

Дымовые оптико-электронные точечные пожарные извещатели. Основные схемные решения. Часть 2.1. Фотоусилители на транзисторах

Владимир Баканов,
главный конструктор ЧП «АРТОН»

Как было видно из первой части публикации [1] в камерах дымового сенсора пожарных извещателей в основном используются фотодиоды. Это обусловлено необходимым быстродействием приемника оптического излучения и низким его энергопотреблением. На основе фотодиодов возможно построение различных фотоприемных устройств (ФПУ), работающих в широком диапазоне частот модуляции оптического сигнала. В зависимости от вида регистрируемого сигнала могут различаться и схемы самих фотоприемных устройств [2].

На рис. 1 представлены функциональные схемы фотоприемных устройств на основе фотодиодов:

- а) фотодиод (ФД) работающий в фотовольтаическом режиме с усилителем постоянного тока (УПТ);
- б) то же, в фотодиодном режиме;
- в) то же, в фотодиодном режиме с разделительным конденсатором (С) и усилителем переменного напряжения (А);
- г) то же, в фотодиодном режиме с оптимальным фильтром (ОФ).

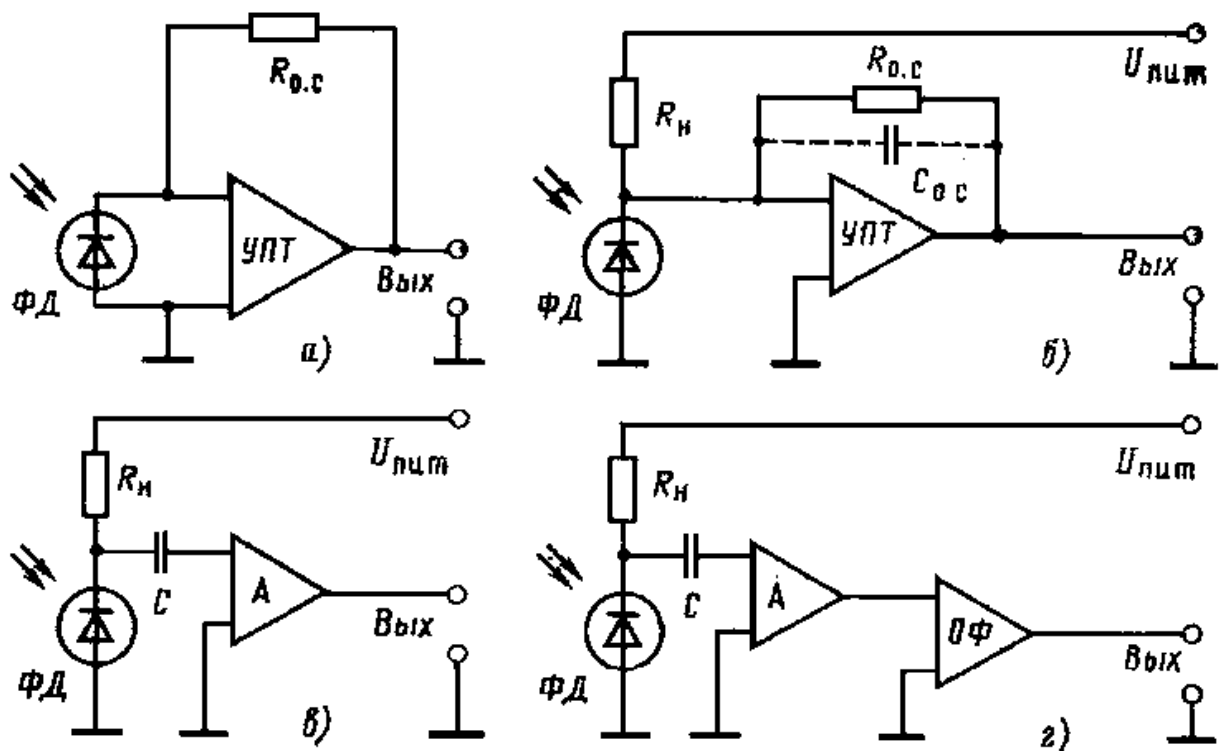


Рис. 1.

Для приема модулированного и медленно изменяющегося потока излучения может использоваться функциональная схема ФПУ, состоящая из фотодиода, включенного в фотовольтаическом (рис. 1, а)) или в фотодиодном (рис. 1, б)) режиме, и усилителя постоянного тока.

Для приема синусоидально модулированного потока излучения часто используется функциональная схема ФПУ, состоящая из фотодиода, включенного в фотодиодном режиме, разделительного конденсатора и усилителя переменного напряжения (рис. 1, в)).

Для приема импульсного модулированного сигнала обычно используется функциональная схема ФПУ, содержащая фотоприемник, включенный в фотодиодном режиме, разделительный конденсатор, усилитель импульсного сигнала и квазиоптимальный фильтр (рис. 1. г)).

Самый простейший транзисторный фотоусилитель, который обеспечивает согласование оптического сигнала принятого фотодиодом, с входом логической КМОП микросхемы (входом микроконтроллера), может быть выполнен на одном транзисторе. Схема подобного усилителя приведена в патенте US 5691699 [3] и представлена на рис. 2.

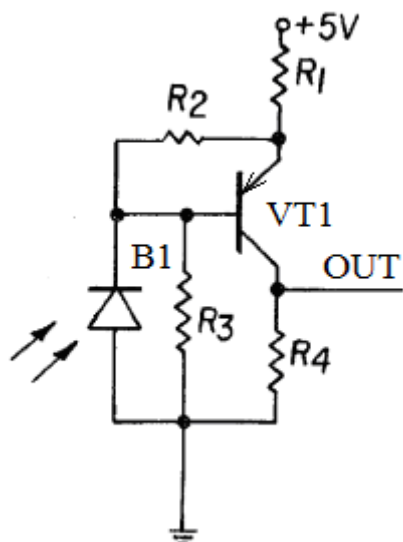


Рис. 2

Усилитель реализован по классической схеме с термокомпенсацией и фиксированным коэффициентом усиления, который не может превышать нескольких десятков. Но главным недостатком этого технического решения является прямая гальваническая связь между транзисторным усилителем и источником сигнала. Такой усилитель перестанет выполнять свою основную функцию – усилителя импульсов при фоновом сигнале засветки. Введение одного разделительного конденсатора и одного резистора позволяет получить усовершенствованную схему (см. рис. 32).

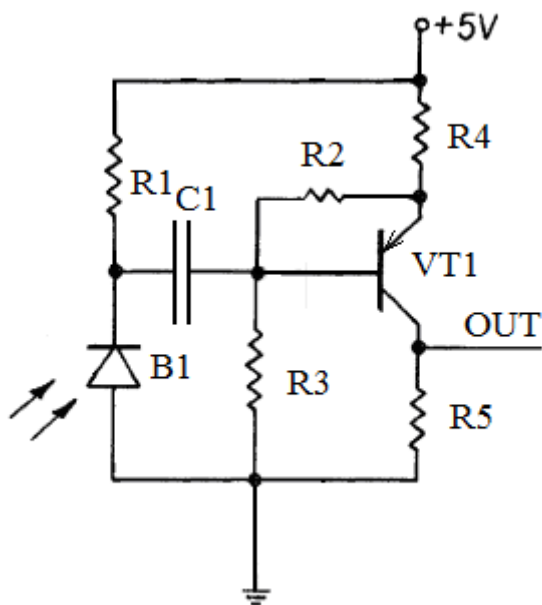


Рис. 3

Разделение постоянноточковых и импульсных сигналов осуществляется с помощью конденсатора $C1$, емкость которого выбирается из условия, что цепь $R2C1$ должна быть переходной, а входное сопротивление транзисторного усилителя должно быть максимально возможным. А это уже предъявляет особые требования к экранировке входной цепи или всего усилителя целиком.

Фотовольтатическое включение фотодиода $B1$, которое представлено на схеме, приведенной на рис. 4, позволяет почти на порядок уменьшить сопротивление нагрузки фотодиода и получить повышенную устойчивость к электромагнитным помехам.

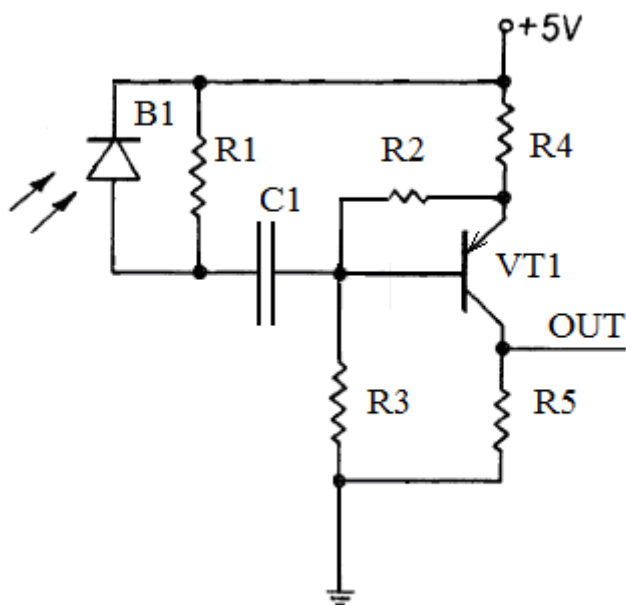


Рис. 4

Для раннего выявления пожара в пожарных извещателях, когда сработка дымового извещателя должна осуществляться при достижении удельной оптической плотности воздуха значения $0,1$ дБ/м необходимо иметь усилители с большим коэффициентом усиления, чем тот, который можно получить на однокаскадном усилителе.

Многокаскадный транзисторный усилитель использовался в одном из первых советских дымовых оптико-электронных извещателей ДИП-1 [4]. Схема усилителя представлена на рис. 5. Его питание осуществлялось от U_z – напряжения в шлейфе пожарной сигнализации. При этом питание выходного каскада этого усилителя – эмитерного повторителя, собранного на транзисторе $VT4$, осуществлялось через фильтр на конденсаторе $C1$ и резисторе $R9$. Согласователь сопротивления, выполненный на истоковом повторителе $VT1$, и первые два каскада усилителя запитаны от параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне VD 1 и резисторе $R8$. Первые два каскада усилителя, собраны на эмитерносвязанных транзисторах $VT2$ и $VT3$ [5]. По существу эта структура представляет собой триггер Шмитта с заданным

гистерезисом. Иными словами этот усилитель можно охарактеризовать как усилитель – дискриминатор, у которого сигнал на выходе не будет изменяться, если амплитуда импульсов, проходящих через конденсатор $C2$, будет меньше заданной величины. Величина гистерезиса определяется соотношением сопротивлений резисторов $R5$ и $R7$. А учитывая тот факт, что данная схема содержит четное количество инвертирующих каскадов, можно сказать, что это техническое решение имеет существенный недостаток – схема склонна к самовозбуждению. Попыткой устранить этот недостаток является включение конденсатора $C3$ на выходе усилителя, который выполняет роль интегратора.

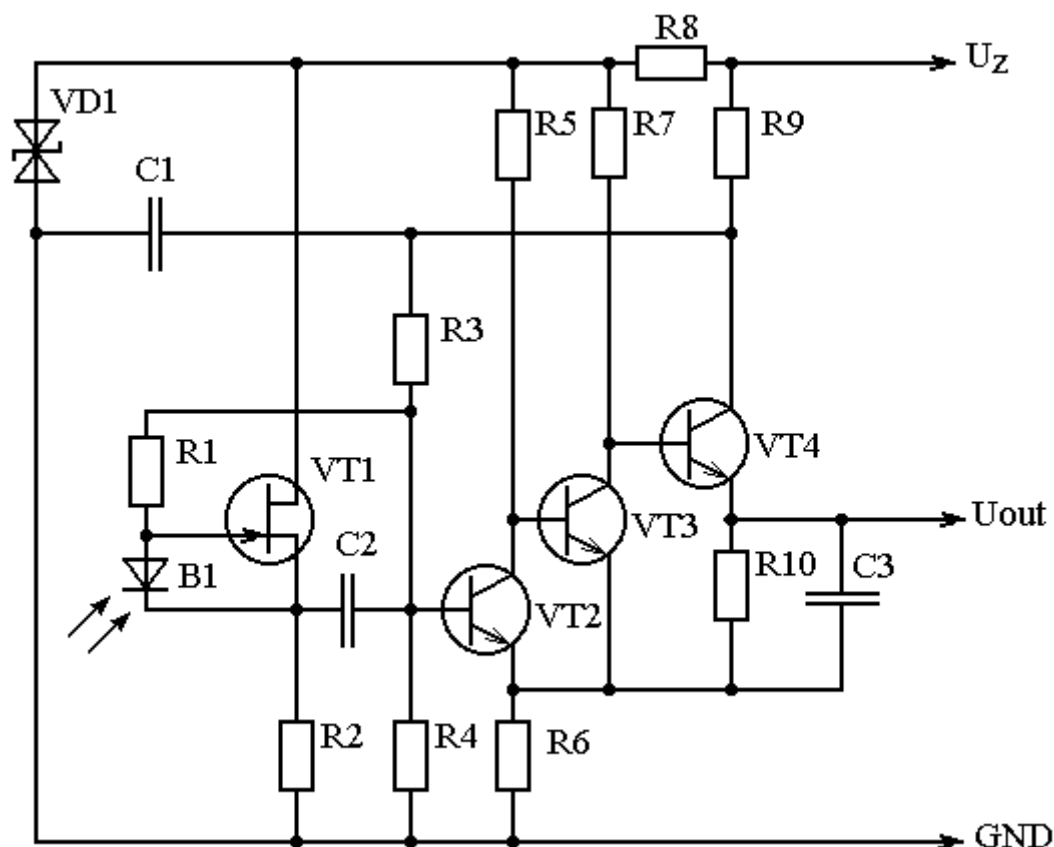


Рис. 5

Первый каскад усилителя выполнен на полевом транзисторе КП303Е для обеспечения согласования с высоким выходным сопротивлением фотодиода $B1$. Последующие три каскада усилителя собраны на интегральной микросхеме КР198НТ1Б, в состав которой входят транзисторы $VT2$, $VT3$, $VT4$. Эти три каскада охвачены глубокой отрицательной обратной связью по постоянному току цепью $R3$, $R4$, $C1$ и по переменному току цепей $R6$, $R10$, $C3$.

В следующей отечественной разработке - дымовом оптико-электронном извещателе ДИП-2 [4] использовалась уже иная схема усилителя фотоприемника. И хотя это техническое решение содержало даже меньшее количество элементов, но обладая новыми связями, оно стало более пригодным для усиления слабых импульсных сигналов. Принципиальная схема усилителя, примененного в извещателе ДИП-2, представлена на рис. 6. Усилитель

выполнен на четырех транзисторах с непосредственными связями, который также охвачен цепями общей отрицательной обратной связи по постоянному (R_6 , R_7) и переменному (R_3 , R_6 , C_2 , C_3) току.

Для согласования с высоким выходным сопротивлением фотодиода первый каскад усилителя выполнен на полевом транзисторе КП303Е, а транзисторы прямой проводимости VT_2 , VT_3 , VT_4 являются компонентами микросхемы КР198НТ5Б. Питание усилителя осуществляется через сглаживающий фильтр VD_1 , C_1 .

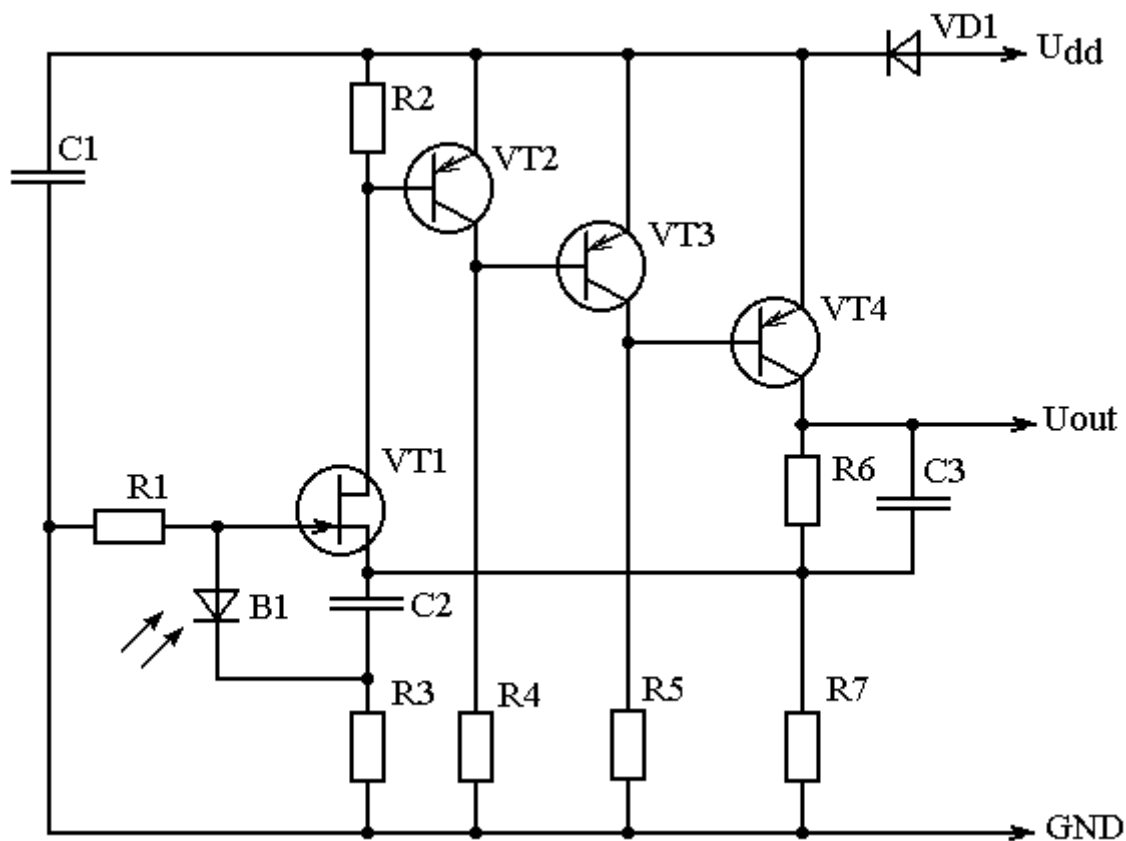


Рис. 6

Особенностью данной схемы является то, цепи питания излучателя и усилителя разделены диодом VD_1 . Такое подключение питания усилителя позволяет исключить влияние провалов питающего напряжения на излучателе. Этот усилитель уже содержит нечетное количество инвертирующих каскадов усиления. А применение отрицательной обратной связи по постоянному току на резисторах R_6 и R_7 и по переменному току на цепях R_6C_3 , R_7 и R_3C_2 позволяет обеспечить устойчивую температурную стабилизацию работы усилителя. Необходимо также корпус полевого транзистора VT_1 , как в этой схеме, так и в предыдущей, соединять с общим проводом усилителя – шиной GND.

Транзисторный усилитель фотоприемного устройства, который представлен на рис. 7 [2], содержит разделительные конденсаторы в каждом усилительном каскаде.

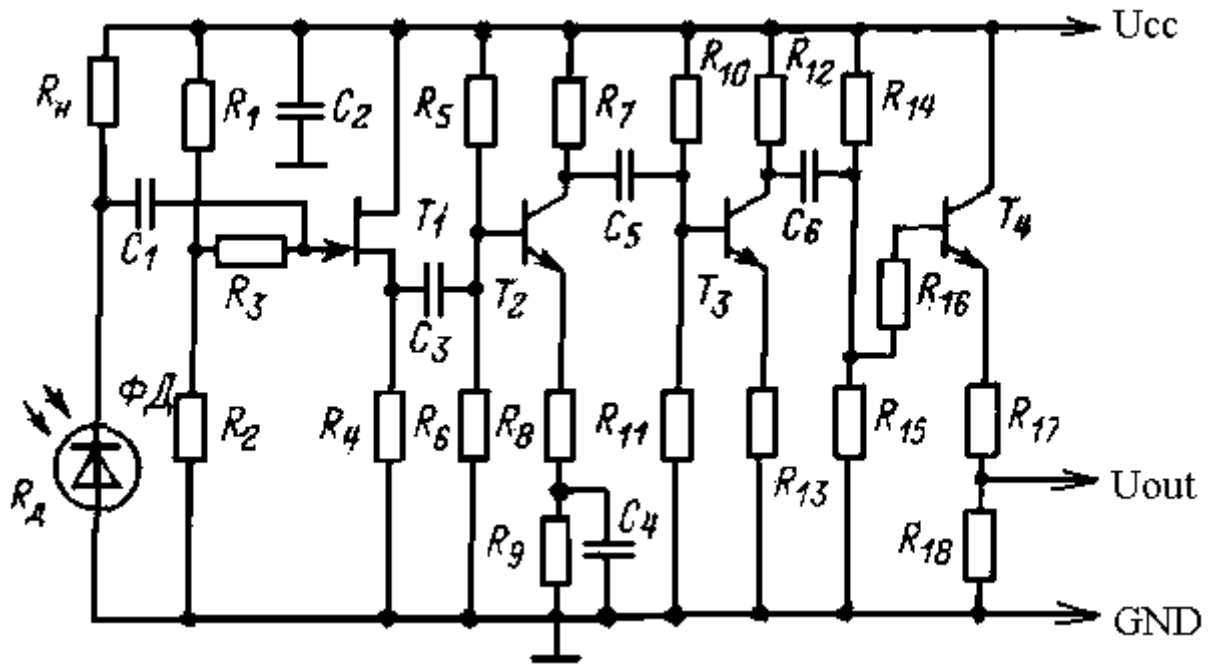


Рис. 7

На первом транзисторе T_1 выполнен истоковый повторитель, а четвертый транзистор является эмиттерным повторителем. Таким образом в этом четырехкаскадном усилителе только два каскада – на транзисторах T_2 и T_3 выполняют функцию усиления сигнала по напряжению.

Желание удешевить дымовой точечный оптический извещатель привело к появлению новых технических решений, например, по патенту RU 2221278 [6] предлагался усилитель фотоприемника, выполненный на двух транзисторах разной проводимости. Принципиальная схема такого усилителя представлена на рис. 8.

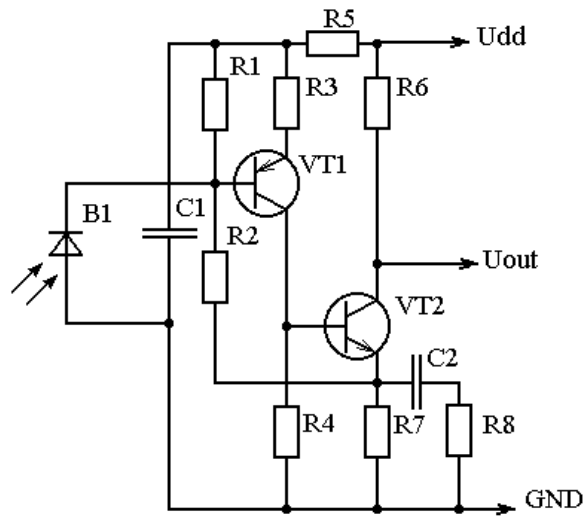


Рис. 8

Этот усилитель содержит четное количество инвертирующих каскадов усиления – что означает: данный усилитель склонен к самовозбуждению. Отрицательная обратная связь в этом усилителе по постоянному току на резисторах R1, R2, R7 и по переменному току на элементах: R1, R2, R7, C2, R8 обеспечивают достаточно устойчивую работу усилителя при малых коэффициентах усиления. Управление коэффициентом усиления в некоторых пределах осуществляется изменением сопротивления резистора R8. Применение высокоимпедансных цепей позволяет существенно уменьшить потребление тока усилителем. При малых уровнях оптического сигнала выходной электрический сигнал существенно запаздывает, что приводит к искажению формы самого сигнала. При прямоугольных импульсах оптического сигнала на выходе усилителя наблюдаются сигналы треугольной формы. Величина этого запаздывания зависит от такого параметра транзистора, как емкость перехода база-коллектор. Таким образом, наклон переднего фронта выходного сигнала треугольной формы зависит от конкретных параметров транзисторов и в каждом конкретном извещателе этот наклон будет разным. Питается усилитель от того же напряжения, что и узел управления извещателем и излучатель. Использование усилителя на транзисторах с непосредственными связями выдвигает особое требование к транзисторам VT1, VT2 и фотодиоду VD1 по величине обратного тока и их температурной зависимости.

Например, в извещателе ИП 212-41М, где использовался такой усилитель, уже при температуре 57 - 58 °С транзистор VT2 переходил в насыщение даже при отсутствии освещения фотодиода B1. Поэтому такой дымовой извещатель

реагировал на увеличение температуры в месте расположения извещателя и мог давать ложные сработки, в то время, когда удельная оптическая плотность воздуха оставалась неизменной. Но так как нормативные документы, как российские, так и европейские, определяют верхнее значение рабочей температуры дымового пожарного извещателя на уровне значения 55 °С, то такое свойство изделия нельзя считать нарушением стандарта по виду продукции.

Другой двухтранзисторный усилитель был предложен в патенте RU 2314569 [7]. Представлен этот усилитель на рис. 9. Особенности этого усилителя являются: иная организация отрицательной обратной связи между каскадами и введение интегрирующей цепи, которая существенно меняет форму выходного сигнала. Введение интегратора R3C1 реально уменьшает коэффициент усиления усилителем, но зато обеспечивает постоянство наклона переднего фронта треугольного выходного сигнала.

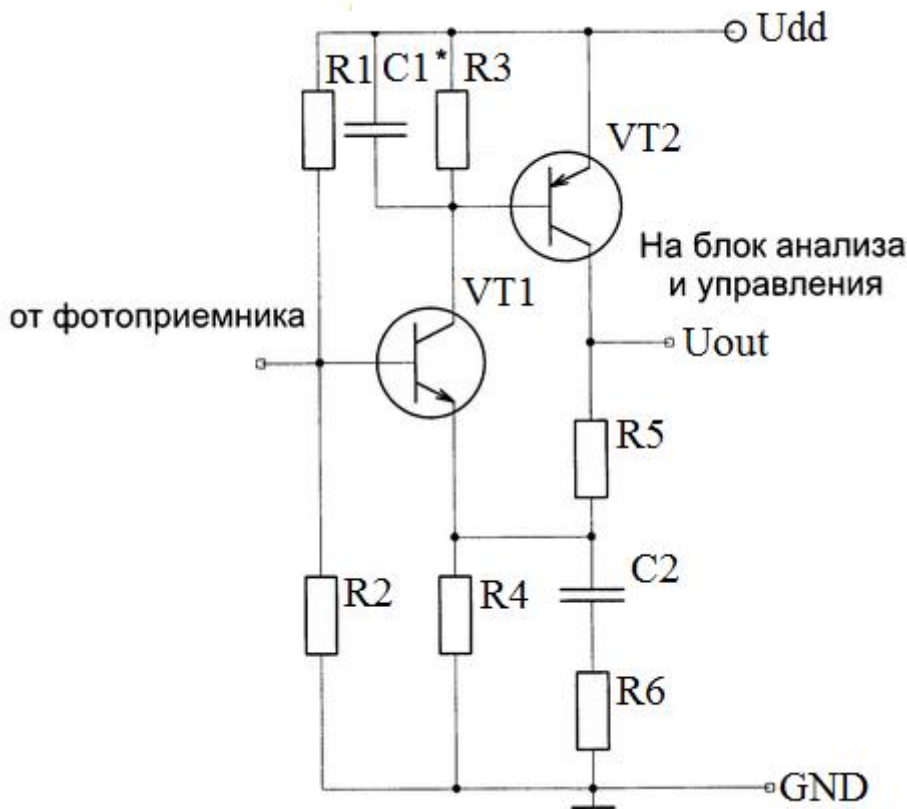


Рис. 9

Для нормально работающего в дежурном режиме дымового извещателя при отсутствии дыма амплитудно-временная диаграмма импульсных сигналов на выходе усилителя имеет треугольный вид. Получение таких сигналов достигается в начале эксплуатации дымового извещателя или после восстановления его работоспособности путем настройки значений максимальных амплитуд импульсных зондирующих и тестирующих сигналов. Такая настройка может осуществляться изменением, как длительности, так и

амплитуды световых импульсов, по сигналам, поступающим от блока анализа и управления, в результате сравнения заложенной в него пороговой величины и максимальных амплитуд импульсных тестирующих сигналов. Очевидно, что изменение длительности световых импульсов приводит к изменению длительности поступающих от фотоприемника через усилитель на вход блока анализа и управления импульсных сигналов. При этом формируют тестирующие импульсные сигналы с чередованием сигналов различной максимальной амплитуды, и имеющих первоначально значения максимальной амплитуды одного импульса больше, а другого импульса меньше пороговой величины. В ходе эксплуатации дымового извещателя происходит изменение интенсивности поступающих на фотоприемник импульсов, что обусловлено, например, увеличением отражения от внутренней поверхности дымовой камеры 2 при появлении на ней пыли, росы или коррозии. При этом соответственно постепенно увеличиваются и максимальные амплитуды зондирующих и тестирующих сигналов. В какой-то момент времени максимальные амплитуды обоих чередующихся тестирующих сигналов, имеющих первоначально различные максимальные амплитуды, превысят пороговую величину. Данное обстоятельство свидетельствует о возможности ложного срабатывания дымового извещателя.

Таким образом, в дежурном режиме поддерживается постоянная разность между пороговой величиной и текущими значениями максимальной амплитуды зондирующих импульсных сигналов, при том, что пороговая величина не изменяется, и сохраняется постоянный уровень чувствительности.

Повысить коэффициент усиления усилителем можно за счет увеличения напряжения питания, но при этом, если не разделять питание усилителя от питания остальной схемы, значительно увеличится ток потребления изделием, что для пожарного извещателя является нежелательным. Проблеме отдельного электропитания усилителя и излучателя посвящены технические решения по патентам Украины и России UA78837 [8] и RU2294018 [9]. Схема усилителя с отдельным электропитанием усилителя и излучателя представлена на рис. 10

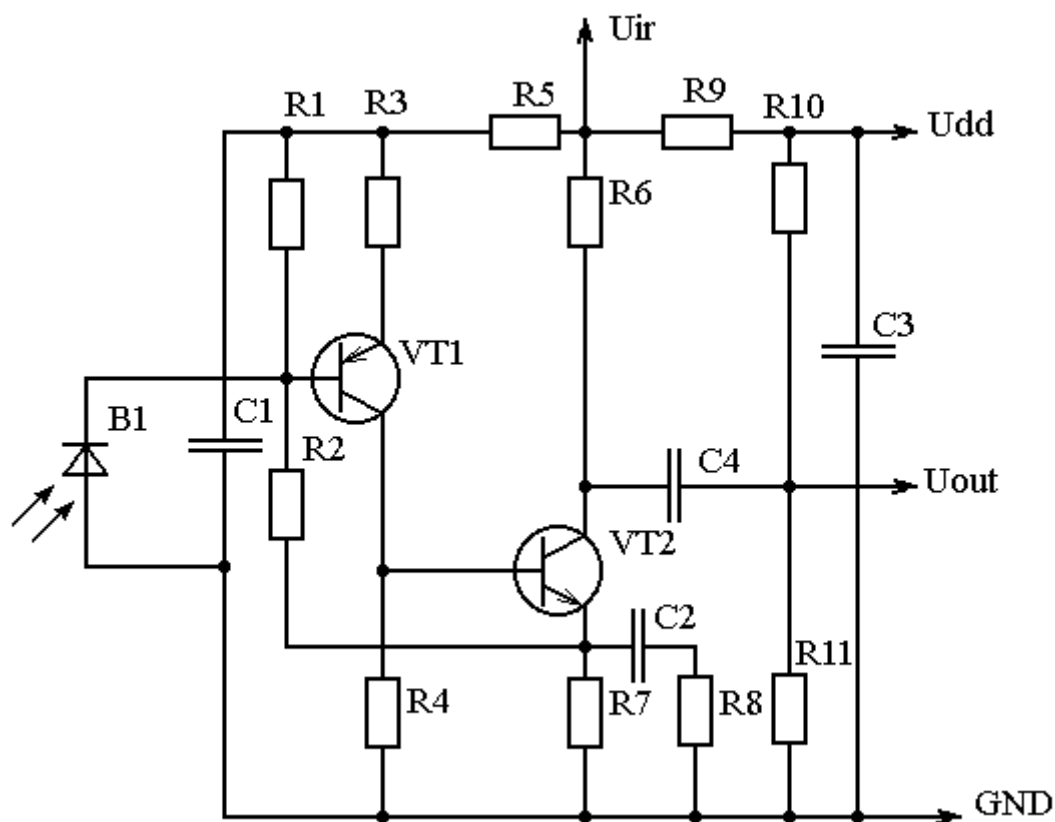


Рис. 10

Напряжение питания U_{ir} излучателя подается на логические микросхемы узла управления через $R9C3$, а на первый каскад усилителя – через $R5C1$. Причем падение напряжения на резисторе $R9$ в несколько раз превосходит падение напряжения на резисторе $R5$. Узел согласования уровней сигналов выполнен на резисторах $R11$, $R12$ и конденсаторе $C4$.

Аналогичный усилитель, в котором имелось частотное разделение цепи фотодиода используется в извещателе "Detectix-02D" (ИП 212-74), схема его представлена на рис. 11.

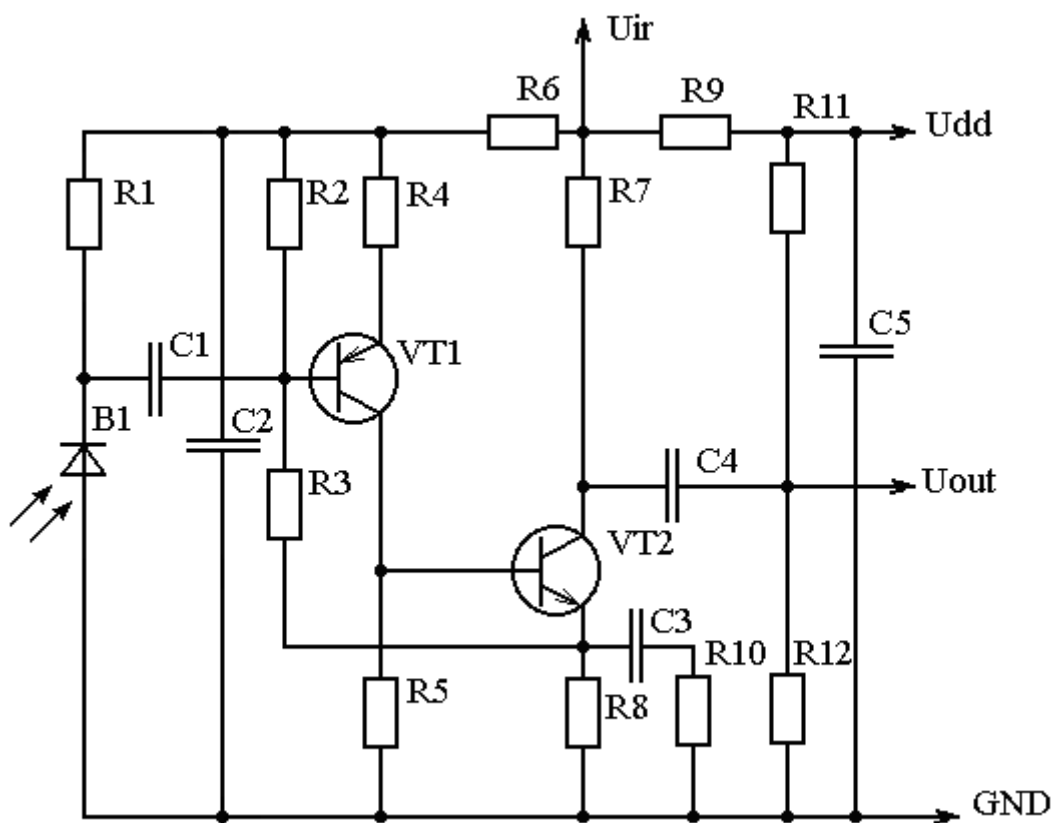


Рис. 11

Следующая модернизация (см. рис. 12) была направлена на температурную стабилизацию амплитуды усиленного импульса. Введением двух последовательно соединенных диодов $VD1$ и $VD2$ в делитель напряжения на резисторах $R11$ и $R12$, который подключен к аналоговому входу микроконтроллера в извещателе "Detectix-01D" (ИП 212-74) обеспечивалось смещение выходного напряжения U_{out} при изменении температуры.

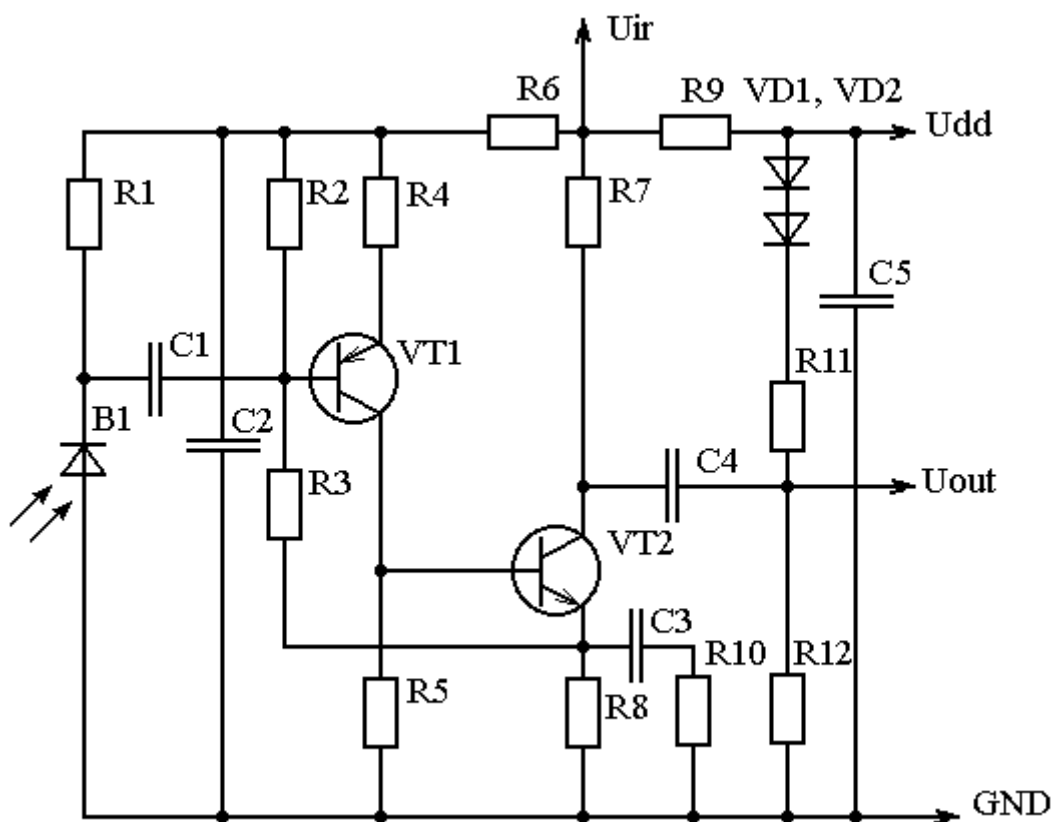


Рис. 12

С другой стороны оставалась не решенной проблема согласования сопротивления делителя на резисторах R11 и R12, которое должно быть большим (0,5 МОм) для согласования с выходным сопротивлением каскада на транзисторе VT2, а с другой стороны быть не более 10 кОм для выполнения требований к аналоговому входу микроконтроллера MICROCHIP. В противном случае аналогово-цифровой преобразователь микроконтроллера будет давать значительную погрешность преобразования.

Некоторое увеличение коэффициента усиления можно получить при использовании частотно зависимой цепи параллельно резистору R4, аналогично тому, как это сделано во втором каскаде усиления, где параллельно резистору R8 подключена цепочка R10C3.

Принципиальная схема усилителя, примененного в извещателе ИП 212-77 (ИПК-8), в которой используется указанное выше усовершенствование, представлена на рис. 13.

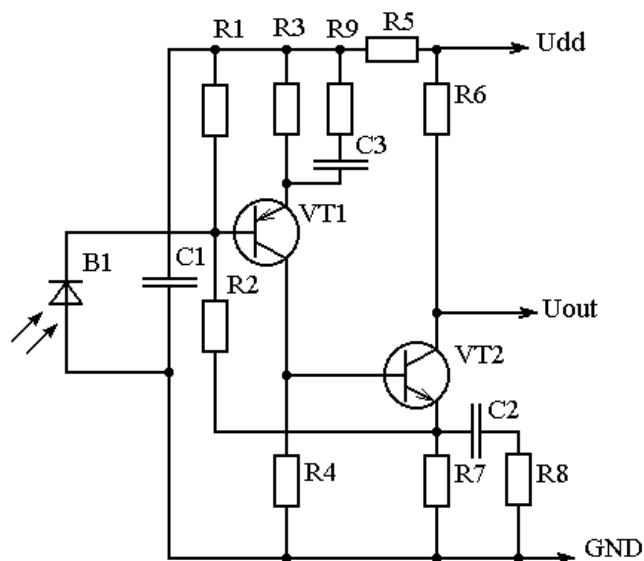


Рис. 13

Недостатком последних двухкаскадных схем является низкая достоверность работы при высокой удельной оптической плотности среды, а также при тестовых проверках с помощью пробника, который в оптической камере дымового сенсора создает большой уровень рассеянного инфракрасного излучения от излучателя. При больших уровнях светового импульсного сигнала, проходящего на фотодиод B1 на коллекторе транзистора VT2 наблюдаются импульсы меньшей длительности, чем длительность световых импульсов.

Решить эту проблему позволяет техническое решение по патентам на полезные модели Украины и России UA9400 [10] и RU48658 [11]. Принципиальная схема такого усилителя представлена на рис. 14.

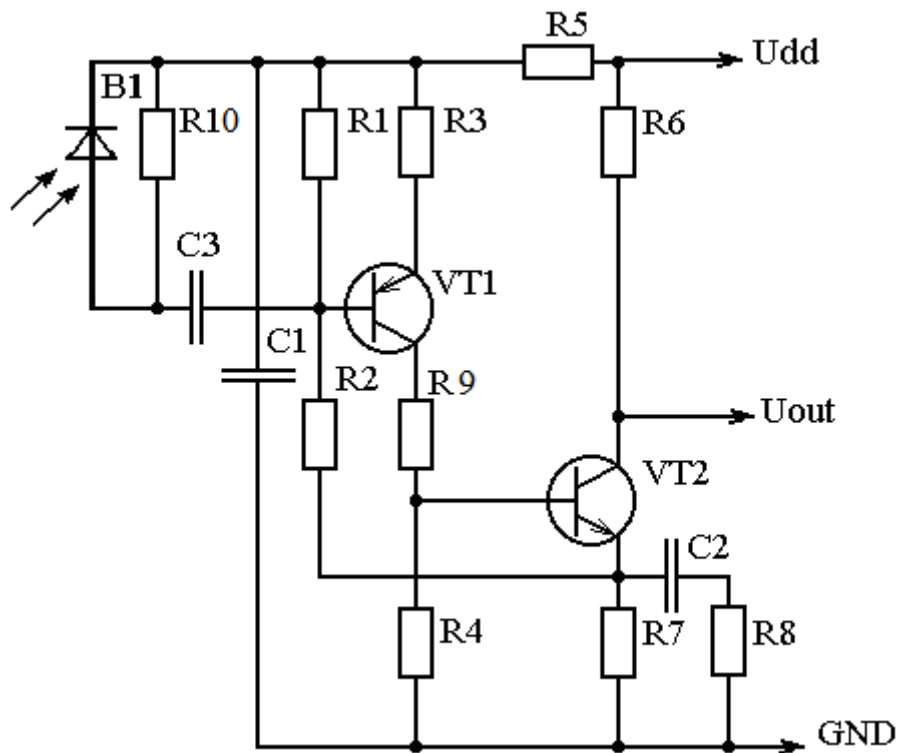


Рис. 14

Использование в этой схеме дополнительного резистора R9 обеспечивает ограничение тока коллектора первого транзистора VT1, благодаря чему формируется достоверный сигнал на выходе усилителя даже в условиях высокого уровня оптической связи между фотодиодом B1 и излучающим инфракрасным диодом в оптической камере дымового сенсора. Указанные преимущества ведут к повышению достоверности контроля в широком диапазоне значений удельной оптической плотности среды и при тестовых проверках извещателя с помощью пробника. Причем в случае, когда сопротивление R9 больше, чем в пять раз, сопротивления R3 и в столько же раз же меньше сопротивления R4, применение этого дополнительного резистора практически не изменяет коэффициент усиления этого усилителя. Другой особенностью этой схемы является фотовольтатическое включение фотодиода B1. Усилитель по подобной схеме применялся в извещателе ИПД-3.1.

В изобретении по патенту RU 2461886 [12], владельцем которого является фирма СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE), используется фотодетектор по схеме, представленной на рис. 15.

Трехкаскадный транзисторный усилитель содержит полное переходное сопротивление R1, посредством которого ток через фотодиод 330 преобразуется в первичный сигнал напряжения. Конденсатор C1 служит для сглаживания сигнала напряжения.

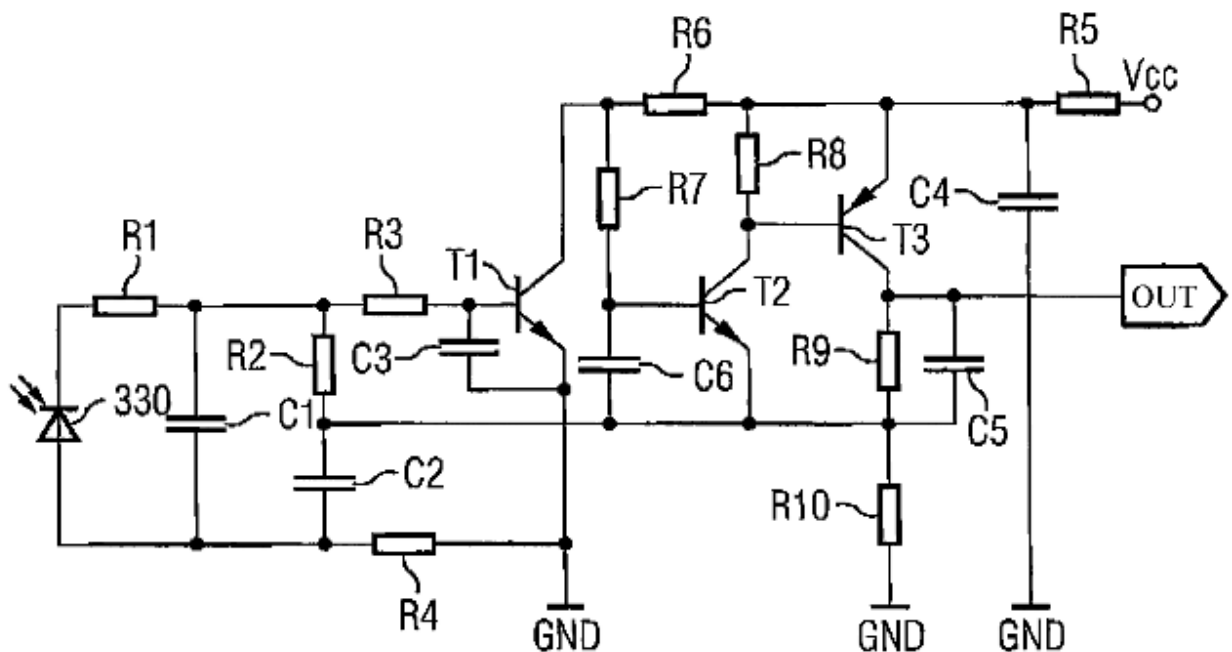


Рис. 15

Конденсатор C2 представляет вместе с сопротивлением R4 интегратор тока по времени, который может рассматриваться как источник смещения потенциала базы первого каскада усиления на транзисторе T1. Части усилительной схемы выполненные на транзисторах T2 и T3 могут рассматриваться как второй и третий каскады усиления, причем их можно представить как управляемый источник тока. Но в целом усилитель содержит три инвертирующих каскада, что делает его устойчивым при усилении слабых сигналов.

Как видно из рис. 15, вся усилительная схема питается от напряжения Vcc питания, причем режимы работы элементов рассчитаны на очень малое потребление тока: примерно от 3 до 5 мкА. При таких режимах усилителя, его выход не в состоянии быстро скомпенсировать электрические изменения, возникающие в нагрузке – аналогом входе микроконтроллера. Такие изменения нагрузки могут вызываться динамическим подключением типового входного каскада выборки и хранения (с низкоимпедансным подключаемым конденсатором) для аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера. Тем самым, измеряемый аналоговый выходной сигнал усилителя кратковременно оказывался бы сильно рассогласованным. Разумеется, можно было бы усилитель выполнить также с низкоомным выходным сопротивлением, однако это привело бы к повышению потребления тока таким усилителем.

Литература:

1. Баканов В. "Дымовые опико-электронные точечные пожарные извещатели. Основные схемные решения. Части 1.1 - 1.5 <http://daily.sec.ru/authorpbls.cfm?aid=561>

2. Алексеенко М. Д. и др. "Микроэлектронные фотоприемные устройства" М. Энергоатомиздат, 1984, с. 82
3. <https://www.google.com/patents/US5691699?dq=US+5691699&hl=ru>
4. Ф. И. Шаровар "Устройства и системы пожарной сигнализации" Изд. 2-е, М. Стойиздат, 1985 г., с. 44.
5. В. Крылов, В. Лапшин "Триггер с эмиттерной связью", "В помощь радиолюбителю", Выпуск 52, М., ДОСААФ, 1976, с. 70
6. http://www.findpatent.ru/img_show/713272.html
7. <http://www.findpatent.ru/patent/231/2314569.html#>
8. <http://uapatents.com/4-78837-dimovijj-pozhezhnijj-spovishhuvach.html>
9. <http://www.findpatent.ru/patent/229/2294018.html>
10. <http://uapatents.com/6-9400-dimovijj-pozhezhnijj-spovishhuvach.html>
11. <http://www.fips.ru/cdfi/fips.dll?ty=29&docid=48658&cl=9&path=http://195.208.85.248/Archive/PAT/2005FULL/2005.10.27/DOC/RUNWU1/000/000/000/048/658/document.pdf>
12. <http://www.findpatent.ru/patent/246/2461886.html#>