ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Н.Н. Васин, В.А.Фурсов, А.Ю.Петров

1. Общая схема системы измерений. Структурная схема системы, предназначенной для измерения температуры вращающегося объекта, приведена на рис. 1. Она состоит из бесконтактного индукционного токосъемника БИТ [1] и модуля преобразования, выполненного в двух вариантах: в виде платы стандарта IBM PC или модуля стандарта КАМАК. БИТ представляет собой закрепленный на вращающемся объекте диэлектрический диск с передающими Lпі и приёмнокомпенсационными катушками Lпкі, к каждой паре которых подключена соответствующая термопара ТПі. При вращении диска передающие катушки поочередно проходят между секциями приемной Lпр, в которой наводится импульсный сигнал Ux. Когда Lпі находится между секциями приемной Lпр, то соответствующая ей Lпk будет между секциями компенсирующей катушки Lк.

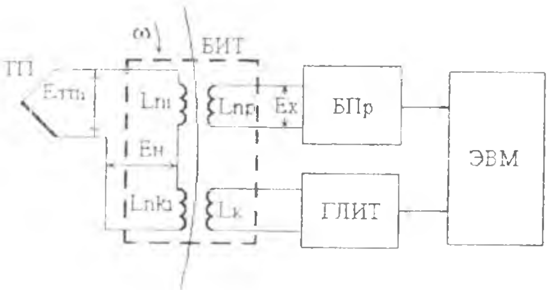

Рис. 1

Амплитуда Ux определяется разностью э.д.с. термопары Eтп и э.д.с. Eн, наведенной в катушке Lпк полем компенсирующей катушки Lк, а также сопротивлением измерительной цепи, взаимной индуктивностью передающей и приемной катушек, скоростью вращения объекта ω. Сигнал Ux в блоке преобразования БПр усиливается, фильтруется, преобразуется в цифровой код Nx передается в ЭВМ для обработки. Кроме того, ЭВМ с рядом дополнительных устройств управляет работой модуля

ЭВМ задает начальный код Nглит, которому соответствует определенная скорость изменения тока I генератора ГЛИТ. При максимальном Nглит происходит перекомпенсация, сигнал Ux и соответствующий ему код Nx становятся отрицательными. С каждым оборотом диска код Nглит уменьшается на определенное значение по заданной программе, а код Nx возрастает на некоторую величину. Зависимость Nx=f(Nглит) линейная. Расчетным путем определяется код Nглит, при котором происходит полная компенсация, когда Етп-Ен=0. По значению этого расчетного кода вычисляется величина сигнала Етп и температура. Влияние помех приводит к тому, что отдельные значения измерений не совпадают с линейной характеристикой Nx=f(Nглит). Импульсные помехи приводят к появлению выбросов. Поэтому важное значение имеет способ обработки полученных данных.

2. Построение процедуры обработки данных. Зависимость кода АЦП от кода ГЛИТ описывается моделью регрессии вида $y_i = c^T x_i + \xi_i, \quad i = \overline{1, n}$, (1)

где y_i - код АЦП, $x_i = [1, N_i]^T$ - вектор, вторая компонента которого N_i - является текущим значением кода Nглит, а $c^T = [c_0, c_1]$ - вектор искомых параметров (c_0 - значение ординаты при нулевом коде Nглит и c_1 угловой коэффициент), ξ_i - погрешность измерения. Для n наблюдений в соответствии с (1) можно записать векторно - матричное соотношение вида $y = Xc + \xi$, (2)
где y - вектор, составленный из n наблюдений кода АЦП; X - матрица $n \times m$, строки которой - x_i^T, $i = \overline{1, n}$; $\xi = [\xi_1, \xi_2 \ldots \xi_n]^T$ - вектор случайной погрешности.

Для нормального закона распределения, необходимого для эффективной работы МНК, характерна малая вероятность больших отклонений. Вне интервала [3σ, 3σ] находится лишь 0.27% распределения. В реальных условиях до 10% ..30% всех измерений могут существенно отличаться от нормальных. При малом числе измерений n МНК становится непригодным для решения задачи определения $N_{0глит}$. Ниже приводятся устойчивые к аномальным ошибкам алгоритмы обработки экспериментальных данных, протестированные на 8-ми замерах системы. На графиках рис. 2 отображены два замера с наиболее характерными выбросами, вызванными, вероятно, сбоями синхронизации системы. Для решения задачи определения $N_{0глит}$ при малом числе измерений и наличии аномальных ошибок предложен следующий простейший алгоритм обработки данных, позволяющий избавиться от влияния выбросов.

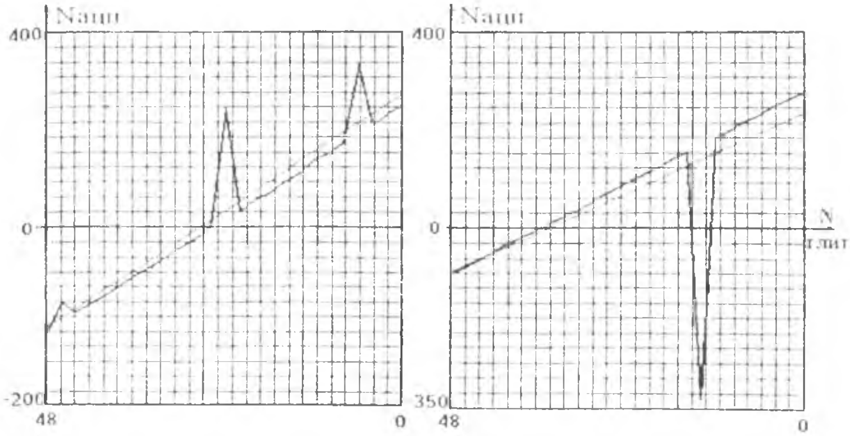

Рис. 2

По методу наименьших квадратов находится уравнение прямой $f1(N_{глит})$. Устанавливается заранее заданный максимальный интервал изменения значений $f1(N_{глит})$, равный 50% от диапазона изменения значений кода $N_{ацп}$. Коды $N_{ацп}$, не попавшие в данный интервал, заменяются значениями функции $f1(N_{глит})$ при соответствующем $N_{глит}$. Например, в замере №2 (табл. 1) при $N_{глит}$ =14 значение кода $N_{ацп}$ =-333 заменяется на значение функции $f1(N_{глит})$=147. Происходит сглаживание линейной выборки $N_{ацп}$. На следующем этапе, снова по методу наименьших квадратов находится уравнение $f2(N_{глит})$, при этом интервал изменения значений задаётся уже вдвое меньше предыдущего. Коды $N_{ацп}$, выходящие за границы заданного интервала также заменяются значениями функции $f2(N_{глит})$. Далее всё аналогично повторяется. Как показали расчёты, достаточно двух, трёх итераций, чтобы получить выборку со сглаженными выбросами. Дальнейшее сужение интервала не дает сколько-нибудь существенного повышения точности. В результате обработки данных замера №2 получено значение $N_{0глит}$ =37,38. Повышение точности при обработке экспериментальных данных возможно с использованием других методов регрессионного анализа, например, построение адаптивной робастной процедуры, которая обеспечивает устойчивость к аномальным ошибкам оценок искомого вектора. Высокая точность робастных процедур, при существовании случайных ошибок, обеспечивается приданием меньшего веса наблюдениям, которые измеряются с большой ошибкой. Матрица весовых коэффициентов на каждом шаге итерации уточняется [2].

Таблица 1

Nглит	2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42	46
Nацп	267	239	207	-333	149	117	87	53	26	-3	-35	-68
f1	267	239	207	147	149	117	87	53	26	-3	-35	-68
Рез-т.	267	239	207	175	149	117	87	53	26	-3	-35	-68

Алгоритм робастной процедуры с перестраиваемой матрицей весовых коэффициентов состоит из следующей последовательности шагов:

1-й шаг. Задание матрицы $G(0)=E$ и начального значения $k=0$.

2-й шаг. Вычисление оценки: $c(k) = \left[X^T G(k) X\right]^{-1} X^T G(k) Y$ (3)

3-й шаг. Увеличение номера шага на единицу. $k=k+1$ и проверка условия - $k = 3$. Если это равенство выполняется, задача считается решенной и процесс останавливается. Иначе осуществляется переход к следующему шагу

4-й шаг. Построение вектора невязок: $\Psi(k) = Y - Xc(k)$

5-й шаг. Формирование весовой матрицы $G(k) = G\left[\Psi(k)\right]$ и переход к шагу 2.

Матрица $G(k)$ на каждом текущем шаге k формируется в следующей последовательности:

а) вычисление суммы модулей компонент вектора невязок:

$$\psi_0 = \delta \sum_{i=1}^{n} |\psi_i|, \quad (\delta = 0{,}01);$$

б) вычисление начальных значений весовых коэффициентов:

$$g_i = (|\psi_i|^k + \psi_0)^{-1};$$

в) нормировка весовых коэффициентов:

$$g_i = g_0\, g_i,\ i=1,n, \text{ где } g_0 = n \Big/ \sum_{i=1}^{n} g_i;$$

Искомая оценка кода ГЛИТ определяется как $\hat{\mathbf{x}} = -\hat{\mathbf{c}}_0 / \hat{\mathbf{c}}_1$.

Второй этап обработки информации заключается в последующем сглаживании коротких последовательностей оценок кода ГЛИТ. Для этого используется алгоритм типа “скользящего окна”, работающий по той же, что и описанная выше, схеме. Отличия связаны с видом конкретных соотношений. В частности, на шаге 2 вместо формулы (3) для вычисления сглаженной оценки $\bar{x}$ используется соотношение $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} g_i x_i$, где g_i -весовые коэффициенты (в описанном выше алгоритме это диагональные элементы матрицы *G*). А компоненты вектора невязок на 4-м шаге определяются как $\psi_i = x_i - \bar{x}$, $i = \overline{1, n}$. В остальном алгоритм совпадает с точностью до обозначений.

Результаты обработки. Эффективность описанных алгоритмов проверялась на экспериментальных данных. В таблице 2 представлены результаты вычисления $N_{0глит}$ на основе МНК (**$N_1$0глит**) и двух выше изложенных методов **$N_2$0глит** - модифицированный МНК, **$N_3$0глит** - метод с перестраиваемой матрицей весовых коэффициентов. Анализ результатов показывает, что МНК дает погрешность ±5%. Робастные алгоритмы устойчивы к сбоям в экспериментальных данных, что позволило снизить погрешность вычисления $N_{0глит}$ до ±0,3%.

Таблица 2

Замер	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
$N_1$0глит	38,63	36,29	39,69	37,38	35,92	37,20	37,32	37,24
$N_2$0глит	37,46	37,38	37,39	37,38	37,31	37,32	37,32	37,24
$N_3$0глит	37,45	37,43	37,38	37,40	37,25	37,32	37,40	37,24

Заключение. Рассмотренные робастные алгоритмы обработки измерений позволяют существенно (более чем на порядок) повысить точность измерения температуры при появлении в исходных данных аномальных погрешностей. Разработанная система позволяет измерять сигналы 16-ти датчиков в диапазоне 0-50 мВ с основной погрешностью 0,5%. Скорость вращения объекта составляет 1000-15000 об/мин, температура окружающей среды в районе расположения БИТ 0^0 - 200°С

ЛИТЕРАТУРА

1. Васин Н.Н. А с 1619070 СССР//Б.И N 1. 1991. с.122.

2. Фурсов В.А Анализ точности и построение алгоритмов идентификации по малому числу наблюдений - Изв. АН СССР, Техн. кибернетика, N 6, 1991г.

АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДВУХТАКТНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ ДЛЯ МОСТОВЫХ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫХ ДАТЧИКОВ

Вилоп Л.Э.

Включение тензорезисторов по мостовой схеме, как правило, имеет место в высокоточных датчиках, представляющих собой обособленный конструктивный узел и предназначенных для измерения физических величин через деформацию упругого элемента датчика.

Для получения измерительной информации с таких датчиков в системах измерения медленноменяющихся величин находят применение АЦП двухтактного интегрирования (АЦП ДИ), обеспечивающие в сравнении с другими видами АЦП повышенную разрешающую способность. Так в системах измерения тяги газотурбинных двигателей с мостовыми тензорезисторными датчиками усилий типа ТВС АЦП двухтактного интегрирования обеспечивает разрешающую способность 15 бит при выходном сигнале датчика 40 мВ и времени преобразования 60 мс [1].

Схемотехника таких АЦП имеет отличия от схемотехники АЦП ДИ цифровых вольтметров [2.3]. Точность преобразования в них определяется точностью соответствия цифрового кода на выходе АЦП деформации тензорезистора. К узлам, определяющим эту точность, добавляется схема питания датчика и линия связи "датчик-преобразователь". Вместе с тем, при условии стабильности величины выходного сопротивления датчика и отсутствии влияния остаточных параметров ключевых элементов, не имеет принципиального значения величина входного сопротивления интегратора Последнее обстоятельство дополняет множество