

Применение трехкаскадных усилителей, о котором говорилось в предыдущей части публикации [1], осуществляется не только в микроконтроллерных дымовых пожарных извещателях. Например, в ИП 212-117, который был собран на дискретной логике, использовался классический усилитель на трех транзисторных каскадах. Схема этого усилителя представлена на рис. 1.

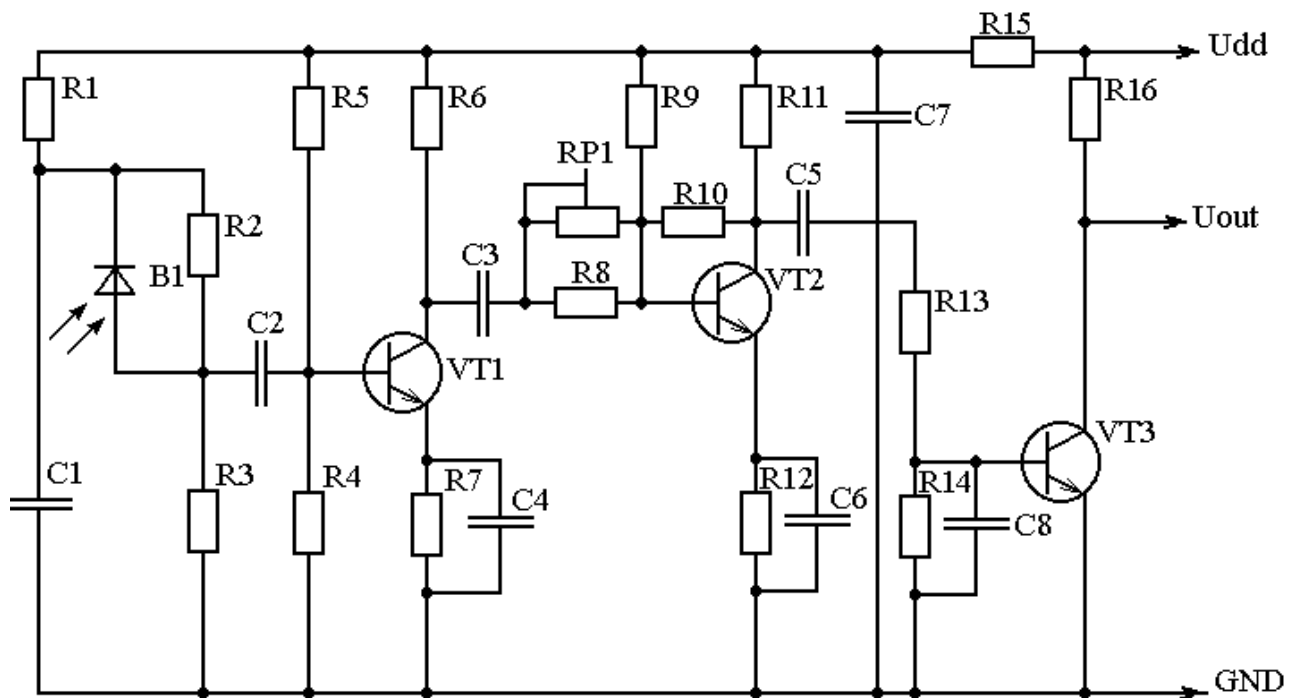


Рис. 1

Первый каскад усиления (см. рис. 2) выполнен с применением термокомпенсирующих элементов в эмиттерной цепи транзистора. Во втором каскаде, схема которого представлена на рис. 3, используются две цепи температурной стабилизации, как в цепи эмиттера, так и цепи коллектора. Третий каскад, приведенный на рис. 4, представляет собой усилитель-дискриминатор.

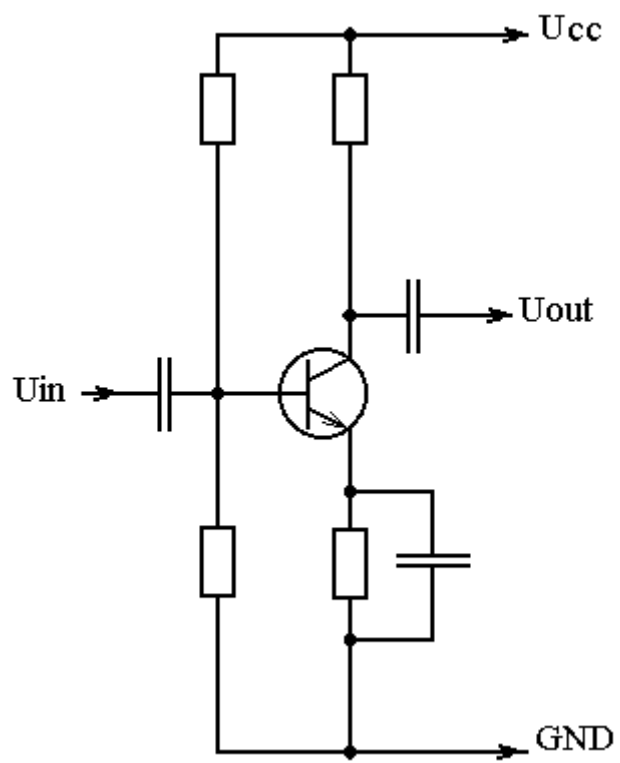


Рис. 2

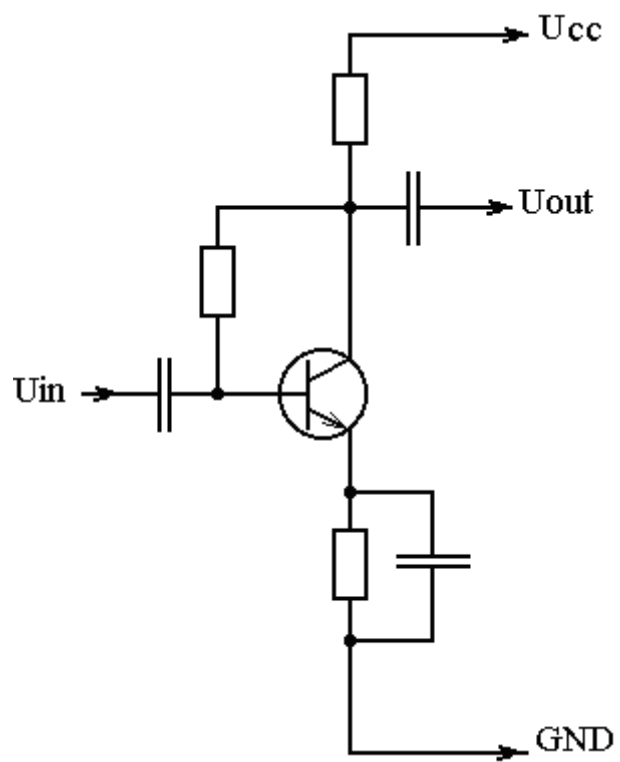


Рис. 3

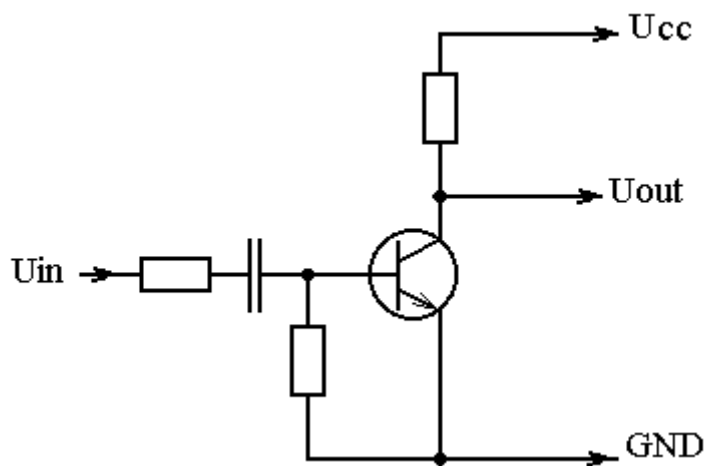


Рис. 4

Без температурной компенсации у смонтированного и налаженного в помещении при комнатной температуре усилителя параметры будут иметь одни значения, а в процессе эксплуатации будут принимать другие значения. Стандартами предписывается, чтобы основные параметры дымового пожарного извещателя существенно не менялись в диапазоне рабочих температур: от минус 10 до плюс 55 °С.

Простейшая схема транзисторного каскада усиления с температурной компенсацией представлена на рис. 5 [2].

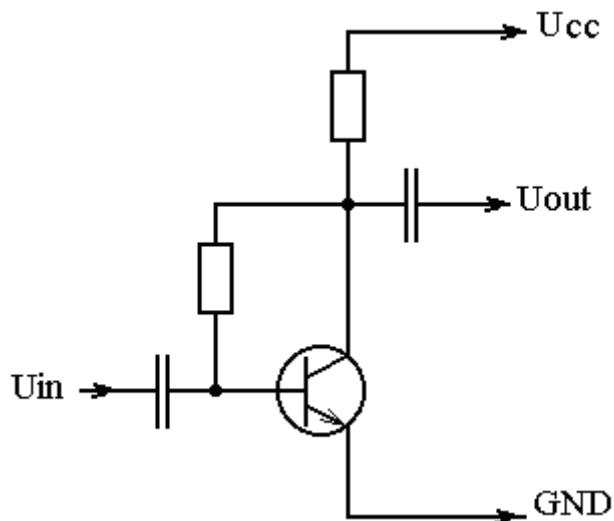


Рис. 5

В этой схеме базовый резистор подключен не к выводу источника питания V_{cc} , а к коллектору этого же транзистора. С повышением температуры возрастающий коллекторный ток увеличивает падение напряжения на коллекторном резисторе, при этом уменьшается напряжение на коллекторе. А это в свою очередь уменьшает падение напряжения на базовом резисторе. А вызванное этим уменьшение базового тока приводит к уменьшению тока коллектора транзистора. Получается обратная связь между выходной и входной цепями каскада - увеличивающийся коллекторный ток уменьшает

напряжение на базе, что автоматически уменьшает коллекторный ток [3]. Происходит стабилизация заданного режима работы транзистора. Но во время работы транзистора между его коллектором и базой через тот же базовый резистор возникает отрицательная обратная связь по переменному току, что снижает общее усиление каскада. Таким образом, стабильность режима транзистора достигается ценой проигрыша в усилении. Жаль, но приходится идти на эти потери, чтобы при изменении температуры транзистора сохранить нормальную работу усилителя.

Существует, однако, способ стабилизации режима работы транзистора с несколько меньшими потерями в усилении, но достигается это усложнением каскада. Схема такого усилителя показана на рис. 2. Режим покоя транзистора по постоянному току устанавливается с помощью резисторного делителя напряжения, подаваемого на базу транзистора. Эмиттерный резистор является элементом термостабилизации. Термостабилизация режима транзистора происходит следующим образом. По мере возрастания коллекторного тока под действием тепла падение напряжения на эмиттерном резисторе увеличивается. При этом разность напряжений между базой и эмиттером уменьшается, что автоматически снижает коллекторный ток. Получается такая же обратная связь, только теперь между эмиттером и базой, благодаря которой режим транзистора стабилизируется. А конденсатор в эмиттерной цепи транзистора разрывает эту 100% обратную связь на переменном (импульсном) напряжении усиливаемого сигнала.

У корректно рассчитанного транзисторного каскада параметры не будут зависеть не только от температуры, но и от разброса параметров применяемых транзисторов, что весьма важно в условиях серийного производства. Детально разобраться с термостабилизацией транзисторных усилителей начинающим инженерам помогут студенческие рефераты [4, 5].

Теперь несколько слов по схеме, представленной на рис. 4. Этот усилитель-дискриминатор или другими словами – амплитудный дискриминатор. Согласно [6] амплитудный дискриминатор – устройство, автоматически выделяющее электрические сигналы, амплитуда которых превышает определённое (пороговое) значение величины. Согласно выполняемой функции такой каскад можно назвать и отдельным функциональным блоком – компаратором [7].

Такой каскад имеет фиксированный порог срабатывания, равный потенциалу открытия р-п перехода кремниевого транзистора и составляет 0,5 – 0,7 В. Для обычного транзистора с большим коэффициентом h_{21E} , например КТ 3102Е или BC847С, величина этого напряжения еще конкретней – 0,62 В при комнатной температуре.

Возвращаясь к схеме принципиальной фотоусилителя, представленного на рис. 1, необходимо отметить, что подстроечный резистор RP1 используется для регулировки чувствительности извещателя, а цепочка элементов R13, C5, R14, C8 представляет собой частотный фильтр и делитель напряжения, который устанавливает частотную зависимость амплитуды импульсов, при которой срабатывает выходной транзисторный каскад – компаратор. Так что на блок-схеме такой трехкаскадный фотоусилитель правильней было бы представлять тремя (см. рис. 6) или четырьмя (см. рис. 7) блоками.

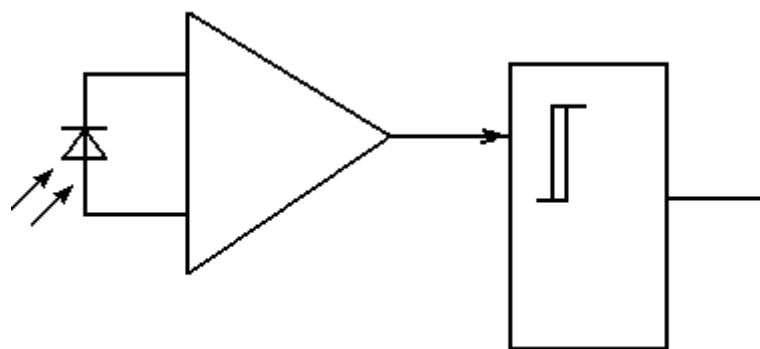


Рис. 6

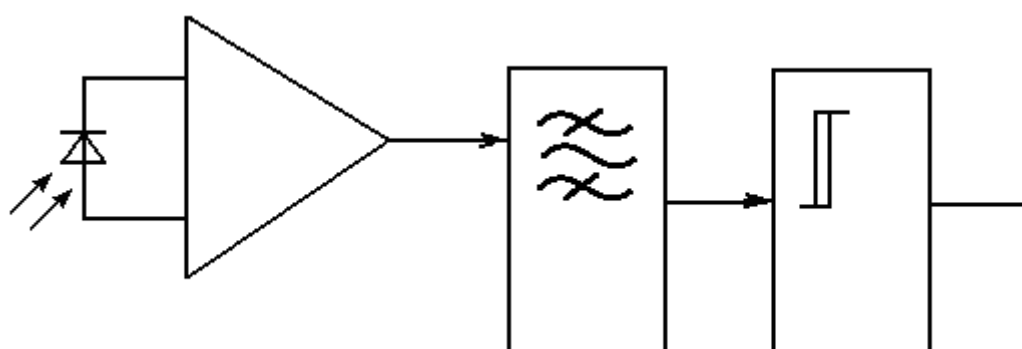


Рис. 7

Если провести аналогичный анализ схемы электрической принципиальной (см. рис. 8) фотоусилителя извещателя ИП 212-67 (ДИП-И), то можно увидеть, что первые два транзистора непосредственно связаны между собой и охвачены отрицательной термостабилизирующей связью. Такой усилитель широко известен, так как описан в учебнике по схемотехнике [8].

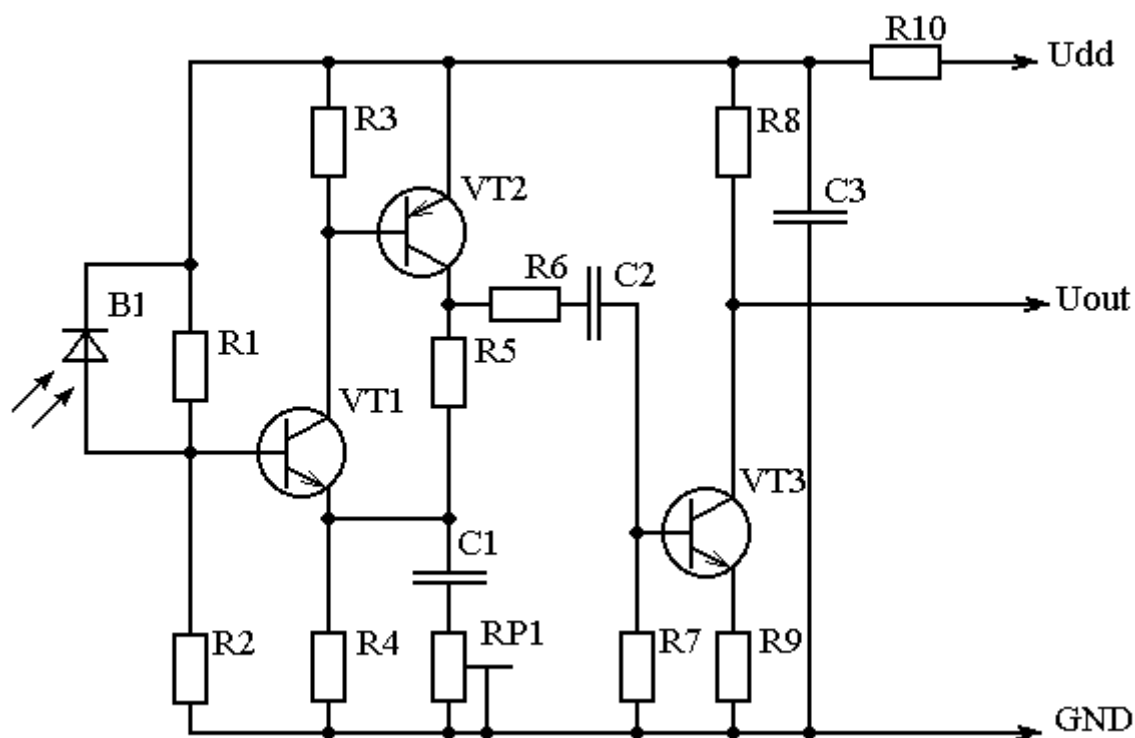


рис. 8

Можно рассматривать первый транзистор VT1 как усилитель, который усиливает падение напряжения между базой и эмиттером, в этом случае обратная связь передает на вход часть выходного напряжения и вычитает его из входного сигнала. В схеме есть небольшая хитрость: дело в том, что коллекторный резистор транзистора VT2 входит еще и в схему обратной связи.

На третьем транзисторе VT3 выполнен усилитель – дискриминатор, выполняющий функцию амплитудного компаратора. В отличие от транзисторного компаратора описанного выше здесь схема дополнена резистором R9, который термостабилизирует и этот каскад. Видимо благодаря значительной термокомпенсации фотоусилителя разработчик извещателя гарантирует его работу в расширенном температурном диапазоне от минус 25 до 55 °С. Однако этот каскад не согласован по выходному сопротивлению с аналоговым входом микроконтроллера и может быть подключен только к логическому входу PIC-контроллера.

Несколько иная схема фотоусилителя у микроконтроллерного извещателя ИП 212-87 – см. рис. 9. У этого усилителя только первый каскад усиления постоянно подключен к источнику электропитания. Два других каскада подключены к логическому выходу микроконтроллера, который подключает эти два каскада к питающему напряжению только на время необходимое для усиления импульса фотоответа, а все остальное время эти два каскада отключены. Такое динамическое питание фотоусилителя позволяет установить сопротивление резистора R9 таким, как этого требует техническое описание на микроконтроллер для аналоговых входов. Однако в этом случае напряжение питания фотоусилителя не может быть выше Udd – напряжения питания самого микроконтроллера. От величины питающего напряжения существенно зависит максимально возможный коэффициент

усиления, особенно при малых токах коллектора транзисторов. Интересным в этой схеме является и то, что VT2 участвует в двух контурах обратной термостабилизирующей связи. Первый с помощью резистора R2 и второй - с помощью резистора R9. При разработке временной диаграммы необходимо учитывать необходимые временные параметры и в первую очередь – временную задержку для упреждающего заряда конденсатора C3. Но ни одно, ни другое решение не были запатентованы производителем извещателя ИП 212-87, а так как с момента серийного производства изделия прошло более одного года, то раскрытие таких технических решений не нарушает ни чьих прав, из-за отсутствия самих объектов интеллектуальной собственности.

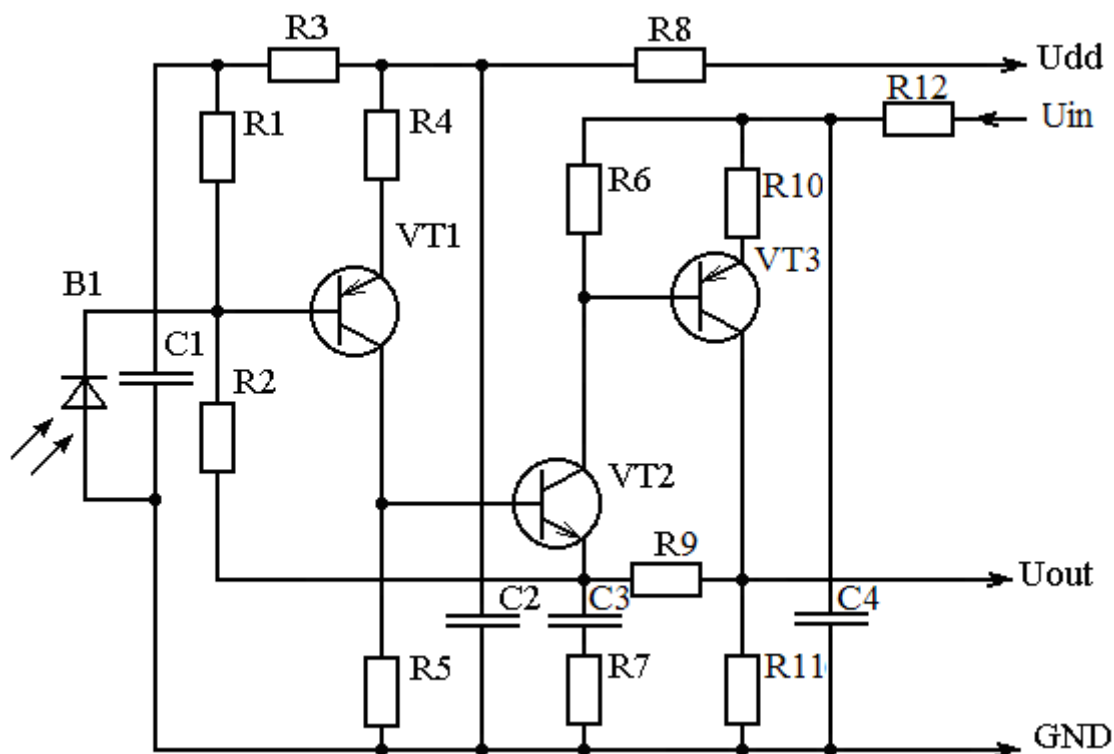


Рис. 9

Решением задачи согласования сопротивлений выходного каскада усилителя с аналоговым входом микроконтроллера, может служить схема усилителя, использованного в двухточечном извещателе ИП-2.4. Здесь обеспечивается условие, при котором напряжение питания усилителя будет заведомо больше напряжения питания микроконтроллера. В этом извещателе использовано изобретение по патентам Украины № 85273 [9] и Российской Федерации № 2356094 [10]. Принципиальная схема усилителя представлена на рис. 10. К выходу усилителя Uout подключен аналоговый вход микроконтроллера, а к входу Uin подключен логический выход этого же микроконтроллера.

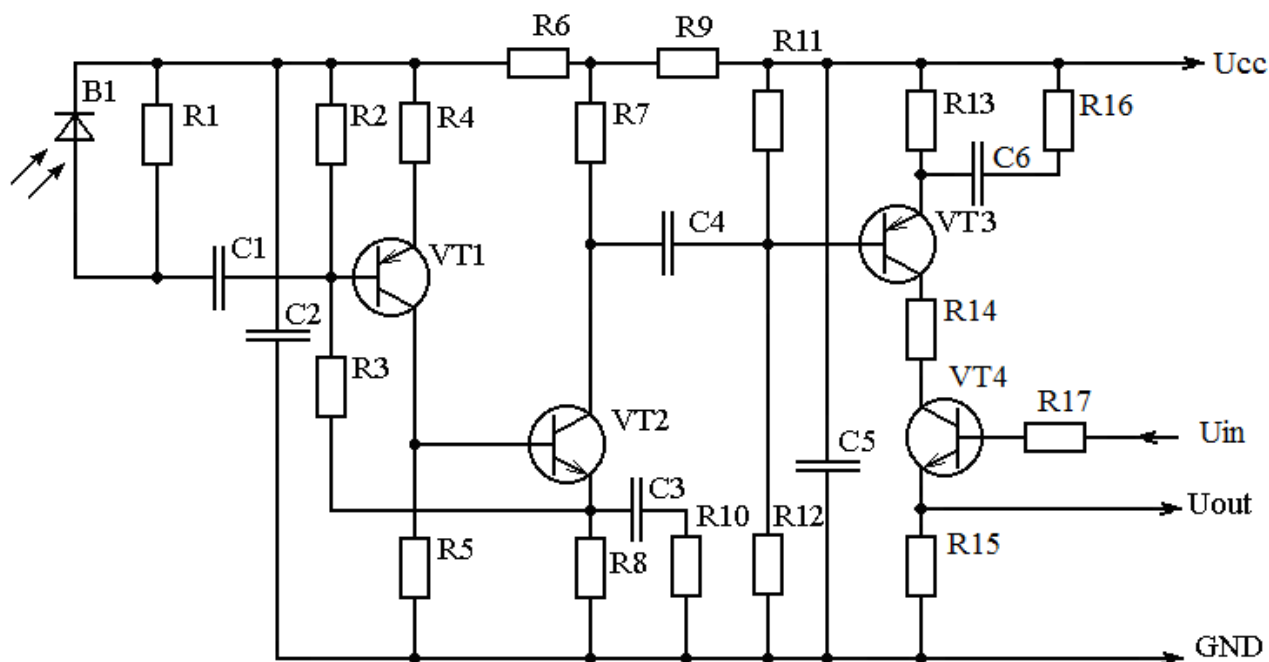


Рис. 10

После усиления двумя каскадами на транзисторах VT1 и VT2 сигнал через конденсатор C4 (фильтр высокой частоты) поступает на базу транзистора VT3. Нагрузкой коллектора транзистора VT3 является резистор R15, сопротивление которого отвечает требованиям технической документации на микроконтроллер 1. Но подключение этой достаточно низкоомной нагрузки осуществляется по команде микроконтроллера в помощь транзисторного ключа VT4.

При низком уровне сигнала U_{in} на выходе микроконтроллера транзистор VT4 будет закрыт, потому будет разомкнута коллекторная цепь транзистора VT3. При высоком уровне сигнала на этом выходе микроконтроллера разрешается обработка сигнала на аналоговом входе микроконтроллера. Сигнал, который поступает на этот вход микроконтроллера, будет существенно зависеть от оптической плотности воздуха в месте расположения извещателя. Так при абсолютной прозрачности воздуха на резисторе R15 будет присутствовать фоновый сигнал: импульсы малой амплитуды. По мере увеличения оптической плотности воздуха будет увеличиваться и амплитуда импульсов на резисторе R15. Пока амплитуда этих импульсов не достигнет установленного предельного значения, состояние на выходах микроконтроллера не будет изменяться. Извещатель будет оставаться в дежурном режиме работы, потребляя от шлейфа пожарной сигнализации ток, величина которого будет ограничена. Если в дежурном режиме работы на выходе усилителя будет иметь место значительный уровень хаотического сигнала, который стал следствием значительных электромагнитных помех, то анализ такого сигнала будет проводиться только во время действия высокого уровня напряжения U_{in} на выходе микроконтроллера. В другое время транзистор VT4 будет закрыт, и потому не будет проходить разряд второго конденсатора C5 через цепь низкого импеданса коллекторной цепи транзистора VT3 и резистора R15. Тем самым обеспечивается низкое потребление тока усилителем, когда коммутируется только выходная низкоимпедансная цепь, а не напряжение питания всего усилителя, которое заведомо больше напряжения питания микроконтроллера. Кроме того, такой

усилитель содержит нечетное количество инвертирующих каскадов усиления, что позволяет ему обеспечивать устойчивую работу при большом коэффициенте усиления.

На четырех транзисторах выполнен фотоусилитель широко известного российского извещателя ИП 212-3СУ, схема которого приведена на рис. 11. Так как выход усилителя этого извещателя подключен к D-входу сдвигового регистра, то последний каскад этого усилителя не содержит новой для нас информации и повторяет решение, представленное на рис. 4. Двухтранзисторный каскад с непосредственными связями на VT8 и VT9 мало чем отличается от усилителя, приведенного на рис. 8. Кнопка КН1 используется для имитации срабатывания пожарного извещателя, например, при проведении приемо-сдаточных испытаний системы пожарной сигнализации. При ее нажатии извещатель переходит в состояние пожарной тревоги, но при этом не проверяется работоспособность оптического сенсора дыма. Реальным отличием этой схемы является использование согласователя сопротивления на биполярном транзисторе VT1, который конструктивно выполнен в непосредственной близости к фотодиоду. Фотография такой микросборки представлена на рис. 12.

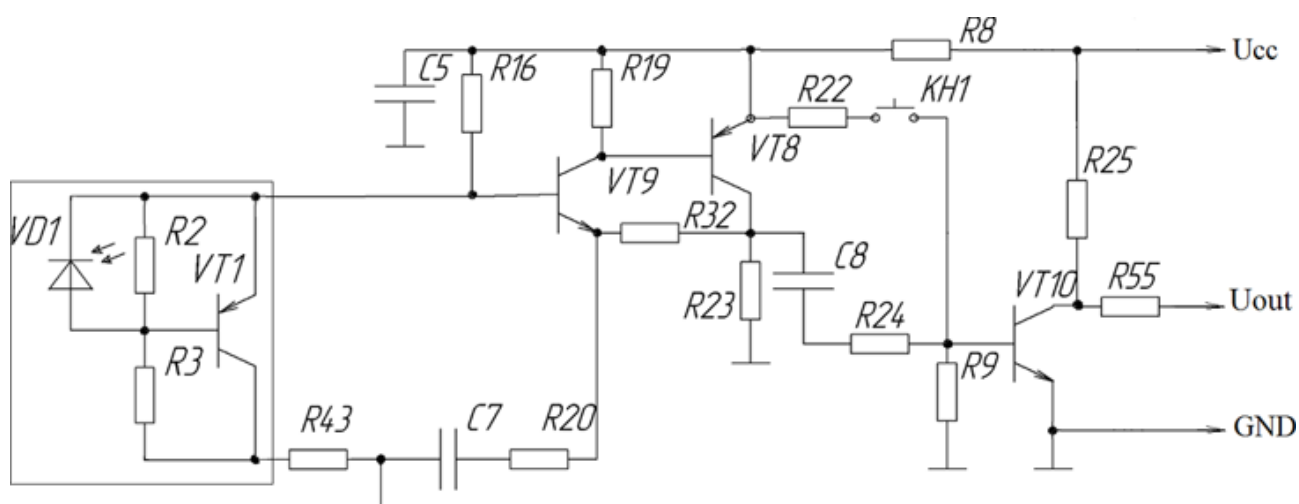


Рис. 11



Рис. 12

Благодаря использованию такой конструкции обеспечиваются минимальные размеры проводников обеспечивающих связи фотодиода с входными цепями каскада согласования сопротивления на транзисторе VT1. Таким образом, будут обеспечены минимальные наводки сигналов помехи. А более длинные входные цепи базы транзистора VT9 имеют уже на порядок меньшее сопротивление.

Это техническое решение не нашло своего отражения в объектах интеллектуальной собственности обеих производителей извещателя ИП 212-ЗСУ, хотя и ЗАО ИРСЭТ, и ООО ИРСЭТ уделили должное место патентованию механических отличий своих изделий. А так как изделие уже производится серийно более одного года, то использование такого усилителя в извещателе ЗСУ может быть противопоставлено тому, кто теперь попытается заявить в патентном ведомстве его применение.

В импортных извещателях также применяются транзисторные усилители, но обычно они содержат большее количество элементов. Так пятикаскадный усилитель, представленный на рис. 13, заимствованный из американских патентов US 5670948 и US 5872517, о которых говорилось в части 1.4 [11] настоящей публикации, применяется в извещателе DE 338-2L фирмы DEFENCE.

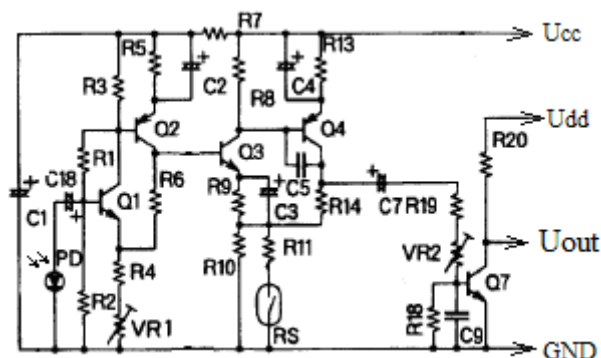


Рис.13

В извещателе FEON 2000 фирмы ZETA усилитель отличается от предыдущей схемы только одним элементом – конденсатором C8 (см. рис. 14), который выполняет интегрирующую функцию.

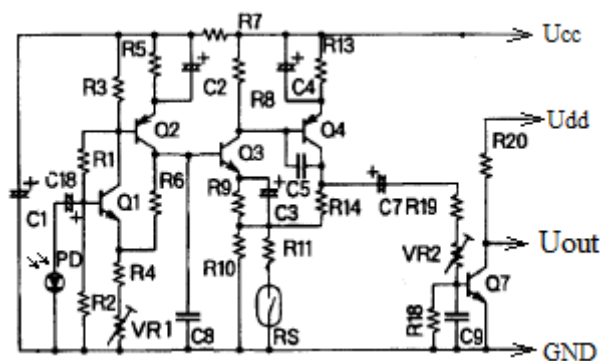


Рис. 14

Фотодиод PD подключен к такому усилителю в фотовольтаическом режиме без нагрузочного резистора. Так как внутреннее сопротивление фотодиода меняется от уровня оптического сигнала и при его отсутствии будет иметь максимальное значение, то отсутствие резистора нагрузки фотодиода не будет способствовать повышению помехоустойчивости извещателя и необходимо предпринимать меры по экранировке входных цепей фотоусилителя.

Такие усилители содержат по две пары неинвертирующих каскадов и инвертирующий компаратор (усилитель-дискриминатор). Геркон RS используется для проверки работоспособности извещателя. При его замыкании увеличивается коэффициент усиления в необходимое количество раз, чтобы сработка извещателя осуществилась от фоновой оптической сигнала, поступающего на фотодиод PD даже в чистом воздухе. Таким образом, осуществляется проверка оптико-электронного дымового сенсора, а не только выходного каскада извещателя.

Пятитранзисторный усилитель, приведенный в патентах США № 6288647 и Великобритании № 2359621, отличается от представленных выше схем взаимными связями между каскадами. Как видно из рис. 15, первые три транзистора Q7 – Q9 образуют инвертирующий усилитель, охваченный отрицательной частотно зависимой обратной связью выполненной на элементах: R24, R20, C8, C9, R22, R23, C10, R21.

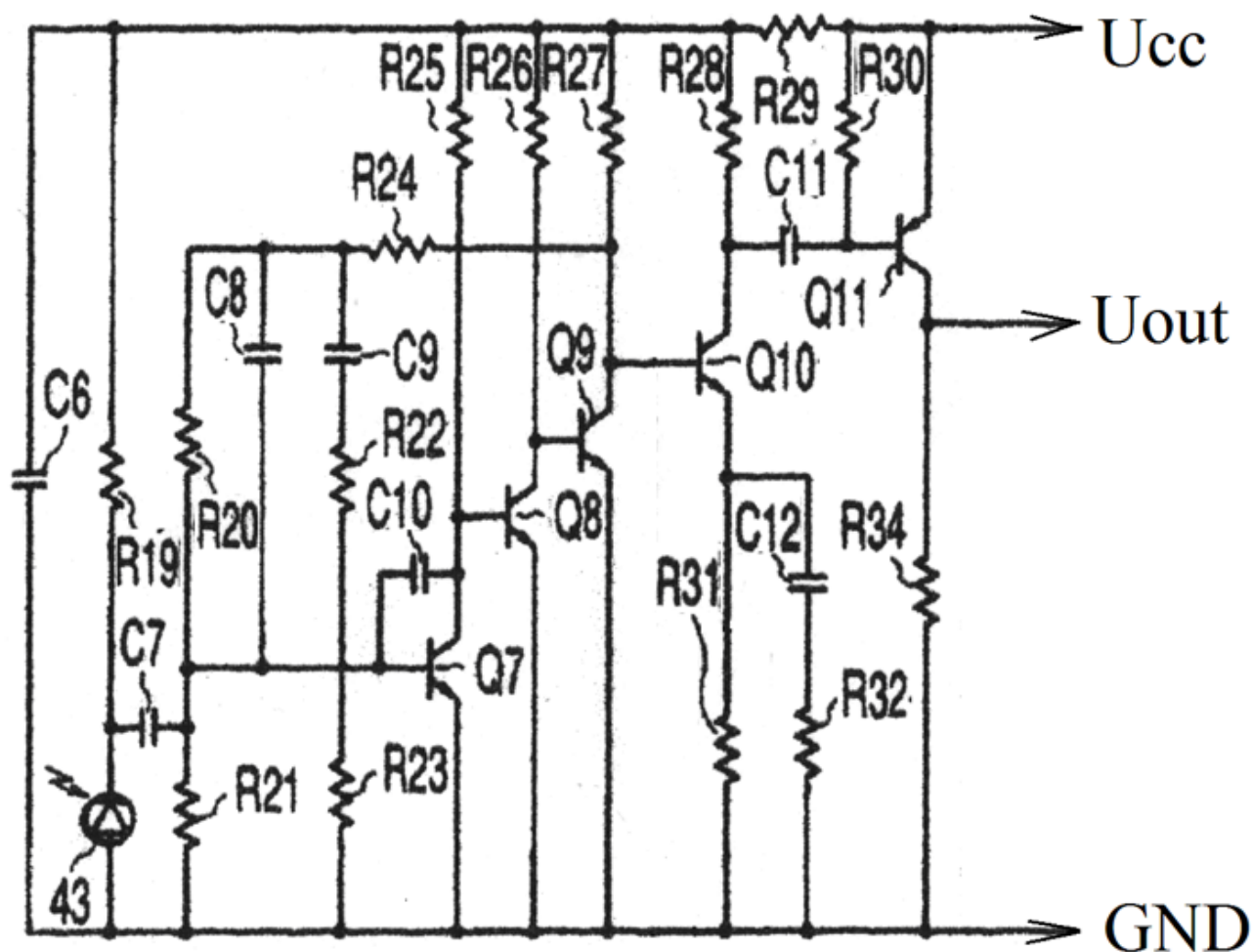


Рис. 15

Последующий каскад, выполненный на транзисторе Q10, представляет собой классическую схему, в которой смещение напряжения на базе обеспечивается предыдущим каскадом усиления. Последний каскад на транзисторе Q11 выполняет функцию компарирования и также выполнен по классической схеме - единственное отличие от ранее рассмотренных схем является то, что выполнен этот каскад на p-n-p транзисторе.

Применение активного полосового фильтра в этом фотоусилителе делает его избирательным, а значит более помехоустойчивым.

Видимо это обстоятельство способствовало тому, что в извещателе Q01-3 тайваньской фирмы HORING LIN INDUSTRIAL использовался именно такой усилитель. Схема, срисованная с образца такого извещателя, выпущенного в конце 2011 года и сертифицированного в Европе, представлена на рис. 16. Как видно из представленных схем, различий между ними немного:

- использование двух типов конденсаторов для фильтрации напряжения питания первого каскада усиления: электролитического C1 – для низкочастотных пульсаций и керамического C2 – для высокочастотных пульсаций;
- отделение питания каскада на транзисторе VT4 от первого трехтранзисторного каскада;
- введение переменного резистора RP1 для настройки чувствительности извещателя.

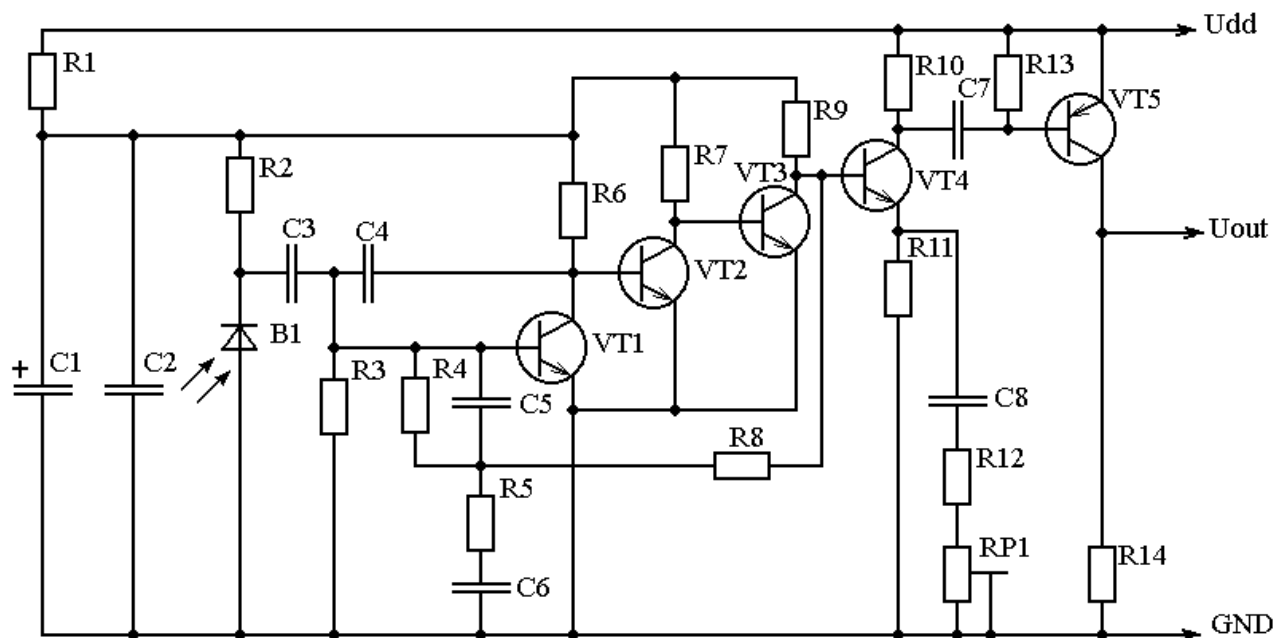


Рис. 16

Дальнейшее увеличение количества транзисторов вряд ли повысит качество фотоусилителя для оптического пожарного извещателя. Три инвертирующих каскада вполне достаточно для того, чтобы получить необходимый диапазон значений коэффициента усиления. Учитывая тот факт, что разброс

передаточной характеристики оптоэлектронных компонентов в оптическом пожарном извещателе превышает 4 раза, то необходимо так создавать усилитель, чтобы с его помощью компенсировать этот возможный разброс параметров и обеспечить выпуск извещателей с практически одинаковой и высокой обнаружительной способностью дыма, как определяющего фактора пожара.

Дальнейшее совершенствование фотоусилителей пошло с применением интегральных операционных усилителей и этому будет посвящена следующая часть публикации.

Литература:

1. Баканов В. "Дымовые оптико-электронные точечные пожарные извещатели. Основные схемные решения. Часть 2.1. Фотоусилители на транзисторах", <http://daily.sec.ru/authorpbls.cfm?aid=561>
2. Исаков Ю. А. и др. "Основы промышленной электроники" К. Техніка, 1976, с. 145
3. Транзисторные усилители низкой частоты. Усилители мощности. <http://lessonradio.narod.ru/amplifier.htm>
4. Расчет транзисторного усилителя по схеме с общим эмиттером, <http://xreferat.ru/38/2320-1-raschet-tranzistornogo-usilitelya-po-sheme-s-obshim-emitterom.html>
5. Усилитель напряжения на биполярном транзисторе, <http://xreferat.ru/38/82-1-usilitel-napryazheniya-na-bipolyarnom-tranzistore.html>
6. 6 Дискриминаторы, http://studopedia.net/2_32785_diskriminatori.html.
7. Баканов В. "Дымовые оптико-электронные точечные пожарные извещатели. Основные схемные решения. Часть 1.1. Блок-схемы" <http://daily.sec.ru/2014/04/21/Dimovie-optiko-elektronnie-tochechnie-posharnie-izveshateli-Osnovnie-shemnie-resheniya-CHast-11-Blok-shemi.html>
8. Хоровиц П., Хилл Л. У. Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т.1. Пер. с англ. - 4-е изд., перераб. и доп.-М.: Мир, 1993, с. 255 http://alnam.ru/book_shem1.php?id=119
9. <http://uapatents.com/4-85273-dimovijj-pozhezhniji-spovishhuvach.html>
10. <http://www.findpatent.ru/patent/235/2356094.html>
11. Баканов В. «Дымовые оптико-электронные точечные пожарные извещатели. Основные схемные решения. Часть 1.4. Блок-схемы» <http://daily.sec.ru/2014/06/24/Dimovie-optiko-elektronnie-tochechnie-posharnie-izveshateli-Osnovnie-shemnie-resheniya-CHast-14-Blok-shemi.html>