

Владимир БАКАНОВ,
главный конструктор ЧП «АРТОН»

Амплитудное и синхронное детектирование сигналов в дымовых пожарных извещателях



Оптико-электронные дымовые пожарные извещатели составляют большую часть применяемых пожарных извещателей. Знание основных принципов построения этих изделий позволяет потребителям не только разобраться в обширном множестве наименований этой продукции, но и сделать правильный выбор извещателя, который обеспечит надлежащую достоверность при определении присутствия в помещении дыма как определяющего фактора пожара.

Структурно дымовой оптико-электронный дымовой пожарный извещатель, блок-схема которого представлена на рис. 1, состоит из следующих основных блоков:

- 1 — камера дымового сенсора;
- 2 — электронный блок обработки;
- 3 — индикатор состояния;
- 4 — контакты электронного блока обработки;
- 5 — базовое основание.

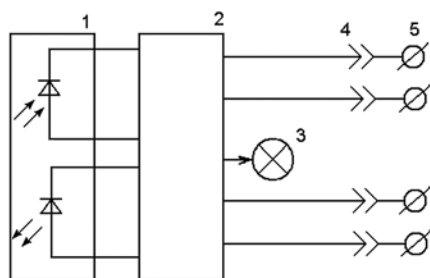


Рис. 1

Базовое основание содержит контакты для подключения электронного блока обработки к проводникам шлейфа пожарной сигнализации. Индикатор состояния обеспечивает отображение дежурного режима работы, выключенного состояния и режима пожарной тревоги извещателя.

Камера дымового сенсора, в свою очередь, содержит излучатель и приемник инфракрасного излучения: ИК-светодиод и фотодиод, расположенные в ограниченном пространстве, через которое беспрепятственно может проходить воздух, но в это пространство невозможно попадание света извне.

В оптико-электронных извещателях используется эффект рассеяния излучения инфракрасного светодиода на частицах дыма. Модель камеры дымового сенсора, действующего на этом принципе, представлена на рис. 2. В этой камере светодиод и фотодиод располагаются таким образом, чтобы исключить прямое попадание излучения на фотодиод (рис. 2а). С появлением в камере дымового сенсора частиц дыма часть излучения отражается от них и попадает на фотодиод (рис. 2б). Здесь наблюдается эффект диффузного рассеяния в мутной среде. Подобное можно наблюдать при прохождении света от прожектора через облако. Удельная оптическая плотность среды (в децибелах на метр), при которой извещатель

формирует сигнал пожарной тревоги, называется чувствительностью. Чем меньше уровень оптической плотности среды вызывает срабатывание извещателя, тем выше его чувствительность. Иметь чувствительность выше, чем 0,05 дБ/м, запрещено стандартами [1, 2], иначе очень велика будет вероятность ложных срабатываний такого извещателя.

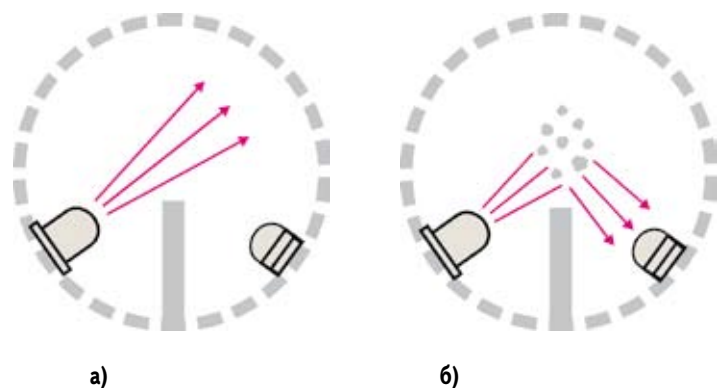


Рис. 2

Электронный блок обработки получает электропитание от шлейфа пожарной сигнализации, причем средний ток потребления у современных извещателей не превышает значение 0,1 мА. Для контроля удельной оптической плотности воздуха электронный блок обработки формирует периодические импульсы тока величиной в несколько сотен миллиампер через ИК-светодиод, а также периодические импульсы тока для индикации дежурного режима работы индикатором состояния. В процессе формирования таких импульсов тока значение среднего тока потребления не должно значительно изменяться.

Импульсное изменение тока в цепи фотоприемника не превосходит несколько десятков нА, поэтому при построении схемного решения электронного блока обработки особое внимание уделяется усилению сигнала без помех, выделению достоверного сигнала в условиях внешних помех.

В условиях раннего выявления признаков пожара дымовой оптико-электронный пожарный извещатель должен определять задымление помещения на уровне 0,1 дБ/м. В этом случае амплитудное значение сигнала на выходе усилителя фото-ЭДС будет пропорционально удельной оптической плотности воздуха. При малой концентрации продуктов горения законы физики соответствуют теории идеального газа, т. е. описываются линейными уравнениями, — амплитуда импульса на выходе усилителя будет отвечать за степень задымления пространства камеры дымового сенсора.

Таким образом, для определения соответствия критерию пожарной тревоги необходимо, чтобы амплитуда импульса на выходе фотоусилителя достигла порогового значения $U_{пор}$. Выполнить роль амплитудного детектирования может компаратор напряжения или иной пороговый элемент, например, триггер Шмитта.

Примером такого устройства может служить блок-схема, представленная на рис. 3.

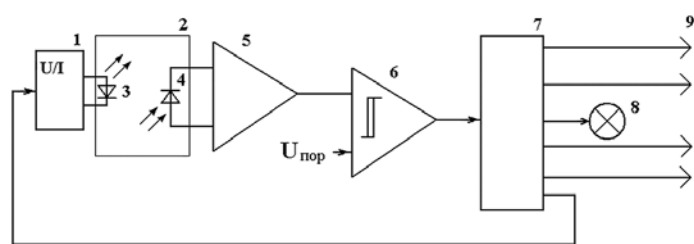


Рис. 3,
где:

- 1 — преобразователь напряжение-ток;
- 2 — камера дымового сенсора;
- 3 — ИК-светодиод;
- 4 — фотодиод;
- 5 — усилитель;
- 6 — компаратор;
- 7 — блок логической обработки;
- 8 — индикатор состояния;
- 9 — контакты блока обработки.

Амплитудное детектирование сигнала на выходе усилителя фото-ЭДС является необходимым, но недостаточным условием достоверного выявления задымленности пространства с заданной удельной оптической плотностью воздуха. В условиях работы со значительным уровнем электромагнитных помех амплитуда импульсов регулярной помехи на выходе усилителя может превышать пороговое значение напряжения $U_{пор}$ переключения компаратора. Тогда возможен ложный переход извещателя в состояние пожарной тревоги даже в чистом воздухе.

Улучшить работу извещателя в условиях электромагнитных помех можно, используя принцип синхронного детектирования. Синхронное детектирование основано на операции перемножения входного и опорного сигналов с последующим интегрированием (см. рис. 4). Операцию интегрирования реализуют на фильтре низкой частоты [3].

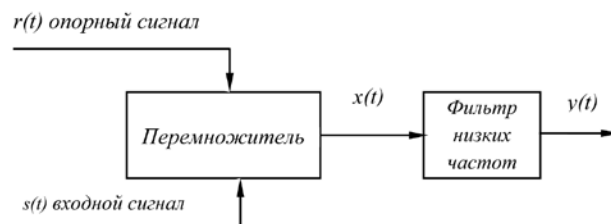


Рис. 4

На входы перемножителя подаются два гармонических сигнала: опорный сигнал $r(t) = R \sin(\omega_r t)$ и входной сигнал $s(t) = S \sin(\omega t + \varphi)$. Тогда сигнал на выходе перемножителя будет иметь вид:

$$x(t) = r(t) s(t) = RS (\cos((\omega - \omega_r)t + \varphi) - \cos((\omega + \omega_r)t + \varphi)) / 2$$

В результате умножения появляются гармонические составляющие на суммарной $(\omega + \omega_r)$ и разностной $(\omega - \omega_r)$ частотах.

В синхронном детекторе используется составляющая на разностной частоте. Ее выделяет фильтр низких частот, подключенный к выходу перемножителя. Фильтр пропускает сигналы с частотами ниже частоты среза фильтра ω_c и подавляет более высокочастотные сигналы. Частота среза устанавливается намного меньше, чем опорная частота ω_r . Поэтому ненулевой отклик на выходе фильтра дадут лишь те сигналы, частоты которых близки к опорной частоте (отличаются от опорной частоты на величину, не превышающую частоту среза фильтра низких частот). В общем случае опорным сигналом для синхронного детектора может служить и негармонический периодический сигнал. В технике связи широко используется прямоугольный опорный сигнал, для которого операция умножения осуществляется путем скачкообразного изменения входного сигнала.

Необходимо отметить, что без фильтра низкой частоты, подключенного к выходу перемножителя опорного и входного сигналов, не будут выполняться условия синхронного детектирования. В этом случае не будет синхронного детектирования, а будет только умножение опорного и входного сигналов.

Принцип синхронного детектирования сигналов использовался в самых первых дымовых пожарных извещателях отечественного производства [4].

В дымовом пожарном извещателе, функциональная схема которого представлена на рис. 5, используется одновременно и амплитудный, и синхронный детектор. Исследуемый сигнал поступает на базу транзистора VT1.4 через конденсатор C4 с выхода усилителя. Опорный сигнал выделяется на резисторе R26 и через диод VD7 поступает на базу того же транзистора VT1.4.

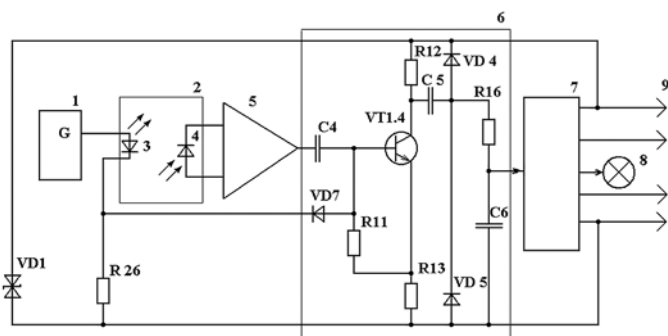


Рис. 5,

где:

- 1 – генератор импульсов;
- 2 – камера дымового сенсора;
- 3 – ИК-светодиод;
- 4 – фотодиод;
- 5 – усилитель;
- 6 – амплитудный и синхронный детектор;
- 7 – блок выходного каскада;
- 8 – индикатор состояния;
- 9 – контакты блока выходного каскада.

Обозначение остальных элементов соответствует рис. 2.8 [4].

В промежутках между импульсами ИК-излучения транзистор VT1.4 всегда закрыт, так как падение напряжения на германиевом диоде меньше напряжения на открытом переходе база-эмиттер кремниевого транзистора VT1.4. Во время импульса ИК-излучения диод VD7 будет смещен в обратном направлении, что позволит открыться транзистору VT1.4, если напряжение на выходе усилителя будет достаточной амплитуды. Таким образом, на базе данного транзистора осуществляется перемножение опорного и исследуемого сигналов. Появление импульсов на коллекторе указанного транзистора позволяет порционно заряжать конденсатор C6 через конденсатор C5. Когда падение напряжения на конденсаторе C6 достигнет напряжения переключения выходного каскада, произойдет

переход извещателя в состояние пожарной тревоги. Необходимо отметить, что низкочастотный фильтр, выполненный на резисторе R16 и конденсаторе С6, обеспечивает выделение определенного количества совпадений импульсов опорной частоты с импульсами достаточной амплитуды на выходе усилителя, при котором произойдет переключение выходного каскада. А это означает, что здесь имеются все атрибуты синхронного детектора — умножитель на транзисторе VT1.4 и низкочастотный фильтр на резисторе R16 и конденсаторе С6, подключенный к выходу умножителя. Кроме того, транзистор VT1.4 выполняет роль и амплитудного детектора, так как его переключение осуществляется при определенной величине импульсов на выходе усилителя. Однако при такой схеме обработки сигнала извещатель не имеет памяти срабатывания. Если по каким-то причинам уровень сигнала на выходе усилителя станет меньше, то транзистор VT1.4 прекращает переключаться и напряжение на конденсаторе С6 падает до тех пор, пока не произойдет переключение блока выходного каскада в исходное состояние. При подключении к одному шлейфу пожарной сигнализации нескольких извещателей нельзя было определить, какой из них подал на прибор приемно-контрольный сигнал пожарной тревоги.

Этот недостаток был устранен в извещателе, функциональная схема которого представлена на рис. 6. В этом изделии к выходу умножителя был подключен не только низкочастотный фильтр, но и бистабильный элемент (триггер).

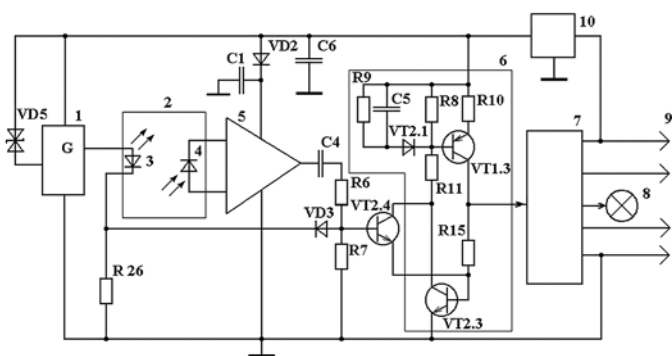


Рис. 6,

где:

- 1 — генератор импульсов;
- 2 — камера дымового сенсора;
- 3 — ИК-светодиод;
- 4 — фотодиод;
- 5 — усилитель;
- 6 — бистабильный элемент;
- 7 — блок выходного каскада;
- 8 — индикатор состояния;
- 9 — контакты блока выходного каскада;
- 10 — ограничитель тока.

Обозначение остальных элементов соответствует рис. 2.13 [4].

Перемножитель опорного и входного сигналов выполнен аналогично предыдущей схеме на совокупности элементов C4, R6, VD3, R7 и VT2.4. Однако транзистор VT2.4 умножителя эмиттером и коллектором подключен к входам бистабильного элемента.

Работает извещатель следующим образом. При подключении изделия к источнику электропитания (включенному шлейфу пожар-

ной сигнализации) через ограничитель тока начинает заряжаться конденсатор С6. Пока напряжение на нем будет меньше напряжения стабилизации стабилитрона VD5, генератор импульсов будет выключен. Выключенными будут и транзисторы VT2.4 и VT2.3. Транзистор VT1.3 также окажется закрытым благодаря цепочке R9C5, которая подключена к базе VT1.3 через коллекторный переход транзистора VT2.1. Цепочка R9C5 совместно с резистором R11 также выполняет роль фильтра низкой частоты, который подключен к выходу умножителя.

После включения питания выходной каскад также будет выключен, поэтому извещатель всегда будет находиться в дежурном режиме работы. После запуска генератора импульсов с помощью ИК-светодиода будет периодически оцениваться удельная оптическая плотность воздуха в камере дымового сенсора. На базу транзистора VT2.4 перемножителя будут приходить импульсы опорного сигнала с резистора R26 через диод VD3 и входного сигнала с выхода усилителя через цепочку R6C4. Как только на выходе усилителя во время действия ИК-излучения будет импульс достаточной амплитуды, транзистор VT2.4 откроется. Вследствие этого откроется транзистор VT2.3, но так как длительность включения этих транзисторов не может превысить 30 мкс, то этого времени будет недостаточно, чтобы зарядить конденсатор С5 до напряжения открывания транзистора VT1.3. Только после нескольких импульсов совпадения на входе перемножителя на выходе фильтра низкой частоты R11C5 появится напряжение, достаточное для открывания транзистора VT1.3. Открытие транзистора VT1.3 будет способствовать еще большему открыванию транзистора VT2.3. Причем процесс переключения последних двух транзисторов будет невозвратным. Они останутся во включенном состоянии до отключения питания извещателя. Высокий потенциал с выхода бистабильного элемента поступит на вход выходного каскада — извещатель перейдет в состояние пожарной тревоги. Включится индикатор состояния извещателя.

С работой извещателя вроде бы все понятно: в изделии явно присутствуют все атрибуты синхронного и амплитудного детекторов.

Вопросы по синхронному детектированию возникают при анализе технического решения по патенту Российской Федерации № 2221278 [5]. Блок-схема устройства регистрации дыма представлена на рис. 7,

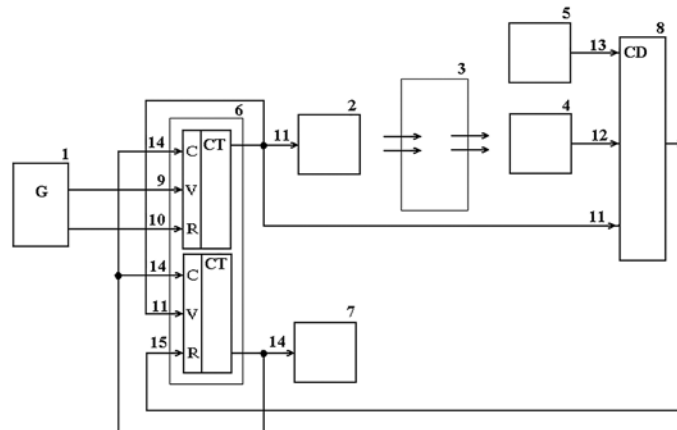


Рис. 7,

где:

- 1 — тактовый генератор;
- 2 — излучатель;
- 3 — оптическая камера со светопоглощающими стенками;
- 4 — фотоприемник;
- 5 — схема сброса;
- 6 — схема сравнения и запоминания;
- 7 — формирователь сигнала регистрации дыма;
- 8 — схема синхронного детектирования;
- 9—15 — связи между блоками.

Описание блок-схемы устройства представлено в формуле изобретения по указанному патенту следующим образом:

«Устройство регистрации дыма, содержащее тактовый генератор, излучатель, связанный через оптическую камеру со светопоглощающими стенками с фотоприемником, схему сброса, схему сравнения и запоминания, формирователь сигнала регистрации дыма, отличающийся тем, что оно дополнительно имеет схему синхронного детектирования, а схема сравнения и запоминания выполнена в виде первого и второго двоичных счетчиков, причем V-вход и R-вход первого двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания соединены с соответствующими выходами тактового генератора, выход упомянутого первого двоичного счетчика параллельно связан с входом излучателя, V-входом второго двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания и первым входом схемы синхронного детектирования, второй и третий входы которой связаны, соответственно, с выходами фотоприемника и схемы сброса, а выход — с R-входом второго двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания, выход второго двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания связан с C-входами обоих счетчиков и с входом формирователя сигнала регистрации дыма».

При этом сама схема синхронного детектирования раскрыта только во втором зависимом пункте формулы и представлена на рис. 8:

«Схема синхронного детектирования содержит два логических элемента И-НЕ, диод, RC-цепь, причем входы первого элемента И-НЕ связаны с выходом фотоприемника, а выход — через диод с RC-цепью, которая связана с входом второго логического элемента И-НЕ и через конденсатор связана с выходом первого двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания, причем другой вход второго логического элемента И-НЕ связан с выходом схемы сброса, а выход — с R-входом второго двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания». [5]

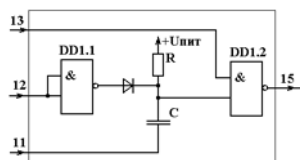


Рис. 8

Читая формулу приведенного изобретения, можно только догадываться, что схема сброса, схема сравнения и запоминания и схема синхронного детектирования являются компонентами устройства, а не графическими отображениями технических решений указанных блоков, выполненных с

помощью условных графических обозначений. А раз так, то понятия «схема синхронного детектирования» и «синхронный детектор» являются не только эквивалентными, а реально тождественными.

В классическом варианте синхронный детектор обеспечивает взаимодействие только двух периодических сигналов: опорной частоты и входного сигнала, причем эти два сигнала перемножаются. Схема же синхронного детектирования по патенту проводит логическое сложение отрицательных импульсов, поступающих на входы второго логического элемента 2И-НЕ DD1.2. Цепочка из элементов RC обеспечивает дифференцирование заднего фронта сигнала, поступающего на вход 11 схемы синхронного детектирования с выхода первого двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания.

Рассмотрим таблицу истинности данного логического блока, ведь на всех входах и на выходе этого блока присутствуют только логические сигналы.

Таблица истинности схемы синхронного детектирования по патенту РФ № 2221278

Номер входа/ выхода	11	12	13	15
1	0	1	0	1
2	1	1	0	1
3	0	0	0	1
4	1	0	0	1
5	0	1	1	1
6	1	1	1	0
7	0	0	1	0
8	1	0	1	0

Из приведенной таблицы видно, что на резисторе R осуществляется перемножение импульсов, поступающих с выхода усилителя с импульсами, полученными в результате дифференцирования заднего фронта импульса опорной частоты. Таким образом, получается, что перемножение входного сигнала с короткими импульсами опорного сигнала имеет место, но нет низкочастотной фильтрации на выходе умножителя, которая является обязательным атрибутом синхронного детектирования. А это означает только одно: данный блок необоснованно назван схемой синхронного детектирования. Выбранное заявителем наименование данного блока не может быть признано общепринятым. Реальная функция, которую выполняет данный блок, — это функция сброса второго двоичного счетчика. Поэтому блок, приведенный на рис. 8, мог бы называться узлом сброса второго двоичного счетчика схемы сравнения и запоминания, но никак не схемой синхронного детектирования. [5]

Литература:

- ГОСТ Р 53325-2009 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний.
- ДСТУ EN 54-7:2004 Системи пожежної сигналізації. Частина 7. Словішувачі пожежні димові точкові розсіяного світла, пропущеного світла або іонізаційні.
- http://www.femto.com.ua/articles/part_2/3657.html
- Ф. И. Шаровар «Устройства и системы пожарной сигнализации». Изд. 2-е, М. Стройиздат, 1985 г.
- Патент Российской Федерации на изобретение № 2221278 «Устройство регистрации дыма», бюл. № 1 2004 г.

