НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА

НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ

Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408

электронный научно-технический журнал

Разработка методов и средств повышения чувствительности и стабильности характеристик микроволновых датчиков

04, апрель 2014

DOI: 10.7463/0414.0704976

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

[1]Россия, МГТУ им. Баумана

[2]ООО Фирма Мэджик Ринг Лтд.

sa_vasyukov@mail.ru

krasovsky@bmstu.ru

dimostap@mail.ru

vicfed2001@mail.ru

Введение

Микроволновые датчики нашли широкое применение в качестве датчиков, определяющих движение проводящих тел в автомобильных и объектовых системах охраны, в автономных информационных и управляющих системах и различных технологических установках [1]. Если в качестве проводящего тела выступает тело человека, то в зависимости от конкретной ситуации присутствие человека может определяться по некоторым параметрам его тела или характеристикам поведения [2]. В автомобильных охранных комплексах [3,4] эти датчики позволяют создать две зоны защитного поля, как внутри и вне салона автомобиля. Работая в составе сигнализации, они предупреждают посторонних лиц, приближающихся к автомобилю, кратковременными сигналами сирены и включают тревогу при проникновении внутрь салона. В отличие от ультразвуковых датчиков [5] на эффективность работы микроволновых слабо влияет изменение температуры, движение воздуха и появление насекомых в зоне действия микроволнового поля.

Датчик устанавливается внутри салона автомобиля, обычно между креслами водителя и пассажира, или закрепляется под обивкой на крыше в районе плафона освещения салона. Микроволновое поле, создаваемое излучателем датчика, должно формироваться не только в салоне, но и вне автомобиля. Кузов автомобиля и тонировка, нанесенная на стекла, являются электромагнитным экраном для микроволнового поля. Кроме этого, существуют ограничения сертификационных органов на мощность излучаемого сигнала (порядка 1 мВт). Все это формирует два основных, противоречивых требования к датчику – высокая чувствительность при отсутствии ложных срабатываний.

Существующие микроволновые датчики, построенные по аналоговому принципу, в полной мере не удовлетворяют вышеуказанным требованиям. В связи с вышеизложенным, актуальными являются вопросы проектирования цифровых микроволновых датчиков, обладающих высокостабильными характеристиками и способностью адаптации к внешним помехам.

1. Аналоговый микроволновый датчик, схема построения и анализ факторов, влияющих на чувствительность и стабильность характеристик

Принцип действия датчика основан на регистрации изменений интерференционной картины радиоволн сантиметрового диапазона, формируемой передатчиком. Передатчик (излучатель) микроволнового датчика обычно выполняется по микрополосковой технологии и одновременно играет роль приемника отраженного сигнала [6].

Метод обнаружения основан на эффекте Доплера и обусловлен изменением частоты отраженного сигнала (волны сантиметрового диапазона) от движущегося в охраняемой зоне объекта. Доплеровское изменение частоты Δf отраженной волны по отношению к излучаемой частоте f может быть рассчитано по формуле [7]:

$$\Delta f = \frac{V}{\lambda}\cos\alpha, \tag{1}$$

где V – скорость движения объекта, α – угол между направлением отраженной волны и направлением движения объекта, $\lambda = \dfrac{c}{f}$ – длина волны (с – скорость света).

При частоте излучения $f = 2.44\,\Gamma\text{ц}$ (разрешенная частота микроволновых излучателей) и при скорости движения объекта (человека) от 1 до 7 км/ч доплеровское смещение Δf может находиться в диапазоне от 2.3 до 16.1 Гц. Этот сигнал может быть выделен как низкочастотный, т.е. как результат смешивания частот излучаемого и отраженного сигнала.

Существующие микроволновые датчики для охраны автомобилей строятся по одной универсальной схеме. Это приемопередающий тракт, выполненный на СВЧ – транзисторе, который включен в генераторную схему, а также схемы усиления, фильтрации и обработки сигналов. В настоящее время на рынке автомобильных сигнализаций представлено порядка 5 – 6 модификаций микроволновых датчиков различных производителей. Типичным представителей этого семейства является датчик MMS – 1, [8], схема которого приведена на рис. 1. СВЧ генератор датчика выполнен на высокочастотном транзисторе VT3, причем частотозадающие элементы, к которым относятся индуктивности L1, L3 и конденсаторы C11, C12 изготовлены по микрополосковой технологии в виде площадок фольги на поверхности платы. Низкочастотный сигнал, являющийся результатом смешивания падающей и отраженной волны, с коллектора СВЧ транзистора поступает на активный полосовой фильтр, реализованный на операционном усилителе A1.1. Так как полезный сигнал занимает диапазон частот от 2 до 16 Гц, то, подбирая соответствующие значения R1 и C1, настраивают нижнюю частоту среза фильтра. Чувствительность датчика регулируется посредством переменного резистора VR1, который задает общее усиление схемы. Верхняя частота среза также зависит от VR1 и изменяется при настройке датчика.

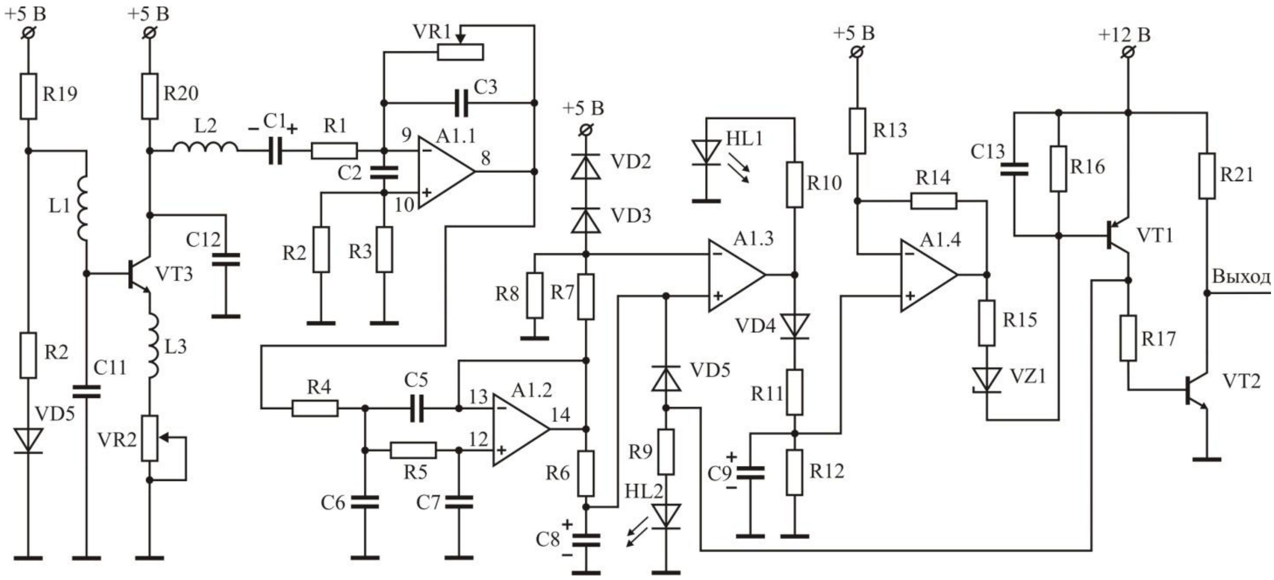

Рис. 1. Аналоговый микроволновый датчик

Чтобы исключить этот недостаток, верхнюю частоту среза (16 Гц) формируют еще одним дополнительным фильтром на операционном усилителе A1.2. Усиленный и отфильтрованный сигнал поступает на двухступенчатую схему обработки. Первая ступень выполнена на компараторе A1.3. Опорный уровень компаратора формируется из самого же полезного сигнала, путем его интегрирования с большой (порядка 1 – 2 секунд) постоянной времени (задается цепочкой R6, C8). Если при перемещении объекта в поле датчика полезный сигнал превышает пороговое значение, (оно определяется делителем R7, R8), то на выходе компаратора появляются прямоугольные импульсы частота следования, и длительность которых зависят от параметров движущегося объекта. Вторая ступень обработки действует в режиме «накопления»: импульсы интегрируются цепочкой R11, C9 и как только осредненный сигнал, пропорциональный интенсивности следования прямоугольных импульсов, превысит порог триггера Шмидта, на его выходе (операционный усилитель A1.4) формируется окончательный сигнал, информирующий о пересечении объектом охраняемой зоны. Силовой выход датчика реализован на транзисторе VT2, а информационный на двухцветном светодиоде.

Рассмотренный датчик относится к однозоновым, так как имеет только один рубеж охраны, протяженность которого регулируется переменным резистором VR1. Двухзоновые датчики построены по аналогичной схеме с той лишь разницей, что в схеме предусмотрены два различных порога. Превышение первого порога вызывает короткий предупреждающий сигнал, а превышение второго приводит к включению полной тревоги.

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

1. При малой интенсивности микроволнового поля, для получения приемлемой чувствительности приходится поднимать коэффициент усиления до 500 – 1000. Уровень собственных шумов при таком усилении вызывает «ложные» срабатывания датчиков.

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 (обнаружения движущегося объекта) изменяется на 30-40 %. Это требует перенастройки датчика при переходе от летнего к зимнему сезону, что практически труднореализуемо.

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, снег, поток проезжающих мимо автомобилей и.т.п.

5. Потребление датчиков в режиме охраны составляет 17 – 20 мА. Чтобы понять много это или мало, представим, что система охраны с микроволновым датчиком установлена на автомобиле, поставленном во время отпуска на стоянку на две недели. Потребление только микроволнового датчика за этот период составит 7 ампер-часов. А ведь сигнализация еще содержит центральный блок, датчик удара, индикаторный светодиод, пейджер и другие блоки. При емкости аккумулятора 50 – 60 ампер-часов с учетом саморазряда за две недели сигнализация может полностью разрядить аккумулятор.

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

2. Цифровой микроволновый датчик

2.1. Решение проблемы энергопотребления

Решение практически всех проблем, присущих аналоговым датчикам, удается преодолеть, построив датчик по импульсной схеме и использовав цифровую обработку сигнала.

В аналоговой схеме более 80% энергопотребления приходится на высокочастотный генератор. Основная идея заключается в том, что при полезном низкочастотном сигнале (от 2 до16 Гц) нет необходимости постоянно держать генератор включенным. В соответствии с теоремой Котельникова достаточно включать его на короткий промежуток времени с частотой в два и более раз превышающей верхнюю частоту спектра полезного сигнала, а в промежутках между включениями запоминать информационный сигнал в устройстве выборки-хранения (УВХ).

Схема цифрового датчика приведена на рис. 2. Генератор датчика построен по той же схеме, что была рассмотрена ранее. Центральным звеном схемы является микропроцессор DD2. 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 $.

СВЧ генератор датчика включается по цепи базы транзистора VT1 импульсом VD_GEN на время $T_1 = 230$ мкс, рис. 3. Внутренний делитель частоты процессора установлен равным $2^{14} = 16384$, это соответствует (при тактовой частоте процессора 4000 МГц) частоте квантования 244 Гц (период квантования $T = 4100$ мкс). Скважность включения генератора равна 20, и примерно во столько же раз при этом падает по сравнению с аналоговым датчиком потребление высокочастотного генератора. Через промежуток времени $\Delta t_1 = 35$ мкс достаточный для окончания переходных процессов в генераторе к нему через коммутатор DD1.1, управляемый импульсом CH0, подключается усилитель A1.1 доплеровского сигнала. На выходе усилителя в течение времени $T_2 = 185$ мкс формируется импульсный сигнал, амплитуда которого пропорциональна интенсивности движения объекта. Коммутатор DD1.2, управляемый тем же импульсом CH0, подключает усилитель на время T_2 к устройству выборки-хранения (цепочка R15, C8). Выключение происходит в обратном порядке: сначала УВХ с усилителем и уже только затем генератор.

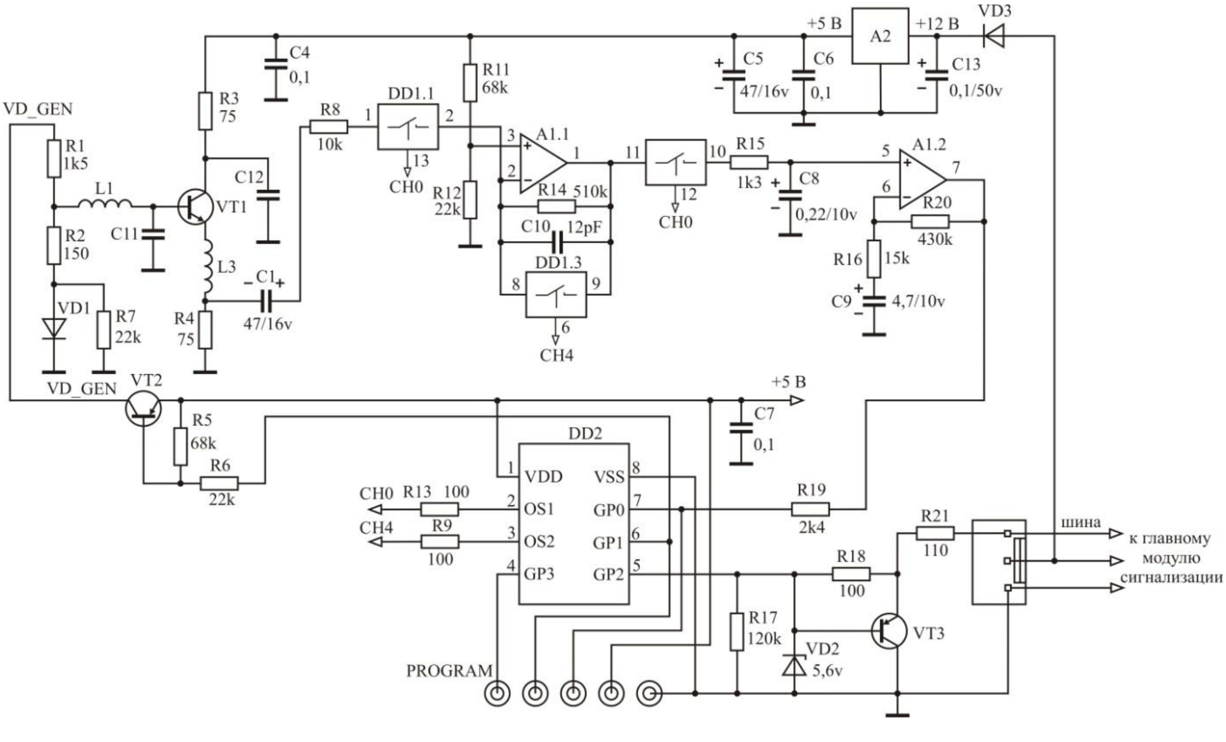

Рис. 2. Цифровой микроволновый датчик

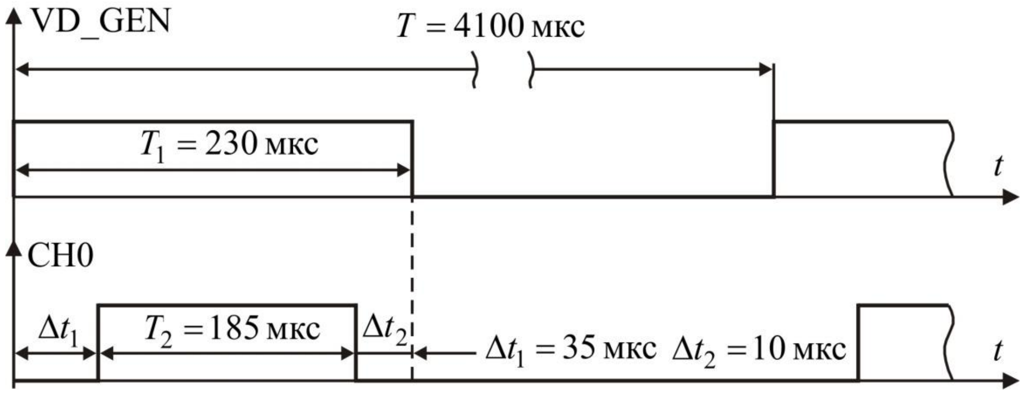

Рис. 3. Временные диаграммы

Дополнительное усиление информационного сигнала производится усилителем A1.2, он же формирует нижнюю граничную частоту (2 Гц) полосового фильтра. Верхняя граничная частота (16 Гц) полосового фильтра формируется цифровым фильтром нижних частот, реализованном на микропроцессоре. С выхода усилителя сигнал поступает на вход встроенного 8-ми разрядного АЦП микропроцессора DD2.

При первоначальном включении генератор включается в непрерывном режиме на 4 сек. На это же время коммутатор DD1.3 замыкает резистор R14 в обратной связи усилителя A1.1. Этот промежуток времени достаточен для выхода датчика на режим.

Построение датчика по рассмотренной схеме с импульсным включением генератора позволило уменьшить интегральное потребление в 6-8 раз, до 2.1 мА.

2.2. Цифровая фильтрация
2.2.1. Выбор цифрового фильтра

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 [9].

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 “C”. Программы на “C” 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 микроволнового датчика 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) [10].

2.2.2. Алгоритм обработки сигнала

На рис. 4 приведена блок схема, реализующая цифровую обработку сигнала.

Оцифрованный сигнал $x(n)$ обрабатывается двумя рекурсивными фильтрами второго порядка. Первый ФНЧ Чебышева имеет частоту среза $f_{\text{ср}} = 16\,\text{Гц}$ и совместно с усилителем-формирователем A1.1, рис. 2, реализует полосовой фильтр, выделяющий полезный сигнал $y_1(n)$. При частоте квантования $f = 244\,\text{Гц}$, рекурсивное уравнение, реализующее фильтр, имеет вид

$$\begin{aligned} y_1(n) &= 0{,}05235x(n) + 10{,}47x(n-1) + 0{,}05235x(n-2) + \\ &+ 1{,}3411y_1(n-1) - 0{,}5505y_1(n-2). \end{aligned} \tag{2}$$

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

$$\begin{aligned} y_2(n) &= 0{,}00007x(n) + 0{,}00014x(n-1) + 0{,}00007235x(n-2) + \\ &+ 1{,}98y_2(n-1) - 0{,}981y_2(n-2). \end{aligned} \tag{3}$$

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

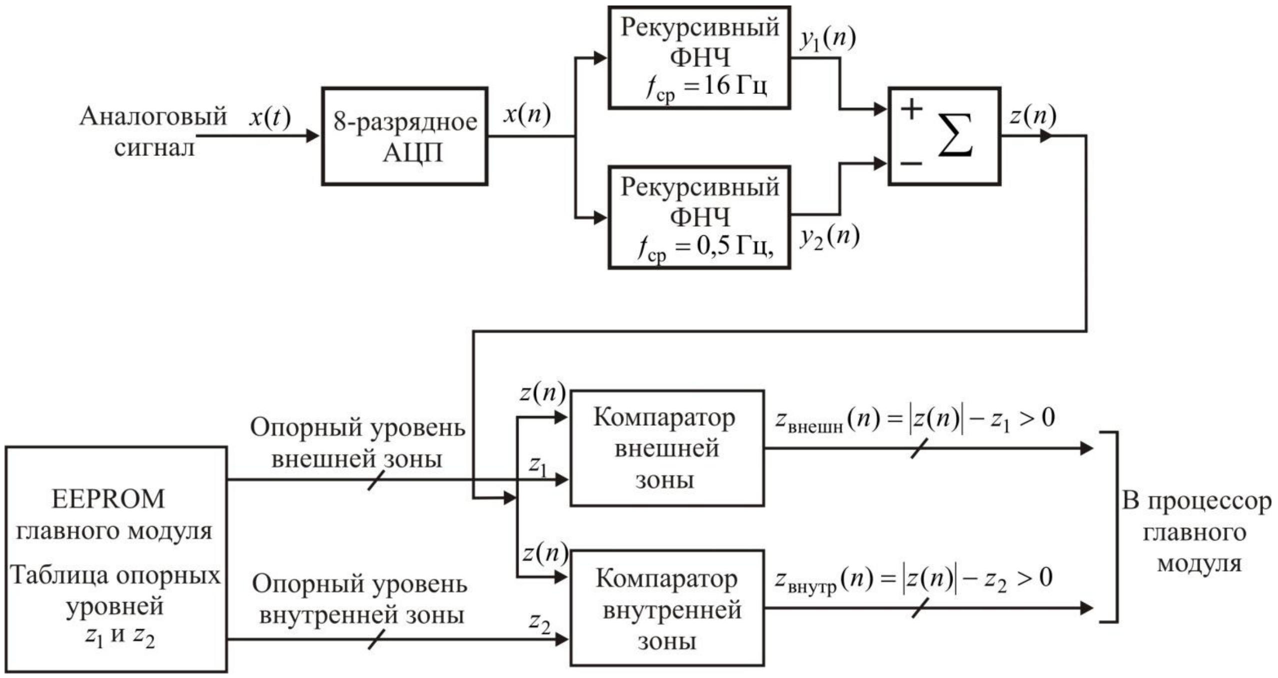

Рис. 4. Блок схема цифровой обработки сигнала

Далее сигнал поступает на два цифровых компаратора. В первом из них, компараторе зоны предупреждения (внешняя зона датчика), происходит формирование разности $z_{внешн}(n) = |z(n)| - z_1$. Здесь z_1 - цифровой опорный уровень зоны предупреждения. Этот уровень формируется в процессе настройки внешней зоны микроволнового датчика на конкретном автомобиле и зависит от места установки датчика, марки автомобиля, степени тонировки стекол, пожелания владельца и.т.п. Если информационный сигнал превысил опорный уровень, т.е. $z_{внешн}(n) \geq 0,$ то в цифровую шину, связывающую датчик с центральным блоком сигнализации, выдается сигнал о пересечении движущимся объектом зоны предупреждения. Реакция центрального блока на это событие – короткий предупреждающий сигнал сирены. Обычно срабатывание зоны предупреждения настраивается таким образом, что предупреждающий сигнал выдается при наклоне к стеклам автомобиля на расстоянии полуметра.

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

2.2.3. Формирование таблицы опорных уровней

Для обеспечения нормальной работы микроволнового датчика необходимо, чтобы мощность принимаемого сигнала $P(r)$ была достаточно высокой. Выполнение этого условия зависит от нескольких факторов [7] – площади апертуры антенны *A*, площади объекта *a* и его отражающей способности ρ, мощности исходного излучения P_0, а также от расстояния до объекта *r*:

$$P(r) = \rho \frac{P_0 A^2 a}{4\pi\lambda^2 r^4}. \tag{4}$$

Анализ выражения (4) показывает, что мощность сигнала обратно пропорциональна четвертой степени расстояния до движущегося объекта. Это соотношение приближенно работает лишь в условиях открытого пространства. В реальных условиях, когда датчик установлен в салоне автомобиля и экранирован металлическим кузовом от движущегося объекта, зависимость мощности от расстояния иная. Точно известно лишь, что эта зависимость является нелинейной. Нам желательно, чтобы датчик обладал линейной зависимостью выходного сигнала от расстояния, это существенно облегчало бы процесс настройки зон срабатывания.

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

Расстояние срабатывания аналоговых датчиков регулируется переменным резистором, изменяющим его коэффициент усиления. В цифровом датчике, при постоянстве коэффициента усиления, предложено по каждой зоне формировать 16 градаций (уровней) чувствительности. Наименьшей чувствительности соответствует уровень 1, наибольшей – уровень 16.

Формирование опорных уровней зоны предупреждения.

Уровень общего усиления в цифровом микроволновом датчике установлен равным 1500. Опят эксплуатации показал, что при большем коэффициенте усиления происходит самовозбуждение датчика и ложные срабатывания. Амплитуда «шумовой дорожки» при отсутствии возмущений (движущихся объектов) на выходе усилителя А1.2 (и, соответственно, на входе АЦП процессора DD2), рис. 2, при таком коэффициенте усиления равна 30-60 мВ (в аналоговых датчиках 100-120 мВ). Это было установлено экспериментально на тестовой партии микроволновых 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 обработки 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 на расстоянии 30-40 см (внутри салона, но достаточно близко к стеклам автомобиля);

- при *N*=16 (максимальная чувствительность) срабатывание датчика происходит на расстоянии 2-3 м (вне салона автомобиля);

- расстояние срабатывания по мере увеличения *N* изменяется линейно.

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

Таблица 1

N	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$z_1(N)$	4	5	6	8	10	12	15	19	23	29	37	46	57	71	89	111

Например, если в процессе настройки датчика на автомобиле, установлена градация чувствительности *N*=8, то это соответствует опорному уровню напряжения компаратора зоны предупреждения $23 \cdot 20 = 460\,\text{мВ}$.

Формирование опорных уровней зоны тревоги.

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

N* \ *M	**16**	**15**	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**	**9**	**8**	**7**	**6**	**5**	**4**	**3**	**2**	**1**
16	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130
15	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	90	99	107	115	123	131
14	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	91	100	108	116	124	132
13	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126	134
12	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136
11	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	130	138
10	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125	133	141

9	25	33	41	49	57	65	73	80	87	95	103	111	118	127	135	143
8	29	34	42	50	58	66	74	81	88	97	105	113	120	129	137	145
7	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	106	114	121	130	139	147
6	43	49	55	61	67	73	79	85	91	99	107	115	122	131	140	149
5	52	58	64	70	76	82	88	94	100	106	112	118	124	131	142	151
4	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	125	132	143	153
3	77	81	85	89	93	97	101	105	109	113	117	121	125	133	144	155
2	95	98	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131	134	145	156
1	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141	143	145	157

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 $81 \cdot 20 = 1620\,\text{мВ}$.

2.2.4. 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 продолжаются срабатывания (например, при усиливающемся дожде), 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.

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

Выводы

Применение цифровой обработки сигнала в микроволновом датчике перемещений позволило:

1. Уменьшить по сравнению с аналоговым прототипом энергопотребление в 6-8 раз.

2. Уменьшить в два раза уровень собственных шумов и за счет этого практически в два раза увеличить диапазон срабатывания 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 (зависимость расстояния до движущегося объекта от цифровой градации регулирования) датчика.

5. Реализовать оригинальный алгоритм самоадаптации датчика к повторяющимся воздействиям по внешней зоне срабатывания.

Список литературы

1. Магауенов Р.Г. Системы охранной сигнализации, основы теории и принципы построения: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Горячая Линия - Телеком, 2004. 367 с.
2. Blumenkrantz S. Personal and Organizational Security Handbook. Government Data Publication, Washington, DC, 1989.
3. Андрианов В.И., Соколов А.В. Охранные устройства для автомобилей: Справочное пособие. СПб.: Изд-во Лань, 1997. 320 с.
4. Противоугонные устройства / под ред. В.М. Мальцева. Минск: Красно-Принт, 1996. 265 с.
5. Лабутин С.А. Ультразвуковые волноводные датчики и системы. Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2001. 83 с.
6. Long D.J. Occupancy detector apparatus for automotive safety system: patent no. 3898472 US. 1975.
7. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник: пер. с англ. М.: Техносфера, 2006. 592 с.
8. Шебуков М.Н. Микроволновый датчик автомобильной сигнализации // Мастер 12 Вольт. 1998. № 1. С 23-25.
9. 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.
10. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002. 608 с.

SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE BAUMAN MSTU
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS77 - 48211. №0421200025. ISSN 1994-0408
electronic scientific and technical journal

Developing methods and means to improve the sensitivity and stability characteristics of microwave sensors.

04, April 2014
DOI: 10.7463/0414.0704976

S.A. Vasyukov[1], A.B. Krasovskii[1], D.G. Ostapenko[1], V. I. Fedin[2]

[1]Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation
[2]OOO FIRMA "MEDZHIK RING LTD", 129281, Moscow, Russian Federation
sa_vasyukov@mail.ru
krasovsky@bmstu.ru
dimostap@mail.ru
vicfed2001@mail.ru

The paper considers the issues of designing the two-zone digital microwave sensors for the car alarm systems with high stability characteristics and capable of adaptation to external noise.

The existing analog circuit-based microwave sensors for car alarm systems have a number of essential drawbacks:

-- high level of intrinsic noise to cause the "false" alarm of response sensors;

-- non-stable characteristics caused by the application of analog components at the environmental temperatures from -30° to +60° C. This requires sensor readjustment during the transition from the summer season to the winter one, that is, essentially, hard to implement;

-- uneasy adjustment of a mounted sensor with variable resistors;

-- adjustment characterstic nonlinearity and high power consumption;

-- impossible to implement the auto-compensation and adjustment algorithms to the repetitive external actions.

To overcome abovementioned drawbacks the paper offers a circuit of digital microprocessor-based (PIC12F683 processor) sensor with HF oscillator running in pulse operation mode (pulse ratio 20). It allows 6-8 times decrease of power consumption up to 2.1 mA and twice reduction of noise amplitude. Filters with useful output signal are of digital implementation. This enables us to reduce the number of electric components of sensor in half and to increase characteristics stability.

For remote adjustment of sensor (with the key fob of car alarm or by GSM link) 16 gradations of sensitivity are entered for zones of warning and alarm. The reference levels of digital comparators at each gradation of sensitivity are so generated that the sensor has a linear adjustment characteristic (distance of movable object detection versus gradation number).

An application of digital signal processing and sensor capability of data exchange with the main alarm module through the bus allows us to implement the original algorithm of automatic correction of sensitivity across the warning zone of sensor. It means that the sensitivity gradually decreases under repetitive external effects (downpour, passing cars in the streets with heavy traffic, etc.) and with returning to the level of preliminary adjustment as the intensity of external effects decreases. Circuit engineering solutions and algorithms of digital signal processing are implemented in line-produced sensors of car alarms with a trademark “Excellent” (Magic Ring Ltd).

Publications with keywords: energy consumption, Microwave sensor, car alarm system
Publications with words: energy consumption, Microwave sensor, car alarm system

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. Blumenkrantz S. *Personal and Organizational Security Handbook*. Government Data Publication, Washington, DC, 1989.
3. 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).
4. Mal'tsev V.M., ed. *Protivougonnye ustroystva* [Anti-theft devices]. Minsk, Krasno-Print Publ., 1996. 265 p. (in Russian).
5. Labutin S.A. *Ul'trazvukovye volnovodnye datchiki i sistemy* [Ultrasonic waveguide sensors and systems]. N. Novgorod, NGTU Publ., 2001. 83 p. (in Russian).
6. Long D.J. *Occupancy detector apparatus for automotive safety system*. Patent US, no. 3898472, 1975.
7. Fraden J. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. Springer New York, 2004. DOI: 10.1007/b97321 (Russ. ed.: Fraden J. *Sovremennye datchiki: Spravochnik*. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2006. 592 p.).
8. Shebukov M.N. [Car alarm microwave sensor]. *Master 12 Vol't*, 1998, no. 1, pp. 23-25. (in Russian).
9. Pupkov K.A., Egupov N.D., Barkin A.I., Voronov E.M., Kon'kov V.G., Kornyushin 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).

10. Sergienko A.B. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. St. Petersburg , Piter Publ., 2002. 608 p. (in Russian).