

## ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА В СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕСА

**А.А. Лебедев, К.О. Разнополов, О.А. Разнополов**

Тензометрические датчики широко используются в качестве чувствительных элементов весов промышленного назначения: крановых весов, весов-дозаторов и автомобильных весов.

Динамические свойства измерительных систем, в которых используются тензометрические датчики, характеризуются колебательными переходными процессами. Точное значение веса груза определяется по истечении некоторого промежутка времени, необходимого для затухания переходного процесса на выходе системы измерения.

Современные интеллектуальные датчики позволяют обеспечить работу измерительной системы в режиме динамического измерения, когда значение веса груза определяется задолго до затухания колебаний сигнала на выходе датчика. Такой режим работы системы позволяет существенно ускорить процесс измерения.

В настоящее время существует ряд методов, применяющихся для обеспечения режима динамического измерения в измерительной системе. Использование нейронных сетей для динамических измерений описано в [1]. Кроме данных методов используются фильтр Калмана [2] и оценка с помощью рекурсивного метода наименьших квадратов [3]. Указанные методы предполагают цифровую реализацию устройства, корректирующего выходной сигнал тензодатчика. Метод, использующий аналоговый адаптивный фильтр, представлен в [4]. В данной статье исследуется возможность применения цифрового адаптивного фильтра, позволяющего организовать работу измерительной системы в режиме динамического измерения и сократить время взвешивания.

### 1. Модель измерительной системы

Динамика измерительной системы с тензометрическим датчиком в качестве чувствительного элемента описывается, согласно [4], следующим дифференциальным уравнением:

$$(m + m_0) \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + c \frac{dy(t)}{dt} + ky(t) = mg \cdot 1(t),$$

где  $m$  - масса груза,  $y(t)$  - выход измерительной системы,  $m_0$  - эффективная масса датчика,  $c$  - коэффициент затухания,  $k$  - свободный коэффициент,  $g$  - ускорение свободного падения,  $1(t)$  - единичная ступенчатая функция.

Если входным сигналом считать массу, воздействующую на датчик (т.е. величину  $m \cdot 1(t)$ ), а выходным сигналом - падение напряжения на тензодатчике, то передаточная функция измеритель-

ной системы  $T(s)$ , записанная на основании данного уравнения, будет иметь вид

$$T(s) = \frac{Y(s)}{M(s)} = \frac{g}{m + m_0} \left/ \left( s^2 + \frac{c}{m + m_0} s + \frac{k}{m + m_0} \right) \right.$$

Для получения единичного коэффициента передачи в статике необходимо в измерительную систему включить последовательно звено усиления с коэффициентом  $k/g$ . Тогда передаточная функция измерительной системы со звеном усиления  $G(s)$  примет вид

$$G(s) = T(s) \frac{k}{g} = \frac{k}{m + m_0} \left/ \left( s^2 + \frac{c}{m + m_0} s + \frac{k}{m + m_0} \right) \right.$$

или

$$G(s) = \frac{P_2}{s^2 + p_1 s + p_2}. \quad (1)$$

При малом значении параметра  $p_1$  переходный процесс будет носить колебательный характер и иметь значительное время установления.

### 2. Синтез адаптивного фильтра

Применение идеального фильтра с передаточной функцией  $H(s) = 1/G(s)$  позволило бы придать переходной характеристике  $z(t)$  желаемый вид и обеспечить работу измерительной системы в режиме динамического взвешивания (см. рис. 1).

Фильтр с передаточной функцией  $H(s) = 1/G(s)$  физически нереализуем, поэтому можно использовать передаточную функцию вида

$$H(s) = \frac{B}{p_2} \cdot \frac{s^2 + p_1 s + p_2}{s^2 + A s + B}, \quad (2)$$

где  $A$  и  $B$  задают вид переходного процесса.

Однако, в соотношении (1) параметры  $p_1$  и  $p_2$  передаточной функции  $G(s)$  зависят от массы груза, воздействующего на тензодатчик, поэтому применимость фильтра с постоянной структурой и постоянными параметрами ограничена узким диапазоном масс взвешиваемых грузов.

Фильтр, описываемый передаточной функцией (2), имеет структуру, представленную на рис. 2.

Передаточная функция такого фильтра, полученная по структурной схеме, имеет вид

$$H(s) = b/k \cdot \left( s^2 + \frac{c}{n} s + \frac{k}{n} \right) \left/ \left( s^2 + \frac{a}{n} s + \frac{b}{n} \right) \right.$$

Для идеального фильтра  $n = m + m_0$ , передаточная функция измерительной системы с идеальным фильтром будет иметь вид

$$W(s) = G(s)H(s) = \frac{b}{m + m_0} \left/ \left( s^2 + \frac{a}{m + m_0} s + \frac{b}{m + m_0} \right) \right.$$

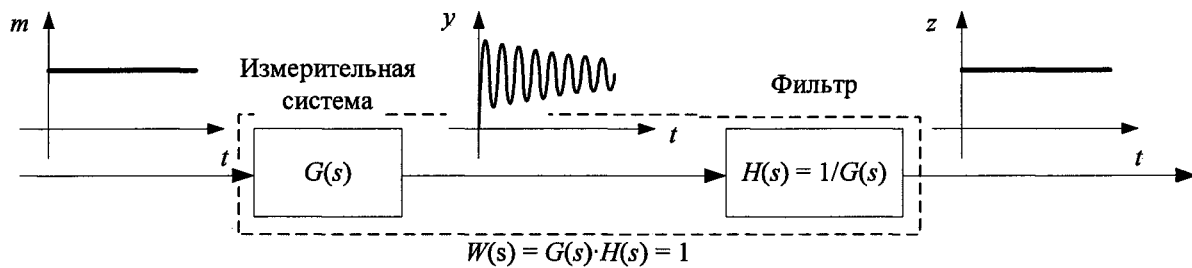


Рис. 1. Схема измерительной системы с идеальным фильтром

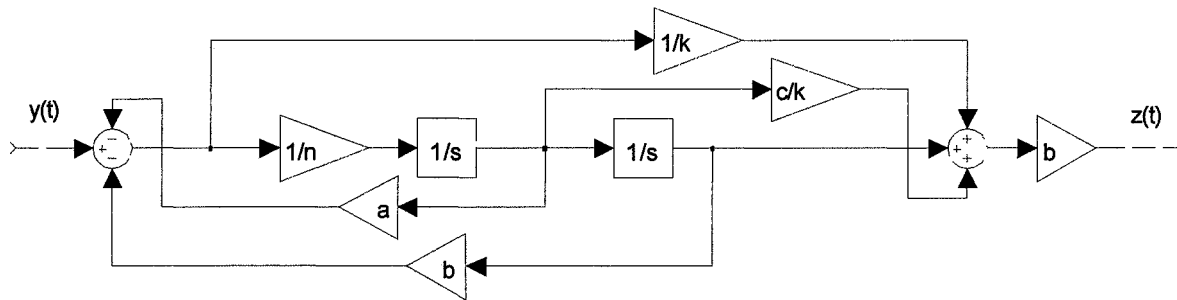


Рис. 2. Структурная схема неадаптивного фильтра

Выбирая коэффициенты  $a$  и  $b$ , можно задавать вид переходного процесса на выходе измерительной системы. Если выполняются условия  $a \gg m_{\max}$ ,  $b \gg m_{\max}$ , то масса взвешиваемого груза влияет на характер переходного процесса незначительно (здесь  $m_{\max}$  - верхний предел измерений).

Однако масса  $m$  подлежит измерению и становится известной только по окончании переходного процесса на выходе, поэтому для реализации условия  $n = m + m_0$  предлагается использовать выходной сигнал фильтра  $z(t)$  в качестве оценки параметра  $m$ . В структуру фильтра вводится нелинейный элемент с характеристикой вида  $f(z) = 1/(z + m_0)$ , в результате получаем адаптивный фильтр, структурная схема которого приведена на рис. 3.

Схема измерительной системы с адаптивным фильтром изображена на рис. 4.

### 3. Результаты моделирования

Для проверки применимости предложенного метода было проведено моделирование измерительной системы с адаптивным фильтром в MathWorks Simulink 6.5. В качестве модели датчика использовалась передаточная функция (1) с добавлением на выходе белого шума с дисперсией 0,001. Использовались следующие значения параметров передаточной функции датчика:  $m_0 = 0,5$  кг;  $c = 3,5$ ;  $\kappa = 2,7$  кПа [4].

В качестве модели адаптивного фильтра использовалась структурная схема, представленная на рис. 3. Параметры фильтра  $a$  и  $b$  выбраны равными 600 и 100000 соответственно. Для подавления шума на выходе датчика использовался фильтр нижних частот Баттерворта второго порядка с полосой пропускания 50 рад/с.

Схема моделирования приведена на рис. 5. В качестве входного воздействия задавались массы 1 кг и 10 кг. Результаты моделирования представлены на рис. 6.

### Заключение

Результаты моделирования показывают уменьшение времени измерения более чем на порядок при неизменной точности измерений, что свидетельствует о применимости предложенного метода динамической компенсации колебательной составляющей переходного процесса в измерительной системе для обеспечения режима динамического измерения. При этом массы взвешиваемых грузов могут находиться в достаточно широком диапазоне.

Структура предложенного фильтра достаточно проста и легко может быть реализована в цифровом виде.

### Литература

1. Alhoseyni, S. M. T. The application of artificial neural network to intelligent weighing systems / S. M. T. Alhoseyni, A. Yasin, N. M. White // Proc. IEE Sci. Meas. Technol. -1999. - Vol. 146. -P. 265-269.
2. Halimic, M. Kalman filter for dynamic weighing system / M. Halimic, W. Balachandran // Proc. IEEE Int. Symp. Industrial Electron. -1995. -P. 787-791.
3. Shu, W.-Q. Dynamic weighing under nonzero initial condition / W.-Q. Shu // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. — 1993. - Vol. 42. -P. 806-811.
4. Jafaripناه, M. Application of Analog Adaptive Filters for Dynamic Sensor Compensation / M. Jafaripناه, B. M. Al-Hashimi, N. M. White // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. -2005. - Vol. 54, № 1. -P. 245-251.

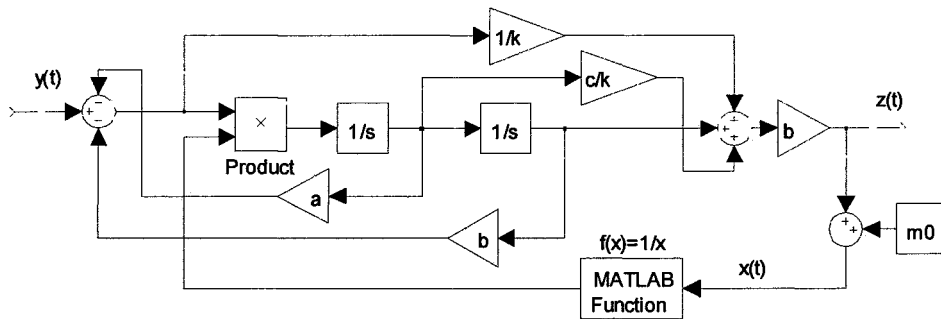


Рис. 3. Структурная схема адаптивного фильтра

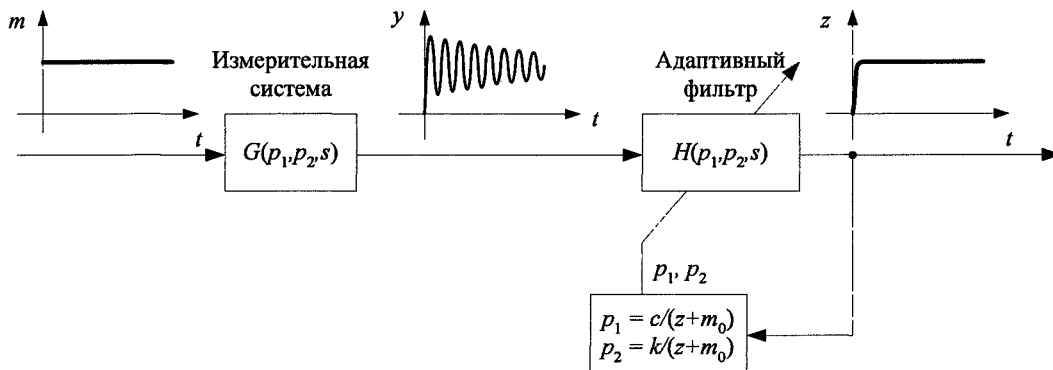


Рис. 4. Схема измерительной системы с адаптивным фильтром

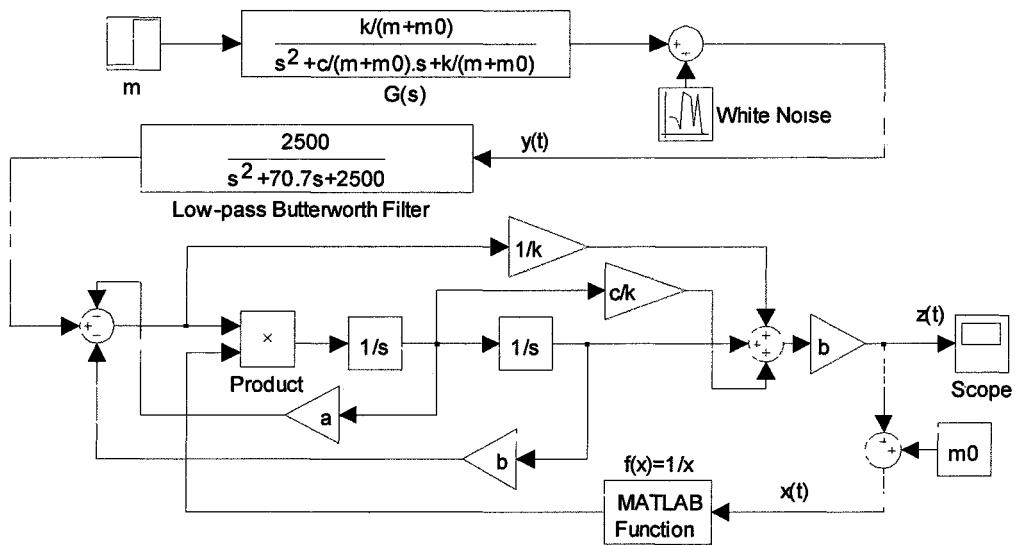


Рис. 5. Схема моделирования

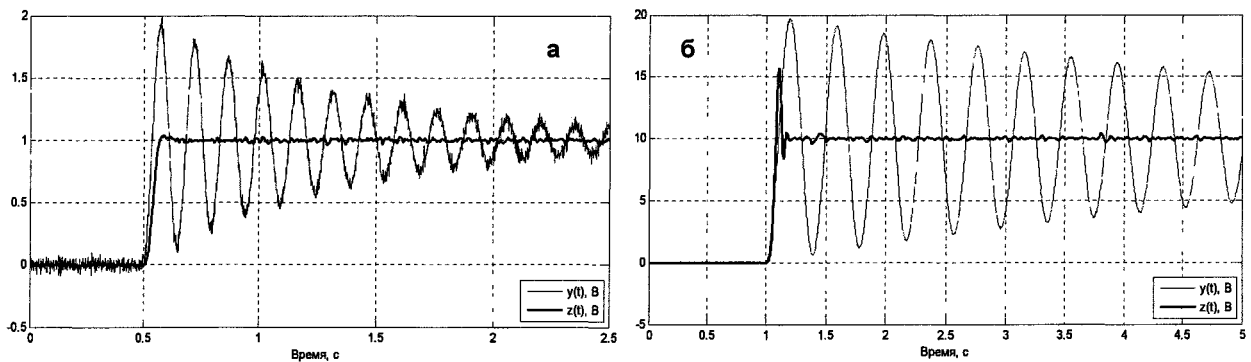


Рис. 6. Результаты моделирования при дисперсии шума 0,001:  
а – при массе 1 кг; б – при массе 10 кг