

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПОПЛАВКОВЫХ ДАТЧИКАХ

А. Ю. Доросинский, А. Н. Виньчаков, В. Г. Недорезов

В настоящее время датчики уровня строятся на самых различных физических принципах, причем использование датчика того или иного принципа функционирования определяется, как правило, совокупностью технических и эксплуатационных требований [1].

Датчики, основанные на магнитострикционном принципе, применяются в тех случаях, когда решается задача совместных измерений при обеспечении высокой точности. Их применение оправдано в условиях с повышенной взрывоопасностью, так как рабочие элементы датчика полностью изолированы от внешней среды.

Как уже было отмечено, датчик применяется для выполнения совместных измерений, таких как определение уровня, плотности и раздела сред, при измерении уровня топлива. Это выгодно тем, что измерения осуществляются на едином физическом принципе.

С целью развития и совершенствования метрологического обеспечения актуальной задачей является повышение точности измерений, которая напрямую зависит от качества определения информативных параметров сигнала, содержащего информацию о положении поплавка. Сигнал отклика, содержащий информацию о положении поплавка в датчиках, основанных на магнитострикционном принципе функционирования, представляет собой последовательность квазипериодических сигналов распределенных по оси времени.

Согласно магнитострикционному принципу функционирования время между подачей импульса возбуждения (стартового импульса) и появлением сигнала отклика пропорционально положению поплавка. Отсюда важной задачей является формирование пространства признаков, с помощью которых возможно точное выделение временных интервалов между составляющими сигнала отклика [2].

Под признаком в данном случае понимается некоторая характеристика или совокупность характеристик, по которым можно однозначно идентифицировать сигнал отклика и его параметры (в данном случае местоположение на оси времени). На рис. 1 изображена типичная форма сигнала отклика от магнита, установленного на поплавке уровня. Причем при наличии незначительных искажений данная форма остается неизменной.

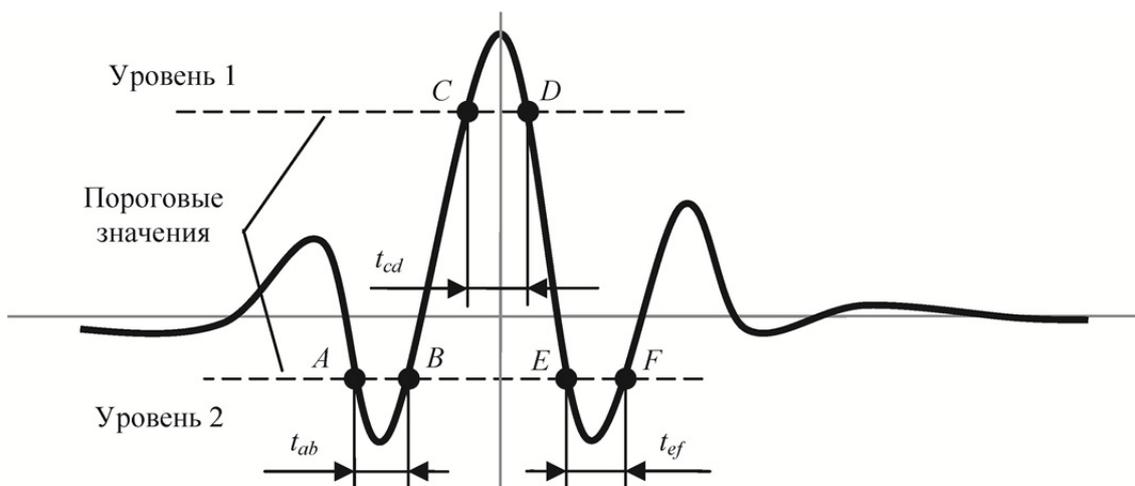


Рис. 1. Форма сигналов отклика

Наиболее используемым с точки зрения выделения пространства признаков полезного сигнала является метод, основанный на сравнении сигнала с заданными пороговыми значениями [3].

Данный подход заключается в обнаружении полезных сигналов путем превышения ими некоторого заданного порога. Помимо этого, данный подход выгоден тем, что в силу квазигармонической природы сигналов превышение порога возможно как одной, так и несколькими полуволнами. Исходя из этого, появляется возможность определения длительности превышения порога полуволной. Данная ситуация иллюстрируется рис. 1, где превышение основной полуволной положительного порога (интервал CD) составляет время t_{cd} .

Таким образом, в качестве параметров, однозначно характеризующих сигнал, можно условно выделить:

- амплитуды полуволн сигнала;
- периоды гармонических составляющих.

При данном подходе целесообразно переформулировать признаки, характеризующие сигнал как:

- превышение амплитуд полуволн сигнала некоторых пороговых значений;
- длительность превышения амплитуд полуволн сигнала некоторых пороговых значений.

Аппаратная реализация подобного подхода достаточно проста и требует наличия одного или нескольких компараторов в зависимости от выбранного количества пороговых значений.

Использование одного порогового значения, например уровня 1 (см. рис. 1), привлекательно с точки зрения простоты, так как компаратором будет сформирован логический сигнал, из которого можно выделить интервал времени пропорциональный положению поплавка, а значит, и текущему уровню.

При этом срабатывание компаратора может произойти в точках C , D или в C и D , так как параметры срабатывания компаратора могут быть настроены на:

- срабатывание по положительному перепаду (передний фронт);
- срабатывание по отрицательному перепаду (задний фронт);
- срабатывание по изменению уровня.

Независимо от параметров срабатывания компаратора изменение уровня на его выходе будет однозначно характеризовать местоположение сигналов на оси времени. При этом если при срабатывании по изменению уровня положительный и отрицательный перепады характеризуют местоположение полезного сигнала, то его переключение в точках C и D формирует временной интервал t_{cd} , которым можно пользоваться для подтверждения того, что полезный сигнал идентифицирован правильно (т.е. переключение компаратора не вызвано действием помехи).

Это возможно благодаря тому, что полупериоды сигнала отклика имеют неизменные значения в силу физического принципа функционирования.

Увеличение количества уровней, с которыми сравниваются сигналы отклика, позволяет более достоверно идентифицировать не только его местоположение, но и его истинность. Так, например, на рис. 1 рассмотрена ситуация идентификации сигнала отклика по двум пороговым уровням, где точками $ABCDEF$ обозначены возможные срабатывания компараторов в зависимости от их настроек. По результатам срабатывания компараторов могут быть выделены временные интервалы, отражающие параметры полезного сигнала, необходимые для его идентификации и определения местоположения.

Если компараторы настроены на срабатывание по изменению уровня, то при появлении информативной составляющей сигнала будут выделены три интервала t_{ab} , t_{cd} и t_{ef} , по которым может быть определена совокупность временных интервалов между точками: $AB \cup BC \cup CD \cup DE \cup EF$.

Далее полученные значения сравниваются с некоторым номинальным набором значений $\{AB_n, BC_n, CD_n, DE_n, EF_n\}$, соответствующих параметрам полезного сигнала. По степени близости измеренных и эталонных значений делается вывод о правильности идентификации того или иного полезного сигнала. Решающее правило для правильной идентификации в общем виде может быть записано так:

$$\forall \varepsilon_n \exists \varepsilon \in \mathfrak{X} : \varepsilon = \left| (AB * BC * CD * DE * EF) - (AB_n * BC_n * CD_n * DE_n * EF_n) \right| \Rightarrow \varepsilon_n \geq \varepsilon,$$

где ε_n – пороговое значение, не превышение которого говорит о правильности идентификации элемента полезного сигнала; * – значок композиции.

При этом варианты композиции могут быть самыми разнообразными.

В свою очередь положение сигнала на оси времени может быть определено как по первому срабатыванию компаратора (точка A), так и по некоторой совокупности срабатываний.

В зависимости от настроек срабатывания компараторов можно получать различные совокупности временных интервалов, характеризующих полезный сигнал. Возможные варианты совокупностей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Возможные совокупности временных интервалов

Уровень 1	Уровень 2		
	Передний фронт	Задний фронт	Изменение уровня
Передний фронт	$BC \cup CF$	$AC \cup CE$	$AB \cup BC \cup CE \cup EF$
Задний фронт	$BD \cup DF$	$AD \cup DE$	$AB \cup BD \cup DE \cup EF$
Изменение уровня	$BC \cup CD \cup DF$	$AC \cup CD \cup DE$	$AB \cup BC \cup CD \cup DE \cup EF$

Выделение тех или иных временных интервалов целесообразно в случае ограничений, накладываемых на разрешающую способность, а значит, и точность их измерения. Так, например, в случае низкой частоты следования счетных сигналов таймеров, участвующих в измерениях, целесообразно увеличить временные интервалы, характеризующие сигнал. Наибольшие временные интервалы при этом получаются при настройке компараторов на срабатывание при различных перепадах уровней сигнала, в данном случае $BD \cup DF$ и $AC \cup CE$.

Также различные настройки могут иметь смысл и при иных особенностях построения алгоритма выделения элемента полезного сигнала.

При увеличении количества уровней, фиксирующих превышение сигнала, также увеличивается и достоверность идентификации сигнала, но неизбежно повышаются требования к производительности исполнительного микроконтроллера. Поэтому в каждом конкретном случае должен быть достигнут определенный паритет.

Как и в случае с двумя пороговыми значениями (см. рис. 1), для случая с тремя порогами так же может быть построена таблица совокупности получаемых сигналов в зависимости от настроек компараторов (аналогичная табл. 1). Но в этом случае таблица будет трехмерная.

Таким образом, оперируя данными признаками можно построить достаточно гибкий алгоритм выделения элементов полезного сигнала даже при воздействии сильных помех, порождаемых электромагнитными возмущениями и вибрацией, что опосредованно позволит повысить точность измерений.

Рассмотрим методы, пригодные для выделения информации о текущем уровне топлива на основе вышепредставленных признаков.

В качестве информативных составляющих можно выделить три временных интервала T_1 , T_2 и T_3 (рис. 2), которые представляют собой расстояние между элементами полезного сигнала.

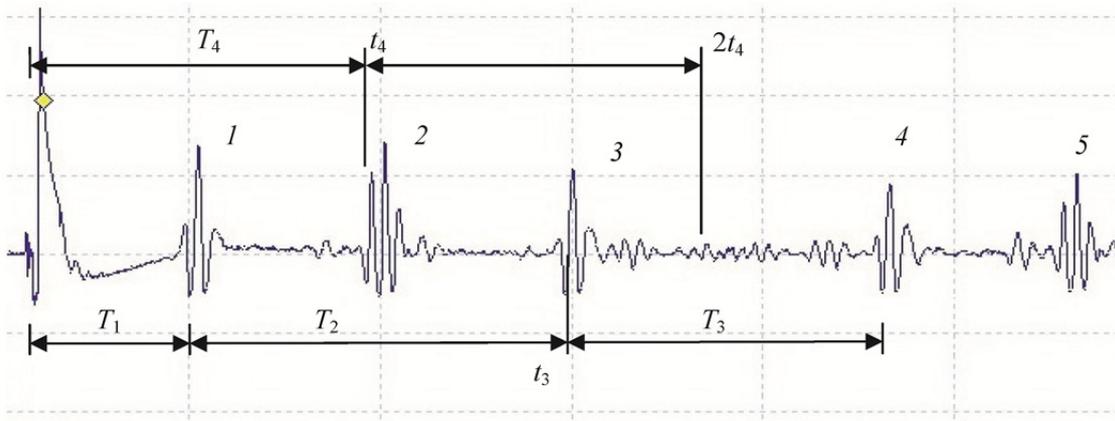


Рис. 2. Выделение временных интервалов между информативными составляющими

В интервале T_4 заложена информация о диапазоне преобразования.

Каждый из интервалов пропорционален определенным значениям линейных расстояний. Поэтому эту зависимость можно выразить системой

$$\begin{cases} T_1 \rightarrow l_x, \\ T_2 \rightarrow 2(l - l_x), \\ T_3 \rightarrow 2l_x, \\ T_4 \rightarrow l, \end{cases}$$

где l_x – расстояние от начала магнитострикционного стержня до текущего положения поплавка; l – длина магнитострикционного стержня.

Использование интервала T_1 для определения уровня топлива является самым очевидным $l_x = \frac{T_1}{T_4}l$, но на данный момент является не самым удачным вариантом за счет того, что при значениях уровня топлива близких к максимальным сигнал 1 смешивается с сигналом, порождаемым стартовым импульсом, вызывая существенные искажения.

Как показали исследования, от данного эффекта предположительно можно избавиться, за счет гальванической развязки схемы подачи стартового импульса и схемы измерения отклика. В этом случае достаточно измерять интервал T_1 , используя в качестве точки отсчета момент программного формирования сигнала управления для схемы подачи возбуждающего импульса.

При анализе еще и сигнала 3, необходимого для вычисления интервала T_2 , можно повысить помехоустойчивость вычислительного алгоритма проверкой симметрии сигналов относительно момента времени t_4 (в качестве t_4 можно использовать его приближенное значение). Подобный подход повысит вероятность того, что в условиях помех составляющие полезного сигнала определены правильно.

Кроме того, определение интервалов T_1 и T_2 и их использование в рамках единого алгоритма потенциально позволяет определить истинное значение l аналитическим путем, без использования сигнала 2.

Для определения l необходимо вычислить функционально связанное с ним значение $\frac{T_2}{2} + T_1 \rightarrow l$.

В этом случае отпадает необходимость в анализе сигнала 2, что предположительно позволяет исключить постоянный магнит, расположенный на конце магнитострикционного стержня. Это потенциально позволит повысить технологичность устройства, а также расширить диапазон измерения за счет исключения влияния смешивания сигналов 1, 2 и 3 при значениях уровня топлива близких к максимальным. Тем не менее этот вопрос требует отдельной проработки, так как неизвестно, как исключение магнита может повлиять на сигнал 3.

Использование только интервала T_2 для определения уровня топлива является не целесообразным из-за необходимости исключения влияния l из результата измерения, что приводит к необходимости проведения вспомогательного измерения интервала T_4 , что потенциально увеличит методическую погрешность измерения.

Поэтому данный временной интервал целесообразно использовать лишь в качестве дополнительного критерия правильности нахождения элементов полезного сигнала.

Третьим возможным способом оценки значения l_x является обработка сигналов 3 и 4. (Вычисление производится по формуле $l_x = \frac{T_3}{T_2 + T_3}l$). Это объясняется тем, что интервал T_3 пропорционален удвоенному значению l_x , что в конечном счете повышает чувствительность и точность измерения.

Более того, данные сигналы полностью не смешиваются при значениях уровня топлива близких к максимальным, а также обладают потенциальной идентифицируемостью при минимальных его значениях в силу лишь частичного смешивания с сигналами 2 и 5.

Как показала практика, повышение тактико-технических характеристик датчика возможно за счет использования алгоритмов определения уровня, обладающих повышенными требованиями к помехоустойчивости и быстрдействию при одновременном снижении требований к вычислительной мощности, необходимой при обработке данных сигналов.

Исходя из критерия максимального правдоподобия, наиболее оптимальным в данном конкретном случае является использование метода прогнозирования местоположения элементов полезных сигналов на оси времени с последующим подтверждением их наличия.

Общий вид алгоритма, построенного на основе данного метода, представлен на рис. 3.

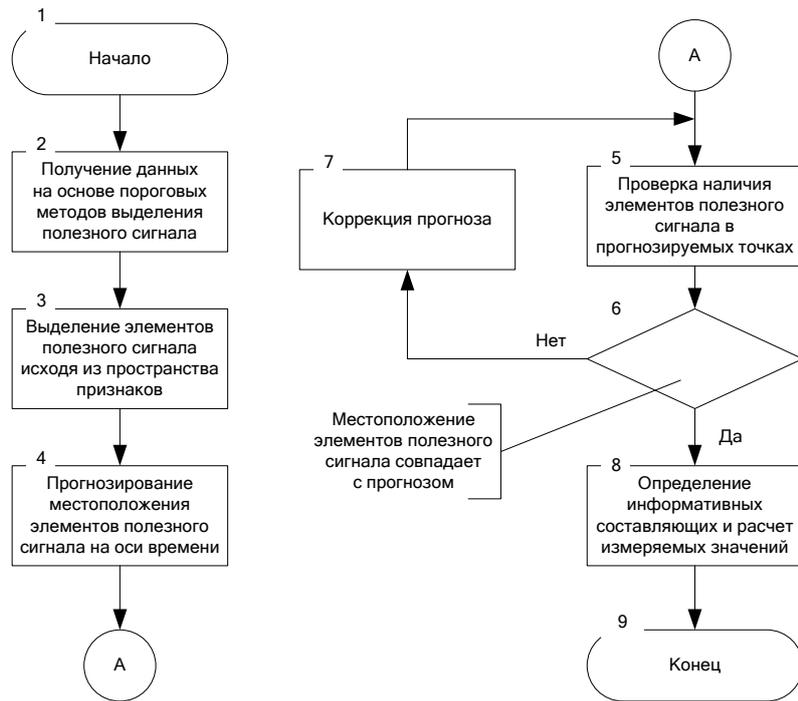


Рис. 3. Алгоритм определения измеряемых значений на основе прогнозирования местоположения информативных составляющих

Прогнозирование местоположения элементов полезного сигнала (блок 4) может осуществляться на основе следующей последовательности действий:

1) сигнал 3 должен находиться между значениями t_4 и $2t_4$, где в качестве t_4 может использоваться как расчетно-теоретическое значение, так и определенное по сигналу 2. Способ получения t_4 не принципиален, так как данное значение корректируется блоком 7;

2) сигнал 4 симметричен сигналу 3 относительно точки $2t_4$ и локализован в окрестности вычисленного значения времени $4t_4 - t_3$, где время t_3 определяет месторасположение сигнала 3 на оси времени;

3) сигнал 1 локализован в окрестности точки $\frac{T_3}{2} = T_1$ на оси времени, которую также можно вычислить по формуле $2t_4 - \frac{T_3}{2}$.

Далее с помощью блока 5 проверяется наличие выделенных элементов сигналов в окрестности полученных значений. Правильность выбора элементов полезного сигнала осуществляется исходя из некоторой меры расхождения между фактическим положением элементов на оси времени и прогнозируемым. В качестве меры расхождения можно использовать сумму квадратов ошибок (как в случае МНК). По величине суммы квадрата ошибок принимается решение о правильности прогноза блоком 6, т.е. полученное значение не должно превышать некоторый порог, определяемый экспериментально.

Если порог превышен, выполняется блок 7, где осуществляется коррекция прогноза, заключающаяся в вариации значения t_4 с целью выполнения второго условия системы

$$\begin{cases} t_4 < t_3 < 2t_4 \\ t' = 4t_4 - t_3 \end{cases},$$

где t' – местоположение сигнала 4 на оси времени.

Расчет значений, выполняемый блоком 8, осуществляется исходя из расчетного значения $T_4 = t' - t_3$.

Предложенный алгоритм дан в обобщенном виде, как пример одного из возможных реализаций принципа максимального правдоподобия применительно к данной задаче. Поэтому на основании предложенного принципа данный алгоритм можно модифицировать в зависимости от конкретных требований его реализации.

Список литературы

1. Датчики : справ. пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин, И. Г. Минаев, А. С. Совлуков ; под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – М. : Техносфера, 2012. – 624 с.
2. Безродный, Б. Ф. Оценка показателей надежности на основе определения объемов опытных партий изделий электроники / Б. Ф. Безродный, О. Ю. Шмелев, С. А. Майоров // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2 (6). – С. 21–26.
3. Володин, К. И. Информационная система сопровождения разработки встраиваемого программного обеспечения для беспроводных сенсорных сетей / К. И. Володин, А. И. Переходов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 1 (9). – С. 85–90.

Доросинский Антон Юрьевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза, ул. Гагарина, 13)
E-mail: antik_r13@mail.ru

Виньчаков Александр Николаевич

инженер,
специальное конструкторское бюро,
ОАО «Электромеханика»
(440052, Россия, г. Пенза, ул. Гоголя, 51/53)
E-mail: alexandrvin@mail.ru

Недорезов Валерий Григорьевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра сварочного, литейного производства
и материаловедения,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: nedval@yandex.ru

Dorosinskiy Anton Yur'evich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technologies
and systems,
Penza State Technological University
(440039, 13 Gagarin street, Penza, Russia)

Vin'chakov Aleksandr Nikolaevich

engineer,
special design bureau,
Electromechanica factory
(440052, 51/53 Gogol street, Penza, Russia)

Nedorezov Valeriy Grigor'evich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of welding, founding manufacture
and materials science,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Аннотация. Описаны преимущества использования магнестрикционных датчиков при измерении параметров топлива. Рассмотрены особенности идентификации элементов полезного сигнала магнестрикционных поплавковых датчиков. Выделены информативные признаки, по которым целесообразно идентифицировать полезный сигнал. Предложен вариант идентификации элементов полезного сигнала на основе сравнения с заданными пороговыми значениями, для которого было разработано решающее правило. Даны рекомендации по выбору и настройке пороговых элементов в зависимости от их технических характеристик, а также быстродействия счетных таймеров, используемых при измерении временных интервалов. Проведен анализ временных интервалов, формируемых между элементами полезного сигнала, в результате чего была установлена их функциональная связь с параметрами датчика.

Abstract. The advantages of using magnetostrictive sensors when measuring fuel parameters. The features of the identification of the useful signal elements float magnetostrictive sensors. Obtained informative signs, which it is advisable to identify the useful signal. A variant of the identification of useful elements on the basis of a comparison of the signal with predetermined threshold values, for which we developed the decision rule. Recommendations for selecting and configuring the threshold elements, depending on their technical characteristics, as well as speed counting timers used in the measurement of time intervals. Analysis carried out slots are formed between the elements of the useful signal, whereby the installed their functional connection with the sensor parameters. An algorithm for determining the elements of the desired signal by using forecasting techniques, allowing to increase the noise immunity of magnetos trie tive sensor type.

Предложен алгоритм определения элементов полезного сигнала с помощью методики прогнозирования, позволяющий повысить помехоустойчивость датчиков магнитострикционного типа.

Ключевые слова: датчик уровня, поплавков, сигнал, идентификация, пороговое значение.

Key words: level sensor, float, signal, identification, threshold value.

УДК 621.3.082

Доросинский, А. Ю.

Обработка сигналов в магнитострикционных поплавковых датчиках / А. Ю. Доросинский, А. Н. Виньяков, В. Г. Недорезов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 49–55. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-8.