

Разработка методов и средств улучшения характеристик микропроцессорных датчиков удара для автомобильных сигнализаций

05, май 2014

DOI: 10.7463/0514.0709342

профессор, д.т.н, Васюков С. А.¹, профессор, д.т.н. Красовский А. Б.¹,

Остапенко Д. Г.¹, Федин В. И.²

УДК 621.317.39.084.2

¹Россия, МГТУ им. Баумана

²ООО Фирма Мэджик Ринг Лтд.

sa_vasyukov@mail.ru

krasovsky@bmstu.ru

dimostap@mail.ru

vicfed2001@mail.ru

Введение

Датчик удара (шок-сенсор) входит в состав большинства охранных систем [1, 2]. Его задача – реагировать на удары по кузову автомобиля. Датчик должен, с одной стороны, иметь высокую чувствительность, чтобы не пропустить покушение на Ваш автомобиль, а с другой стороны – не реагировать на посторонние воздействия (удары грома, проезжающий мимо автотранспорт и т.п.).

Для разделения истинных и ложных срабатываний, современные датчики удара строят по двухзонному принципу [3]. При легком ударе по кузову или колесу автомобиля должен раздаваться предупреждающий, короткий сигнал сирены. Этим сигнализация информирует потенциального нарушителя о том, что автомобиль находится под охраной. Сильный удар (авария, разбитие стекла, буксировка...) должен вызвать полный цикл тревоги. Для того, чтобы отделять легкие удары от сильных и по разному на них реагировать, датчику необходимо иметь два уровня (две зоны) срабатывания.

Центральным звеном любого датчика является чувствительный элемент (ЧЭ) – устройство, преобразующее удар в электрический сигнал. В зависимости от типа чувствительного элемента различают электромагнитные, микрофонные и пьезоэлектрические датчики удара [4]

Существуют и другие чувствительные элементы [5]: светодиод в упругом подвесе в паре с фотоприемником; на эффекте Холла и т.д., но они не нашли широкого применения в датчиках автосигнализаций.

В датчиках пьезоэлектрического типа ЧЭ – пьезопластина с дополнительным грузом (рис. 1). Такой чувствительный элемент практически не подвержен влиянию электромагнитных помех, но имеет достаточно большие габариты.

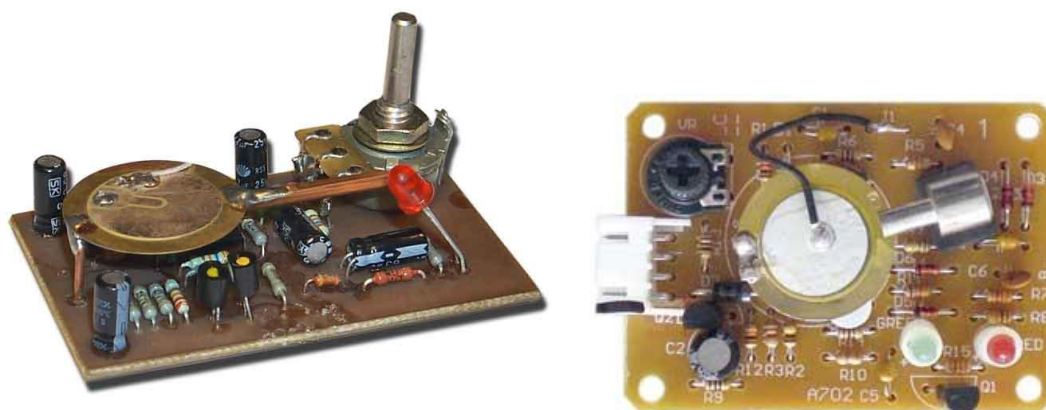


Рис. 1. Датчики удара с пьезоэлементом.

Пьезоэлемент в сочетании с грузом очень эффективно воспроизводит колебания именно тех частот, которые принято считать причиной срабатывания шок-сенсора. Изменяя длину рычага и массу груза, пьезоэлемент настраивают на разные резонансные частоты в зависимости от последующей обработки сигнала. Чаще всего эта частота от 80 до 200 Гц. Для пьезоэлемента недостатком является температурная зависимость напряжения, вырабатываемого на одинаковую деформацию. При понижении температуры чувствительность датчика падает. С этим борются путем термокомпенсирующих цепей в усилителе сигнала датчика. При всей простоте устройства чувствительного элемента шок-сенсора, он может вызывать разнообразные технические проблемы, например, различную пространственную чувствительность. Это приводит к тому, что удары по машине, равные по силе, но разные по направлению или в разные части кузова, вызывают различную реакцию охранной системы. Другой проблемой является отсутствие на рынке недорогих пьезоэлементов со сколько-нибудь приемлемой повторяемостью параметров внутри даже одной партии. Это ставит большую проблему при массовом производстве автосигнализаций, поскольку индивидуально регулировать каждый датчик в таких широких пределах очень нетехнологично.

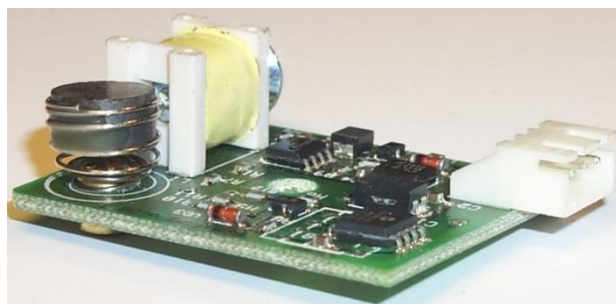
В датчике с электретным микрофоном на микрофон надевается резиновый колпачок с латунным грузом. Микрофон здесь служит для измерения давления воздушного столба под грузом. Это давление изменяется при колебаниях груза, вызванных ударом по автомобилю. Конструкция чувствительного элемента позволяет избежать влияния внешних акустических помех.

Сам по себе микрофон воспроизводит столь низкие частоты, свойственные колебаниям при ударном воздействии, но с меньшей амплитудой на выходе, что требует дополнительного усиления. Но при этом микрофон также воспроизводит вторичные колебания, более высокой частоты (звукового диапазона), причиной которых также могло быть ударное воздействие. По этой причине микрофонные датчики, используемые в качестве чувствительного элемента шок-сенсора, чаще приводят к ложным "звуковым" срабатываниям. Причины здесь разные: неправильная АЧХ, малая постоянная времени, неудачная программа обработки, подверженность к электромагнитным помехам, и не в последнюю очередь слишком высокочастотный (широкополосный) чувствительный элемент. Микрофонные системы обладают хорошей технологичностью и повторяемостью характеристик.

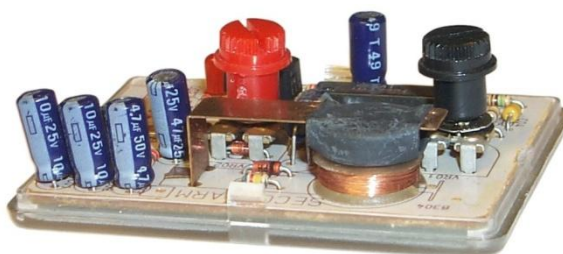
Электромагнитные датчики наиболее часто встречаются в охранных системах в силу простоты принципа преобразования.

При ударе по кузову автомобиля, постоянный магнит, закрепленный в подвесе, начинает колебаться; эти колебания вызывают в многовитковой катушке электрический сигнал. По величине сигнала и происходит классификация удара на сильный и слабый.

На рис. 2 изображены датчики удара, с подвесами разных типов. На рис. 2 а магнит закреплен в пружине, на рис. 2 б магнит укреплен в Г-образной пластине над катушкой открытого типа. Недостатком известных электромагнитных датчиков является: большие габариты ЧЭ (катушка, элементы подвески сердечника, сам сердечник); нетехнологичность при установке на печатную плату; необходимость регулировки зазора между магнитом и катушкой. Частота резонанса таких электромеханических систем получается в пределах нескольких десятков герц, что несколько лучше для датчика удара, чем у пьезоэлементов.



а



б

Рис. 2. Датчик удара с чувствительным элементом в виде: а – постоянного магнита в пружине; б – постоянного магнита на Г-образной пластине.

Место установки датчика удара на автомобиль не регламентируется. Можно устанавливать как на металл кузова, так и на обивку салона. Рекомендуется устанавливать датчик в центре салона, так как это обеспечивает равномерную чувствительность к удару по любой части кузова автомобиля. Датчик необходимо хорошо закрепить, чтобы избежать ложных срабатываний.

В последнее время в "бюджетных" (недорогих) системах чувствительный элемент и схему обработки стали устанавливать на основную электронную плату сигнализации. Решение красивое и экономичное, но в ущерб качеству работы датчика удара. Трудно подобрать место для установки основной платы такой сигнализации: оно должно быть скрытым, труднодоступным для угонщика и при этом еще и обеспечивать оптимальную чувствительность к удару.

Большинство присутствующих на рынке шок-сенсоров [1, 2] имеют аналоговые усилители и формирователи. Чувствительность в таких датчиках регулируется ручками переменных резисторов, выведенными на корпус.

К настоящему времени выделились два способа настройки чувствительности датчика удара на автомобиле. Первый из них – полуавтоматический. При настройке пользователь или установщик охранной системы переводит микропроцессорный датчик в режим обучения, а затем производит легкий и сильный удары по кузову. Микропроцессор запоминает интенсивность ударов и в дальнейшем использует эту информацию при разделении ударов на сильный и слабый. При кажущейся простоте настройки здесь кроется один существенный недостаток: на один и тот же удар по разным частям автомобиля реакция датчика будет неодинаковой. И если в режиме обучения Вы произвели удар по колесу, это еще не значит, что датчик сработает в режиме охраны при ударе по кузову. Или наоборот, легкий удар по кузову вместо короткого предупреждения может вызвать тревогу.

Второй способ можно назвать "методом проб", он применим как к аналоговым, так и к цифровым микропроцессорным датчикам. Здесь в режиме настройки последовательно "простукиваются" разные части автомобиля и по реакции (уже не датчика, а сигнализации в целом) принимается решение, на каком уровне чувствительности остановится. Настройка выполняется отдельно для зоны тревоги и для зоны предупреждения. Такой способ настройки более длительный, но, на наш взгляд, дает лучшие результаты. Именно этот способ настройки применяется в датчиках автомобильных сигнализаций «Экселлент» [6], разрабатываемых российской фирмой Мэджик Ринг Лтд. и производимых тайваньской фирмой Lighting Technology.

Эксплуатация датчиков, построенных по аналоговой схеме, выявила ряд существенных недостатков:

1. Пьезоэлектрические чувствительные элементы не обладают повторяемостью характеристик, что затрудняет их использование при массовом производстве. Микрофонные датчики конструктивно сложны, и, вследствие широкополосности чувствительного элемента, требуют сложной обработки информационного сигнала. Чувствительные элементы

электромагнитных датчиков требуют индивидуальной настройки (выставки зазора между магнитом и катушкой).

2. Использование в схемах усилителей и фильтров аналоговых элементов (резисторов, конденсаторов), снижает временную и температурную стабильность характеристик. При изменении температуры окружающей среды от -30 до $+60$ С (возможные температуры в салоне автомобиля зимой и летом) диапазон срабатывания изменяется на 20-30 %. Это требует перенастройки датчика при переходе от летнего к зимнему сезону, что практически трудно реализуемо.

3. Настройка зон срабатывания датчика переменными резисторами на плате крайне неудобна и не позволяет оперативно изменять чувствительность датчика в зависимости от внешней обстановки (например, оперативно увеличить с брелка сигнализации зону срабатывания датчика при постановке в охрану на даче или в лесу, или уменьшить ее на улице с интенсивным движением).

4. Построение датчика по аналоговой схеме не позволяет проводить его автоматическую адаптацию к таким внешним воздействиям как дождь, поток проезжающих мимо автомобилей и т.п.

В связи с вышеизложенным, актуальными являются вопросы проектирования цифровых датчиков удара, обладающих высокостабильными характеристиками и способностью адаптации к внешним помехам.

Решение этой проблемы связано с выбором типа чувствительного элемента и здесь возможны два пути:

- усовершенствование конструкции чувствительного элемента электромагнитного типа в совокупности с микропроцессорной схемотехникой датчика, позволяющей провести цифровую обработку информационного сигнала;
- применение принципиально новых чувствительных элементов.

Поиску методов и средств решения вышеперечисленных проблем и посвящена эта работа.

1. Цифровой микропроцессорный датчик удара с ЧЭ электромагнитного типа

1.1. Разработка конструкции ЧЭ

Чувствительный элемент электромагнитного типа, применяющийся в серийных датчиках удара, должен удовлетворять ряду требований:

- иметь низкую себестоимость при серийном производстве;
- обеспечивать легкий монтаж на печатную плату с последующей пайкой выводов на автоматической линии;
- не содержать каких-либо элементов для настройки;
- иметь высокий коэффициент преобразования (перемещения магнита в ЭДС самоиндукции катушки);

- элемент подвеса не должен существенно изменять своих упругих свойств в температурном диапазоне от -30 до $+60$ С.

Анализ существующих конструкций ЧЭ электромагнитного типа и требования по себестоимости и технологичности привели к выводу о нецелесообразности применения металлических пружин и растяжек в качестве ЧЭ. Предлагается конструкция ЧЭ (рис. 3), разработанная фирмой Lighting Technology по техническому заданию фирмы Мэджик Ринг Лтд. (в формировании ТЗ принимали участие авторы настоящей статьи).

Чувствительный элемент в сборе (рис. 3 а), монтируется на печатную плату вертикально и припаивается с помощью двух ножек. Пластиковые бобышки в нижней части ЧЭ вставляются в отверстия платы и служат для дополнительного позиционирования ЧЭ. Цилиндрический магнит ЧЭ устанавливается на поверхность металлического цилиндра (рис. 3 д), а затем помещается внутрь силиконовой растяжки (рис. 3 г и в). Растяжка с магнитом вставляется внутрь катушки (рис. 3 б), так, что магнит оказывается внутри цилиндрической многовитковой обмотки.

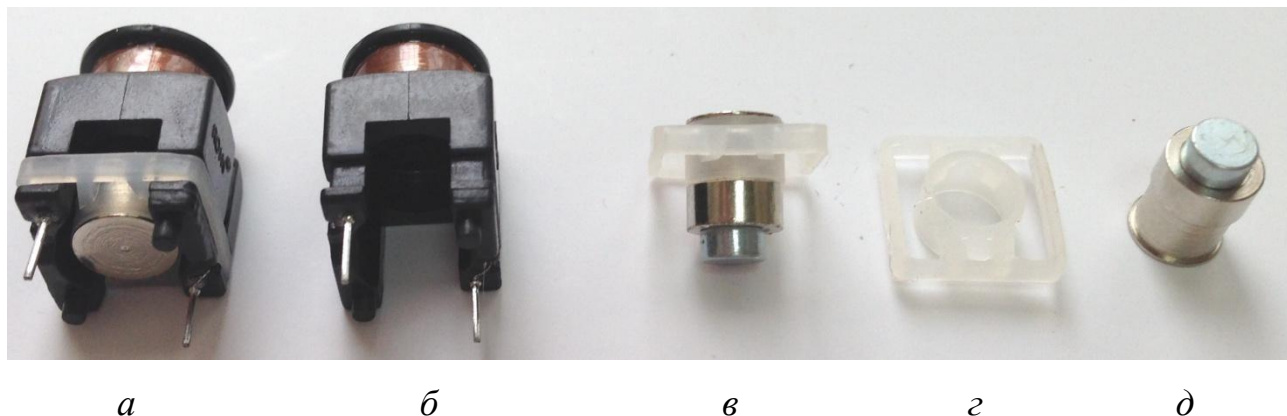


Рис. 3. Чувствительный элемент (ЧЭ) электромагнитного типа: а – ЧЭ в сборе; б – катушка в пластиковом корпусе; в – магнит в силиконовой растяжке; г – силиконовая растяжка; д – магнит на металлическом цилиндре.

На рис. 4. показана плата датчика удара со смонтированным ЧЭ.

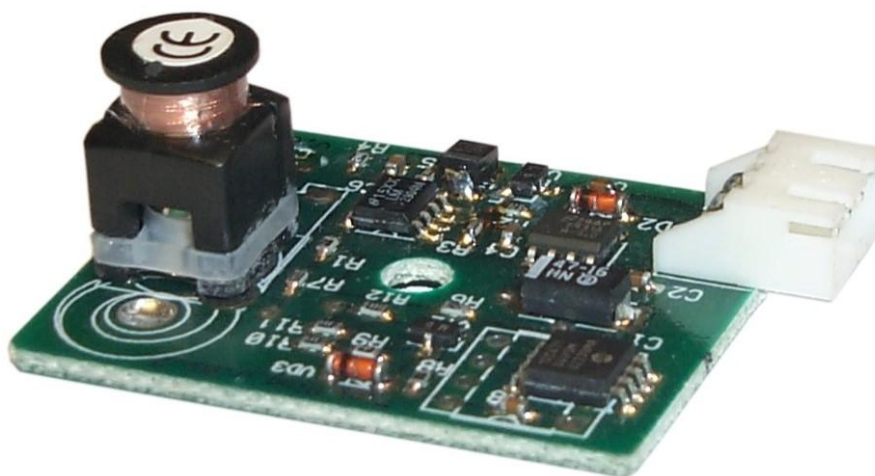


Рис. 4. Микропроцессорный датчик удара с электромагнитным ЧЭ

1.2. Разработка принципиальной электронной схемы датчика

Схема цифрового датчика, разработанная авторами, приведена на рис. 5. Центральным звеном схемы является микропроцессор DD1. Так как в схеме датчика реализуется цифровая фильтрация сигнала, то при выборе типа процессора руководствовались двумя основными моментами:

- процессор должен иметь встроенный АЦП;
- процессор должен иметь минимальную стоимость.

Этим параметрам удовлетворяет восьмиразрядный процессор PIC12F683 со встроенным АЦП и оптовой стоимостью порядка 0,9 \$.

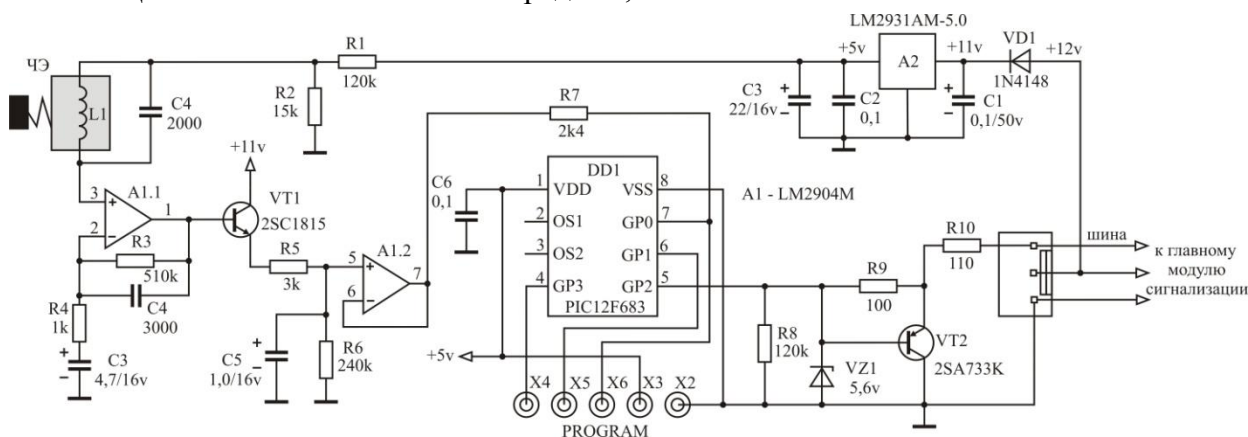


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема датчика удара.

Удар по корпусу автомобиля вызывает колебания магнита и в катушке L1 чувствительного элемента наводится ЭДС самоиндукции. Дополнительный конденсатор C4, как показал опыт эксплуатации датчиков, необходим для уменьшения влияния высокочастотных наводок от сотовых телефонов, раций и т.п. Частота ЭДС равна частоте свободных колебаний магнита в силиконовой растяжке и составляет для серийных ЧЭ $f_{\text{св}} = 80 \pm 5 \text{ Гц}$. Постоянная времени переходного процесса определяется суммарным демпфированием, обеспечиваемым в основном за счет упругих свойств растяжки, и равна $\tau \approx 0,2 \text{ с}$. Таким образом, на выходе усилителя переменного тока А1.1, имеющего коэффициент усиления $K=510$, формируется затухающий сигнал с временем переходного процесса $T_{\text{п}} \approx 0,8 \text{ с}$ (рис. 6 а).

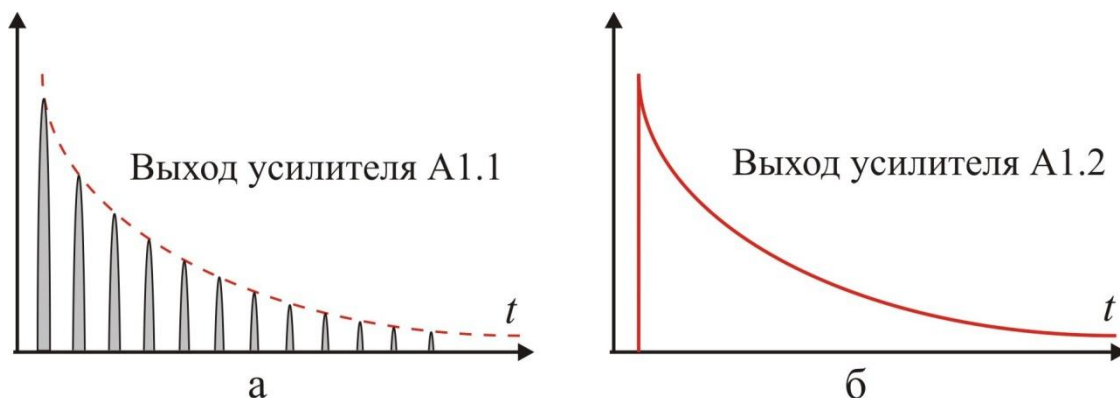


Рис. 6. Информационный сигнал: а – на выходе усилителя А1.1; б – на выходе усилителя А1.2.

На эмиттерном переходе транзистора VT1 происходит детектирование сигнала и на выходе повторителя A1.2 (рис. 6 б) присутствует огибающая информационного сигнала, амплитуда которого пропорциональна интенсивности удара.

С выхода повторителя A1.2 сигнал поступает на вход встроенного 8-ми разрядного АЦП микропроцессора DD1.

1.3. Цифровая фильтрация

С целью сокращения количества усилителей и дискретных компонент, а также для увеличения стабильности характеристик датчика, предложено фильтрацию и обработку сигнала проводить в цифровом виде. Осуществление фильтрации в цифровом виде дает такие преимущества, как постоянство характеристик из-за отсутствия влияния допусков, температурного дрейфа и старения элементов. А реализация алгоритма на микроконтроллере дает дополнительные преимущества в виде возможности гибкой регулировки параметров фильтра, поскольку это зависит только от программы микроконтроллера [7].

При реализации цифрового фильтра необходимо учитывать ряд моментов:

1. В цифровых системах фильтрация чаще всего реализуется с помощью DSP (цифрового сигнального процессора), а не на обычном 8-разрядном микроконтроллере. Цифровая фильтрация на 8-разрядном процессоре приводит к появлению двух проблем. Во-первых, эффекты округления из-за ограниченной разрядности могут приводить к ухудшению отклика фильтра и даже могут делать его неустойчивым. Во-вторых, необходимо разбираться с дробными числами с помощью целочисленной математики.

Для решения этих задач существует несколько путей. Например, можно использовать операции с 16-, 32- или 64-битными числами или использовать масштабирование для получения лучшей точности. Эти и другие методы обычно требуют большой памяти, которой нет в микроконтроллере. Анализ литературы показывает, что опубликованное программное обеспечение для цифровых фильтров чаще всего написано на языке “С”. Программы на “С” требуют больше памяти, чем при написании на Ассемблере. Это часто делает их непригодными для микроконтроллеров с ограниченными ресурсами памяти.

Решение проблемы здесь может быть связано с реализацией фильтров в виде простых рекурсивных уравнений, написанных на Ассемблере.

2. Порядок фильтра следует выбирать не больше 2-3, иначе это вызывает неоправданную сложность при реализации.

К фильтру нижних частот датчика удара не предъявляется каких-либо особых требований по равномерности частотной характеристики в полосах пропускания и подавления, или по линейности фазовой характеристики. В этих условиях целесообразно, при прочих равных условиях, выбирать фильтр, имеющий более узкую переходную область (резкий переход от полосы пропускания к полосе подавления) и по возможности равномерную (плоскую) характеристику в полосе пропускания. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяет инверсный фильтр Чебышева (фильтр Чебышева 2-го рода) [8, 9].

На рис. 7 приведена блок схема, реализующая цифровую обработку сигнала.

Оцифрованный сигнал $x(n)$ обрабатывается двумя рекурсивными фильтрами второго порядка (аналогичная обработка сигнала применялась авторами для микроволновых датчиков [10]). Первый ФНЧ Чебышева имеет частоту среза $f_{\text{ср}} = 25 \text{ Гц}$ и выделяет полезный сигнал $y_1(n)$. Полоса частот этого фильтра выбрана из условий пропускания фронта и огибающей информационного сигнала. Кроме этого, этот фильтр дополнительно сглаживает незначительные пульсации на частоте свободных колебаний, присутствующие в огибающей сигнала. При частоте квантования $f = 244 \text{ Гц}$, рекурсивное уравнение, реализующее фильтр, имеет вид

$$y_1(n) = 0,106x(n) + 0,212x(n-1) + 0,106x(n-2) + 0,989y_1(n-1) - 0,415y_1(n-2).$$

Второй фильтр Чебышева, имеющий частоту среза $f_{\text{ср}} = 0,5 \text{ Гц}$, реализует фильтр нижних частот

$$y_2(n) = 0,00007x(n) + 0,00014x(n-1) + 0,00007235x(n-2) + 1,98y_2(n-1) - 0,981y_2(n-2),$$

формирующий среднее значение сигнала $y_2(n)$, относительно которого вычисляется приращение полезного сигнала $z(n) = y_1(n) - y_2(n)$.

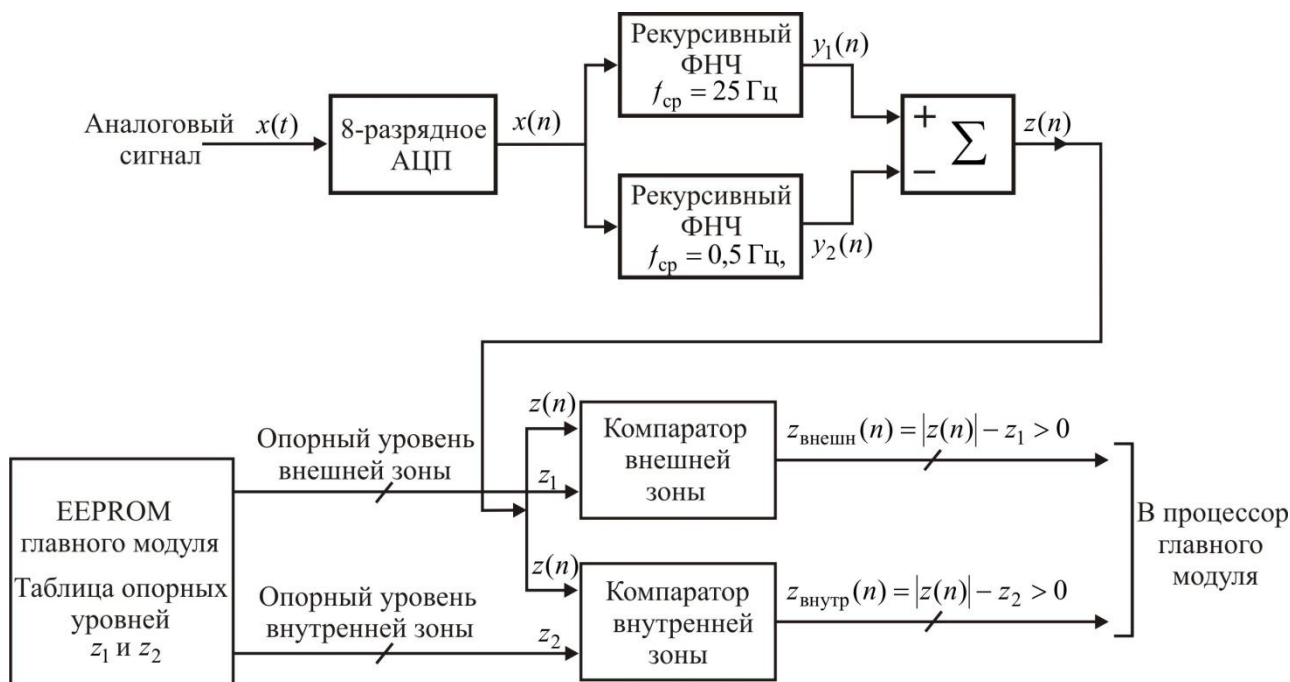


Рис. 7. Блок-схема цифровой обработки сигнала

Далее сигнал поступает на два цифровых компаратора. В первом из них, компараторе зоны предупреждения (внешняя зона датчика), происходит формирование разности $z_{\text{внешн}}(n) = |z(n)| - z_1$. Здесь z_1 - цифровой опорный уровень зоны предупреждения. Этот уровень формируется в процессе настройки внешней зоны датчика удара на кон-

кретном автомобиле и зависит от места установки датчика, марки автомобиля, пожелания владельца и т.п. Если информационный сигнал превысил опорный уровень, т.е. $z_{\text{внешн}}(n) \geq 0$, то в цифровую шину, связывающую датчик с центральным блоком сигнализации (рис. 5), выдается сигнал о срабатывании зоны предупреждения. Реакция центрального блока на это событие – короткий предупреждающий сигнал sireны.

В втором компараторе (внутренняя зона датчика, или зона тревоги), происходит формирование разности $z_{\text{внутр}}(n) = |z(n)| - z_2$. Здесь z_2 - цифровой опорный уровень зоны тревоги. Этот уровень формируется в процессе настройки внутренней зоны. Если информационный сигнал превышает опорный уровень z_2 , т.е. $z_{\text{внутр}}(n) \geq 0$, то в цифровую шину, связывающую датчик с центральным блоком сигнализации, выдается сигнал срабатывания внутренней зоны. Реакция центрального блока на это событие – непрерывный тревожный сигнал sireны и оповещение владельца по GSM-каналу связи. Срабатывание зоны тревоги настраивается таким образом, чтобы тревожный сигнал выдавался при сильном ударе по кузову автомобиля.

Опорные уровни z_1 и z_2 сохраняются в энергонезависимой памяти (EEPROM) центрального блока сигнализации и при каждой постановке на охрану по шине данных передаются в датчик.

1.4. Формирование таблиц опорных уровней

В реальных условиях, когда датчик установлен в салоне автомобиля, зависимость амплитуды огибающей информационного сигнала от интенсивности удара по кузову нелинейна. Нам желательно, чтобы датчик обладал линейной зависимостью выходного сигнала от силы удара, это существенно облегчало бы процесс настройки зон срабатывания.

Решение проблемы «спрямления» характеристики решалось путем формирования таблицы опорных уровней z_1 и z_2 .

Реакция аналоговых датчиков на удар регулируется переменными резисторам, изменяющими или его коэффициент усиления, или опорные уровни аналоговых компараторов. В цифровом датчике, при постоянстве коэффициента усиления, предложено по каждой зоне формировать 16 градаций (уровней) чувствительности. Наименьшей чувствительности соответствует уровень 1, наибольшей – уровень 16.

Уровень общего усиления в цифровом датчике удара установлен равным 510. Амплитуда «шумовой дорожки» при отсутствии возмущений (ударов по кузову) на выходе усилителя А1.2 (и, соответственно, на входе АЦП процессора DD1) (рис. 5) при таком коэффициенте усиления равна 10-15 мВ. Это было установлено экспериментально на тестовой партии датчиков.

При напряжении питания процессора 5 В, 8-разрядное АЦП обеспечивает $2^8 = 256$ уровней преобразования с шагом $\frac{5}{256} \approx 0,02 \text{ В} = 20 \text{ мВ}$. Из этих 256 уровней путем об-

работки экспериментальных данных на тестовой партии датчиков сформирована таблица уровней цифрового компаратора зоны предупреждения $z_1(N)$, $N = 1 \div 16$ таким образом, что:

- при $N=1$ (минимальная чувствительность) срабатывание датчика происходит при ударе средней силы по кузову автомобиля;
- при $N=16$ (максимальная чувствительность) срабатывание датчика происходит при легком ударе по кузову;
- интенсивность удара связана с N линейно.

В таблице 1 приведены (в условных единицах) значения уровней цифрового компаратора зоны предупреждения $z_1(N)$.

Таблица 1 Уровни цифровых компараторов зоны предупреждения

N	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$z_1(N)$	1	2	3	4	5	6	7	8	10	13	17	22	28	35	43	53

Например, если в процессе настройки датчика на автомобиле, установлена градация чувствительности $N=8$, то это соответствует опорному уровню напряжения компаратора зоны предупреждения $10 \cdot 20 = 200$ мВ.

Зона тревоги всегда должна быть частью зоны предупреждения, и поэтому абсолютные уровни компаратора внутренней зоны z_2 сформированы не

только как функции градации внутренней зоны M , но и номера градации внешней зоны N . В таблице 2 приведены в условных единицах значения $z_2(M, N)$.

Таблица 2 Уровни цифровых компараторов зоны тревоги

$M \backslash N$	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
16	4	6	8	10	12	14	16	18	22	25	36	46	56	72	89	108
15	5	7	9	11	13	15	17	19	23	26	37	47	57	73	90	109
14	6	8	10	12	14	16	18	20	24	27	38	48	58	74	91	110
13	7	9	11	13	15	17	19	21	25	28	39	49	59	75	92	111
12	8	10	12	14	16	18	20	22	26	29	40	50	60	76	93	112
11	9	11	13	15	17	19	21	23	27	30	41	51	61	77	94	113
10	10	12	14	16	18	20	22	25	29	31	42	52	62	78	95	114
9	11	13	15	17	19	21	23	25	30	32	43	53	63	79	96	115
8	13	15	17	19	21	23	25	27	32	34	45	55	65	81	98	117
7	16	18	20	22	24	26	28	30	35	37	48	58	68	84	101	120
6	20	22	24	26	28	30	32	34	39	41	52	62	72	88	105	124
5	25	27	29	31	33	35	37	39	44	46	57	67	77	93	110	129
4	31	33	35	37	39	41	43	45	50	52	63	73	83	99	116	135

3	38	40	42	44	46	48	50	52	57	59	70	80	90	106	123	142
2	46	48	50	52	54	56	58	60	65	67	78	88	98	114	131	150
1	56	58	60	62	64	66	68	70	75	77	88	98	108	124	141	160

Например, если в процессе настройки датчика на автомобиле, установлена градация чувствительности по зоне предупреждения $N=8$, а по зоне тревоги $M=9$, то это соответствует опорному уровню напряжения компаратора зоны тревоги $27 \cdot 20 = 540 \text{ мВ}$.

1.5. Алгоритм автоматической адаптации к длительным внешним воздействиям

Применение цифровой обработки сигнала и способность датчика обмениваться информацией с главным модулем сигнализации по шине, позволило реализовать оригинальный алгоритм автоматической коррекции чувствительности по зоне предупреждения датчика.

В соответствии с предложенным алгоритмом, при срабатывании зоны предупреждения через 10 секунд датчик временно уменьшает чувствительность на один уровень. Если и на этом уровне продолжают срабатывания (например, при повторяющихся ударах грома), то каждые 10 секунд продолжается дальнейшее уменьшение чувствительности. При этом датчик постоянно оценивает срабатывание зоны предупреждения на предыдущем, до уменьшения, уровне. Если на предыдущем уровне не наблюдается срабатываний в течение 50 секунд, то датчик увеличивает чувствительность, постепенно восстанавливая ее до уровня первоначальной настройки. Это позволяет резко снизить нежелательные срабатывания датчика при сильном дожде, или на улице с интенсивным движением.

2. Анализ результатов и перспективы развития

Разработанный датчик удара реализован в виде серийных изделий, входящих в состав автосигнализаций торговой марки Excellent (производитель ООО Мэджик Ринг Лтд.).

Опыт его эксплуатации (в настоящее время количество реализованных датчиков около 40 тыс. шт.) позволил выявить основные достоинства и недостатки.

К достоинствам можно отнести, прежде всего, возможность приемлемой настройки датчиков на автомобилях любым типом кузова (седан, хэтчбэк, внедорожник...). Это подтверждает достаточный уровень чувствительности датчика. Надежность датчиков подтверждена статистикой отказов в процессе эксплуатации (0,08%). Отказы связаны, в основном, с обрывом провода катушки чувствительного элемента в месте припаивания выводов катушки к плате.

Недостатки датчика связаны с принципом работы и конструкцией чувствительного элемента:

1. При ударном воздействии на кузов автомобиля возникают вторичные колебания кузова. Амплитуда вторичных колебаний, их частота и степень затухания в разных местах кузова различна. Идеальный датчик удара должен измерять именно амплитуду вторичных колебаний, возникших вследствие удара. Это значит, что датчик должен иметь достаточно

широкополосный чувствительный элемент, способный регистрировать колебания разных частот. Полоса пропускания чувствительного элемента электромагнитного датчика, рассчитанная по частоте свободных колебаний $f_{\text{св}} = 80 \pm 5 \text{ Гц}$ и постоянной времени переходного процесса $\tau \approx 0,2 \text{ с}$, составляет всего $\Delta f \approx 1,5 \text{ Гц}$. Это означает, что датчик реагирует не на вторичные колебания кузова, а лишь на фронт ударного воздействия. И поэтому датчики подобного типа практически не отличают удары по кузову от ударов грома и потрескивания пластика автомобиля при его остывании на морозе (если датчик установлен на пластик). Другими словами, конструкция чувствительного элемента (а это в той же мере относится и к микрофонным, и к пьезоэлектрическим датчикам, так как определяется типом подвеса чувствительного элемента) не позволяет за счет последующей обработки сигнала исключить «ложные срабатывания» датчика.

2. Кузов автомобиля является сложной механической системой и при ударе по нему различные части колеблются с различной амплитудой. И поэтому, какой бы идеальный датчик не был, место его установки будет иметь принципиальное значение. С другой стороны, желательно, чтобы ориентация датчика, при его установке в выбранном месте, не влияла на его чувствительность.

Для оценки влияния ориентации оси электромагнитного датчика на его чувствительность были проведены экспериментальные исследования.

Датчик устанавливался на ровную поверхность стола таким образом, чтобы ось чувствительности (совпадающая с осью катушки и магнита (рис. 3)) была горизонтальна (направление удара перпендикулярно оси чувствительности). Выставлялась максимальная чувствительность датчика по зоне предупреждения $z_1(16) = 1$, что соответствует опорному уровню компаратора 20 мВ. Экспериментальным образом устанавливалась минимальная высота падения на поверхность стола калиброванного груза, приводящего к срабатыванию датчика. При этом контролировалось, чтобы датчик не срабатывал по 15-й, менее чувствительной градации. Далее тот же датчик устанавливался осью чувствительности вверх, то есть совпадающей с направлением падения груза. Экспериментально устанавливалось, на каком уровне заканчивались срабатывания датчика при падении груза с той же высоты. Результаты экспериментов для 10 образцов датчиков сведены в таблицу 3.

Таблица 3 Уровни срабатывания датчика при ударе в направлении перпендикулярном оси чувствительности

№ испытуемого датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уровень чувствительности (ось ЧЭ перпендикулярна направлению удара)	11	11	12	11	11	12	10	11	11	12
Уровень чувствительности (ось ЧЭ по направлению удара)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Эксперименты показали существенное различие в чувствительности датчиков при ударе в направлении оси чувствительности и перпендикулярно ей, достигающее 4-6 гра-

даций чувствительности. Это значит, что при установке датчика на конкретный автомобиль ориентация оси чувствительности датчика будет иметь большое значение, что является недостатком.

Преодоление указанных недостатков вряд ли связано с совершенствованием подвесов чувствительных элементов электромагнитных датчиков. Наиболее перспективным здесь видится применение трехосевых акселерометров, выполненных по MEMS-технологии [11, 12, 13]. Так, например, акселерометр ADXL345 фирмы Analog Devices [14] имеет настраиваемый диапазон измеряемых ускорений от $\pm 2g$ до $\pm 16g$, чувствительность во всем диапазоне измерений не хуже 0,004 g, полосу пропускания 1,6 кГц, цифровой выход (шины SPI и I²C), температурный диапазон от -40 до +85 С, габариты 3х5х1 мм. Заявленные параметры позволяют реализовать на таких элементах не только датчики удара, но и совместить в одном устройстве датчик удара, наклона и движения.

Выводы

Применение цифровой обработки сигнала в электромагнитном датчике удара позволило:

1. Уменьшить по сравнению с аналоговыми прототипами количество пассивных и активных элементов в схеме обработки сигнала и снизить себестоимость датчика.
3. Ввести цифровые градации настройки по зонам предупреждения и тревоги, позволяющие регулировать датчик дистанционно (с брелка автосигнализации, через программу настройки Magic Tuner и по GSM-каналу).
4. Сформировать таблицу опорных уровней по зонам предупреждения и тревоги и за счет этого реализовать линейную выходную характеристику датчика.
5. Реализовать оригинальный алгоритм самоадаптации датчика к повторяющимся воздействиям по внешней зоне срабатывания.
6. Применение чувствительных элементов электромагнитного типа, не позволяет реализовать датчик, измеряющий при ударе по кузову его вторичные колебания. Датчики электромагнитного типа способны реагировать лишь на фронт ударного воздействия, и по этой причине возможны «ложные срабатывания».
7. Улучшение характеристик датчиков возможно с применением 3-х осевых акселерометров, выполненных по MEMS-технологии.

Список литературы

1. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации, основы теории и принципы построения: учеб. пособие. 2-е изд. М.: ГорячаяЛиния - Телеком, 2004. 367 с.
2. Андрианов В.И., Соколов А.В. Охранные устройства для автомобилей: Справочное пособие. СПб.: Изд-во Лань, 1997. 320 с.
3. Противоугонные устройства / под ред. В.М. Мальцева. Минск: Красно-Принт, 1996. 265 с.

4. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник: пер. с англ. М.: Техносфера, 2006. 592 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.
6. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: пер. с англ. В 3 т. Т.1. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Мир, 1993. 413 с.
7. Пупков К.А., Егупов Н.Д., Баркин А.И., Воронов Е.М., Коньков В.Г., Корнюшин Ю.П., Милов Л.Т., Мышляев Ю.И., Рыбин В.М., Сивцов В.И., Трофимов А.И., Фалдин Н.В., Шевяков О.В. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник. В 5 т. Т. 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 656 с.
8. Васюков С.А., Красовский А.Б., Остапенко Д.Г., Федин В.И. Разработка методов и средств повышения чувствительности и стабильности характеристик микроволновых датчиков // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2014. № 4. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/704976.html> (дата обращения 01.05.2014). DOI: [10.7463/0414.0704976](https://doi.org/10.7463/0414.0704976)
9. Юдин А. Новые акселерометры компании STMicroelectronics // Компоненты и технологии. 2009. № 2. С. 28-31.
10. Сысоева С. Ключевые сегменты рынка МЭМС-компонентов. Акселерометры // Компоненты и технологии. 2010. № 3. С. 20-26.
11. Еманов А. Инерциальные датчики STMicroelectronics // Новости электроники. 2007. № 18. Режим доступа: <http://www.compel.ru/lib/ne/2007/18/7-inertsialnyie-datchiki-stmicroelectronics-2/> (дата обращения 01.04.2014).
12. 3-Axis Digital Accelerometer ADXL 345. Analog Devices Inc., Data Sheet, Rev. 0, 2009.

Development of methods and means to improve a performance of microprocessor shock sensors for car alarms

05, May 2014

DOI: 10.7463/0514.0709342

S.A. Vasyukov¹, A.B. Krasovskii¹, D.G. Ostapenko¹, V. I. Fedin²

¹Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

²JSC Magic Ring Ltd., 129281, Moscow, Russian Federation

sa_vasyukov@mail.ru

krasovsky@bmstu.ru

dimostap@mail.ru

vicfed2001@mail.ru

Existing shock sensors for car protection using the sensitive elements (SE) of piezoelectric, microphone and electromagnetic types and the analogue circuitry of signal processing, have a number of essential shortcomings:

- piezoelectric sensitive elements have no characteristics repeatability that complicates their use in mass production;
- microphone sensors are structurally complicated and demand difficult information signal processing;
- sensitive elements of electromagnetic sensors demand individual control (a specified clearance to be set between a magnet and the coil).

Use of analogue elements (resistors, capacitors) in the amplifier and filter circuits reduces temporary and temperature stability of characteristics. An adjustment of the sensor operating zones via variable resistors on a printed circuit is extremely inconvenient and doesn't allow to change quickly the sensor sensitivity depending on an external situation (for example, to increase quickly an operating zone of the sensor with an alarm system of a key fob when securing a car in the country or in the woods, or to reduce it in the street with heavy traffic streams).

An analogue circuit-based sensor design disables its automatic adaptation to such external impacts as a rain, a stream passing by cars, etc.

The article considers how to solve some of above problems while designing the two-zone digital shock sensors with a SE of electromagnetic type. It shows the SE design developed by the authors as a module containing the coil and a magnet, secured on the coil axis in a silicone extension. The circuitry solution and algorithms of signals processing allowed authors to realize a remote control of the prevention and alarm zones (with 16 gradation of sensitivity). The algo-

rithm of self-adaptation to the repeating external impacts is proposed. The developed method to form the basic levels of digital comparators for each gradation of sensitivity enables the sensor to have the straight-line adjusting characteristic.

The developed shock sensor is implemented as stock-produced items included in the car alarm systems of the trademark “Excellent” (made by JSC Magic Ring Ltd.). Operating experience (about 40 thousand pieces realized now) allows a proper adjustment of sensors to be possible on cars with any body type. A sufficient level of the sensor sensitivity proves it. The reliability of sensors is confirmed by failures statistics in use (0,08%). Failures are, usually, caused by the SE coil wire break in a soldering point of the coil leads to the printed circuit. However a number of shortcomings are also revealed.

Experimental data processing of a test batch of sensors has shown that existing SE of electromagnetic type have the frequency of free vibrations $f = 80 \pm 5 \text{ Hz}$ and a decay constant of transient under shock $\tau \approx 0,2 \text{ s}$. At these parameters a SE pass-band makes only $\Delta f \approx 1,5 \text{ Hz}$, and the sensor responses only to the shock front, rather than to the secondary vibrations of a body. It is an essential drawback of the narrow-band sensors.

The experiments conducted on test batch of sensors (10 samples) have shown essentially different sensitivities of sensors under shock in the direction of the sensitivity axis and perpendicular to it. This difference reaches 4-6 gradations of sensitivity. It means that when mounting a sensor on the particular car the orientation of sensitivity axis of the sensor will be of crucial importance that is also a shortcoming.

It is shown that overcoming the specified drawbacks is hardly because of the improvement of sensitive elements suspension of electromagnetic sensors. Three-axial accelerometers implemented using MEMS technologies seem to be the most perspective application here.

Publications with keywords: [accelerometer](#), [car alarm system](#), [Shock sensor](#)

Publications with words: [accelerometer](#), [car alarm system](#), [Shock sensor](#)

References

1. Magauenov R.G. *Sistemy okhrannoy signalizatsii, osnovy teorii i printsipy postroeniya* [Alarm system, the basic theory and principles of construction]. Moscow, Goryachaya Liniya – Telekom Publ., 2004. 367 p. (in Russian).
2. Andrianov V.I., Sokolov A.V. *Okhrannye ustroystva dlya avtomobiley: Spravochnoe posobie* [Security devices for cars: Reference guide]. St. Petersburg, Lan' Publ., 1997. 320 p. (in Russian).
3. Mal'tsev V.M., ed. *Protivougonnnye ustroystva* [Anti-theft devices]. Minsk, Krasno-Print Publ., 1996. 265 p. (in Russian).

4. Fraden J. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. Springer New York, 2004. DOI: [10.1007/b97321](https://doi.org/10.1007/b97321) (Russ. ed.: Fraden J. *Sovremennyye datchiki: Spravochnik*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 592 p.).
5. Sergienko A.B. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 608 p. (in Russian).
6. Horowitz P., Hill W. *The Art of Electronics*. 2nd ed. Cambridge University Press, 1989. 1125 p. (Russ. ed.: Horowitz P., Hill W. *Iskusstvo skhemotekhniki. V 3 t. T.1*. Moscow, Mir Publ., 1993. 413 p.).
7. Pupkov K.A., Egupov N.D., Barkin A.I., Voronov E.M., Kon'kov V.G., Korniyushin Yu.P., Milov L.T., Myshlyaev Yu.I., Rybin V.M., Sivtsov V.I., Trofimov A.I., Faldin N.V., Shevyakov O.V. *Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya. V 5 t. T. 1: Matematicheskie modeli, dinamicheskie kharakteristiki i analiz sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of classical and modern automatic control theory. In 5 vols. Vol. 1: Mathematical models, dynamic characteristics and analysis of automatic control systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2004. 656 p. (in Russian).
8. Vasyukov S.A., Krasovskiy A.B., Ostapenko D.G., Fedin V.I. [Developing methods and means to improve the sensitivity and stability characteristics of microwave sensors]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana - Science and Education of the Bauman MSTU*, 2014, no. 4. DOI: [10.7463/0414.0704976](https://doi.org/10.7463/0414.0704976) (in Russian).
9. Yudin A. [New accelerometers from STMicroelectronics]. *Komponenty i tekhnologii*, 2009, no. 2, pp. 28-31. (in Russian).
10. Sysoeva S. [Key market segments of MEMS components. Accelerometers]. *Komponenty i tekhnologii*, 2010, no. 3, pp. 20-26. (in Russian).
11. Emanov A. [Inertial sensors STMicroelectronics]. *Novosti elektroniki*, 2007, no. 18. Available at: <http://www.compel.ru/lib/ne/2007/18/7-inertsialnyie-datchiki-stmicroelectronics-2/> , accessed 01.04.2014. (in Russian).
12. 3-Axis Digital Accelerometer ADXL 345. Analog Devices Inc., Data Sheet, Rev. 0, 2009.