыре плеча моста, где все тензорезисторы имеют одну и ту же входную величину – деформацию упругого элемента.

Помимо основной входной величины – силы протягивания – могут иметь место дополнительные входные величины, возникающие вследствие разного рода воздействий (от влияния температуры, влажности, вибрации и прочих), которые вызывают погрешности измерений и сокращают срок службы ДЛП. Устранение погрешностей при измерениях возможно введением дополнительного компенсационного элемента, их регистрации и последующего вычитания данных величин с использованием известных схем из элементов электроники. Недостатком такой системы будет являться сложное сочетание первичных преобразователей с элементами электроники, корректировка усилительных схем и учет фазовых смещений.

Наиболее целесообразным является использование функции устранения дополнительных погрешностей в преобразовательной системе ДЛП: основной и компенсационный упругие элементы, плюс мостовая – тензорезисторная схема. Структурная блок-схема такой системы приведена на рис. 2.

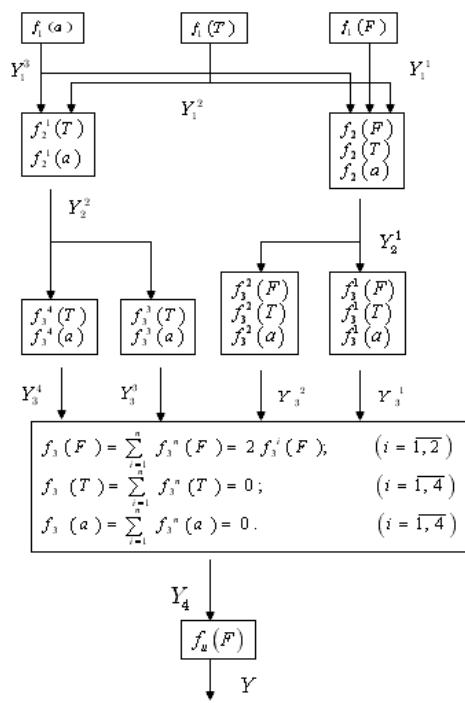


Рис. 2

Здесь формирование выходного сигнала Y , соответствующего входной величине X , имеет ряд последовательно-параллельных преобразований с дифференциальным выходом, где работа преобразовательных элементов характеризуется передаточными функциями: f_1 – уплотнитель и несущая часть машины; f_2 – упругие элементы и тензорезисторы; f_3 – электрическая измерительная мостовая схема; f_4 – усилитель электрических сигналов. Из схемы видно, что упругие элементы основной и компенсационной являются преобразователями передаточных функций:

- $f(F)$ – от усилия протягивания;
- $f(T)$ – от температурного фактора;
- $f(a)$ – от вибрационного и ударного воздействия.

В этом случае передаточная функция датчика линейной плотности волокнистой ленты от каждого фактора примет вид:

$$f(F) = f_1(F)f_2(F)[f_3^1(F) + f_3^2(F)]f_4(F),$$

при

$$|+f_3^1(F)| = |-f_3^2(F)| = f_3(F)$$

будем иметь

$$f(F) = f_1(F)f_2(F)2f_3(F)f_4(F), \quad (2)$$

$$f(T) = f_1(T)\{f_2(T)[f_3^1(T) + f_3^2(T)] + f_2^1(T)[f_3^3(T) + f_3^4(T)]\},$$

при

$$f_3^1(T) = f_3^2(T) = f_3^3(T) = f_3^4(T) = f_3(T)$$

будем иметь:

$$f(T) = 0, \quad (3)$$

$$f(a) = f_1(a)\{f_2(a)[f_3^1(a) + f_3^2(a)] + f_2^1(a)[f_3^3(a) + f_3^4(a)]\},$$

при

$$|+f_3^1(a)| = |-f_3^2(a)| = |+f_3^3(a)| = |-f_3^4(a)| = f_3(a)$$

имеем

$$f(a) = 0. \quad (4)$$

Решение передаточных функций приведенной структурной схемы ДЛП показывает, что применение параллельно-последовательных преобразований с дифференциальным выходом исключает из процесса измерений функции $f(T)$ и $f(a)$, факторы температуры и вибрации. Также следует отметить, что при дифференциальном соединении тензорезисторных преобразователей достигается компенсация передаточных функций, одинаковых по знаку и величине, а также разноименных по знаку и одинаковых по модулю и включенных в параллельные ветви мостовой схемы.

Из решения рассматриваемой структурной схемы видно увеличение передаточной функции (2) в два раза при вклю-

чении ее в одну из параллельных ветвей с выходом на дифференциатор.

Рассмотренное решение по уменьшению величины внешних факторов и увеличению весомости полезного измеряемого сигнала на практике свободно реализуется с использованием мостовой измерительной схемы, функция преобразования которой рассматривается отдельно.

Аналогичная картина будет наблюдаться и в случае замены преобразователя тензорезисторного типа на индуктивный или емкостный, или реостатный, или другие типы преобразователей. Иными словами, замена одного измерительного преобразователя другим открывает возможность применения преобразователей любых физических величин.

$$f(N) = \sigma \bar{\mu} S(0) (v_1 - v_0) \left\{ \int_0^x \lambda(x) S^{(1)}(x) dx + \int_{x_0}^L \lambda(x) S^{(0)}(x) dx \right\},$$

где v_1 и v_0 – характеризуют скорости движения волокон в потоке на входе и выходе уплотнителя; $\bar{\mu}$ – вектор силы трения или коэффициент вязкости; σ – среднее значение контактирующей поверхности длины волокна; $\lambda(x)$ – относительная величина, характеризующая коэффициент контакта; $S^{(1)}(x)$ и $S^{(0)}(x)$ – число волокон в сечении входящего и выходящего продукта в точке x зоны прохождения продукта на длине L ; dx – элемент длины вытяжного поля или элемент длины уплотняющего участка; $S(0)$ – количество волокон находящейся в зоне вытягивающей пары.

Анализ представленного функционала позволяет предположить о сути исследуемого продукта, представляющего в комплексе взаимосвязь различных факторов, описывающих его толщину, или номер. Очевидно, точный учет величины каждого фактора влияния практически невозможен, что определяет волокнистую ленту стохастической системой величин влияния. Решение данного вида задачи по определению чувствительности уплотнителя $V_y = \Delta N / \Delta F$ предполагает накопление экспериментальных статистических данных и

Рассмотренный алгоритм метода построения преобразователя линейной плотности волокнистой ленты показывает, что задача решается в полной мере при выявлении внешних факторов влияния и позволяет получить довольно точную исследуемую характеристику силы. Остается пояснить точность оценки линейной плотности волокнистой ленты. Очевидно, в рассматриваемом преобразователе существенное влияние будет оказывать уплотнитель, его внутренний профиль, контактирующий с перерабатываемым продуктом, а также свойства самого волокнистого материала. В первом приближении вытягивающая сила $F=f(N)$, подчиняющаяся законам вязкого трения, в случае малой вытяжки [6] будет описываться функциональным уравнением:

их оптимизацию. Задачи данного типа решаются с использованием математической теории планирования эксперимента по выявлению механических явлений, которые устанавливают условия критерия оптимальности, удовлетворяющие изучаемому процессу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эрлер В., Вальтер Л. Электрические измерения неэлектрических величин полупроводниковыми тензорезисторами. – М.: Мир, 1974.
2. Проектирование датчиков для измерения механических величин. – М.: Машиностроение, 1979.
3. Немец И. Практическое применение тензорезисторов. – М.: Энергия, 1970.
4. Шушкевич В.А. Основы электротензометрии. – Минск: Высшая школа, 1975.
5. Кисин Б.М., Карпинский В.В. Анализ существующих способов измерения толщины волокнистых материалов (Обзор). – М.: ЦНИИТЭИ легпшесмаш, 1972.
6. Ковнер С.С. Математические методы исследования движения волокон в процессе вытягивания. – М.: ГНТИЛЛП, 1957.

Рекомендована кафедрой пищевых производств. Поступила 10.10.08.