

РАДИОГАЗЕТА

Оглавление

Быть или не быть?	1
Быстройдействие.....	7
Надёжность.....	13

Всё, что вы хотели знать о защите акустических систем, но боялись спросить (часть первая)

Быть или не быть?



Неотъемлемой частью современного **усилителя мощности** является **устройство защиты акустических систем (АС)**. Это неудивительно, если учесть, что стоимость современных топовых АС достигает 1 млн. рублей и более. Если такие колонки сгорят, то будет немного жаль...

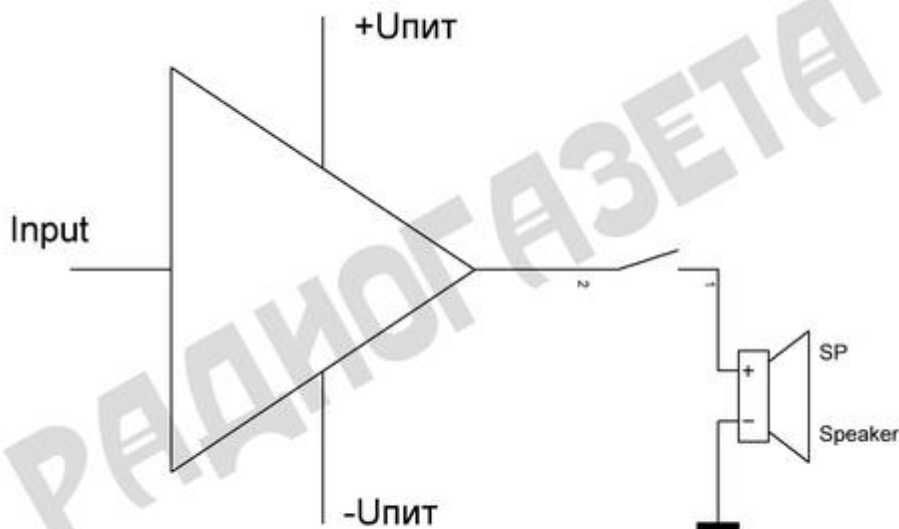
В радиолюбительской практике при сборке и настройке усилителя мощности **система защиты АС** также лишней не будет, чтобы после настройки не пришлось покупать новые колонки.

В Интернете и радиотехнических изданиях можно найти массу разнообразных схем подобных устройств. Давайте попробуем выяснить, какой должна быть эта система, какую схему выбрать или как доработать имеющуюся.

Начнём с гамлетовского вопроса: **быть или не быть?** Насколько необходимо и целесообразно применение системы защиты акустических систем в современных **усилителях мощности**?

В большинстве случаев в устройствах защиты АС применяются **электрохимические реле** (о твердотельных реле поговорим **позже**), и колонки подключаются к выходу усилителя через контактную группу этих реле. Ну и отключаются в случае возникновения внештатной ситуации. Есть мнение, и оно подтверждено экспериментами Николая Сухова (того самого автора **усилителя высокой верности**), что контакты реле имеют большую

нелинейность и пропускать через них, такой дорогой уху любого аудиофила, **звуковой сигнал** есть зло:

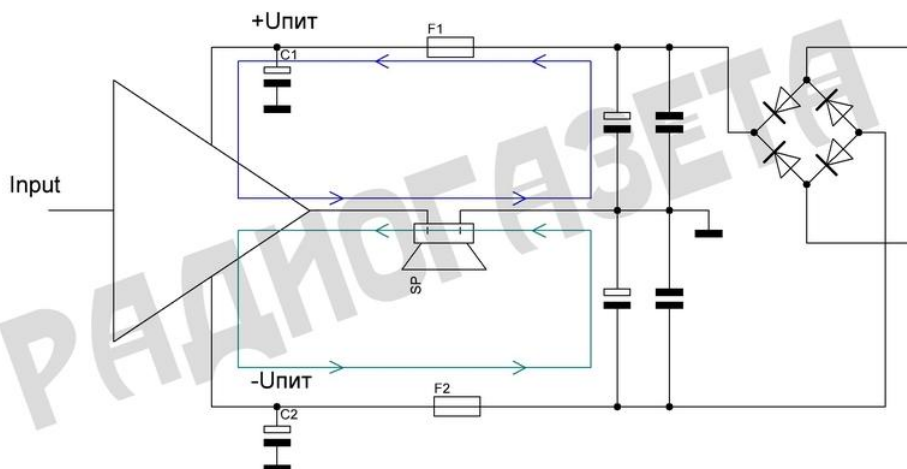


Чтобы избежать этого, у нас как и в случае, если нас съели, есть два выхода.

1. Отказаться от системы защиты совсем. Так сделано в известном усилителе **AUDIOMANIAC AMP NO. 1** (на микросхеме **LM3886**), чтобы не портить «запредельные» параметры по линейности. Но эксплуатировать такой усилитель я бы рискнул, только предварительно помолясь тем богам, в которых верю. Хотя в подобных микросхемах и встроена защита от перегрева, короткого замыкания и т.д., как показывает практика, к примеру, TDA2003 я сжигал просто «на ура»!

Если ваши колонки стоят приличных денег (именно для вас), то подключать их к усилителю без защиты как-то неразумно.

2. использовать другие, альтернативные способы защиты. Часто в усилителях вместо **системы защиты АС** авторы используют **предохранители**. Причём встречаются два способа их включения:



Предохранители включены между блоком питания и усилителем мощности. С первого взгляда кажется, что предохранители исключены из пути прохождения сигнала. Однако, если вспомнить, что сигнал замыкается через [блок питания](#), этот миф легко рассеивается.

В таком варианте на пути сигнала встречается аж **два нелинейных элемента** — предохранители в положительной и отрицательной шинах питания.

В том, что предохранители являются очень **нелинейным элементом**, можете не сомневаться!

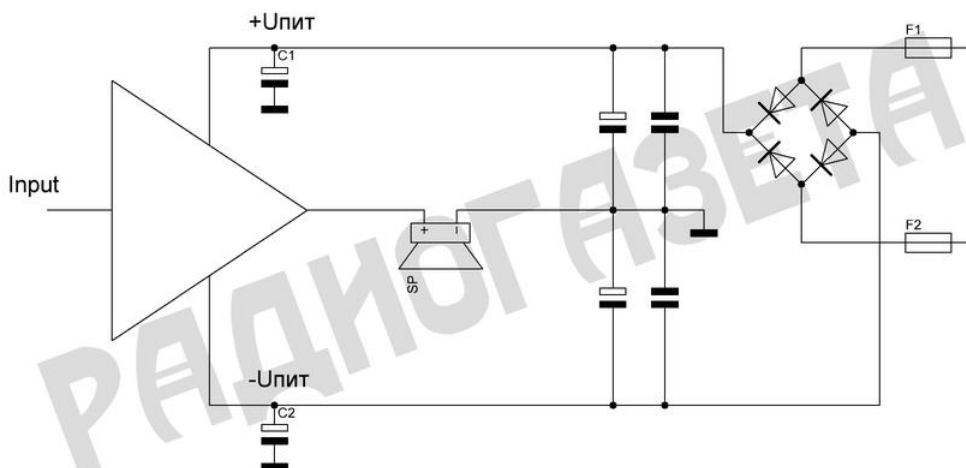
Во-первых, проводники в **выходных каскадах** и в **блоке питания** из-за работы с **большими токами** стараются сделать как можно толще. А проволочная нить в предохранителе весьма тонкая — на лицо явное противоречие. Даже её незначительное сопротивление при больших токах создаёт заметные потери.

Во-вторых, для повышения надёжности такой защиты надо выбирать предохранитель рассчитанный на ток близкий к рабочему. На пиках сигнала нить предохранителя будет нагреваться (сопротивление растёт), на малых сигналах остывать (сопротивление снижается). Помимо такой **нелинейности**, работа в режиме теплового стресса приводит к быстрому старению предохранителя и выходу его из строя (металл устает от постоянных изгибов нити, вызванных изменением её температуры), что снижает надёжность устройства в целом.

Установка предохранителя на больший ток (с более толстой нитью) снижает **эффективность защиты**.

Кстати, из приведенной выше схемы (пути **звукового сигнала** показаны стрелочками) становится понятно, почему такие усилители как **фолловер Чуффоли** или **усилители Zen'a** отлично звучат, хотя и **не** являются усилителями постоянного тока, и в них присутствуют **разделительные конденсаторы**.

Второй вариант: установка предохранителей перед **блоком питания**:



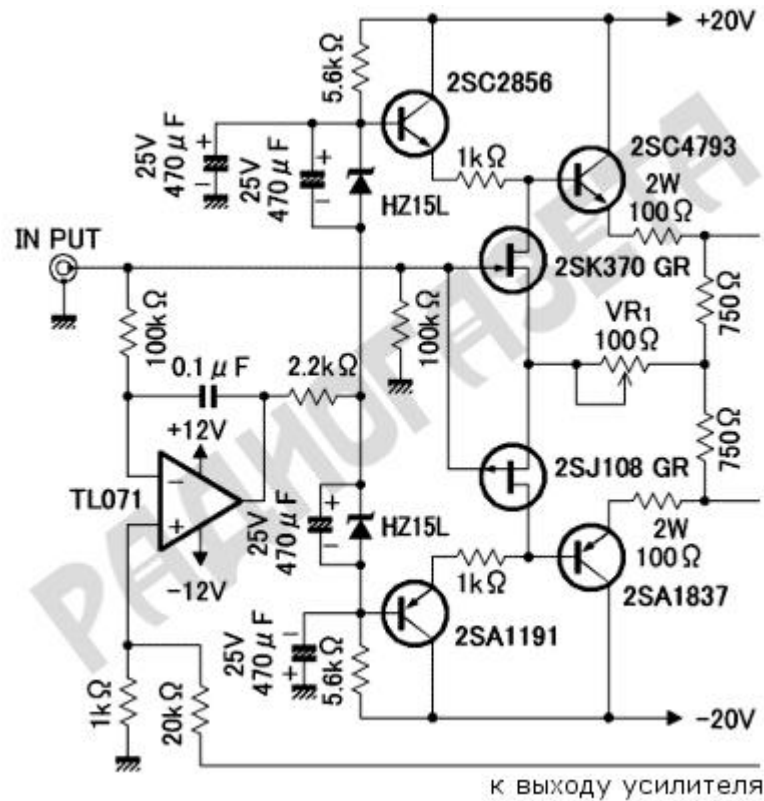
И если здесь нить предохранителя исключается из цепи прохождения сигнала, то вторая проблема — обеспечение **надёжности защиты**, остаётся. Как показывает практика, заряда в **конденсаторах фильтра питания** (у качественного усилителя мощности ёмкость фильтра может достигать сотен тысяч микрофарад) вполне достаточно, чтобы сжечь гораздо больше, чем одну колонку.

По сути такое включение больше защищает силовой трансформатор и выпрямитель от нештатных ситуаций в блоке питания и усилителе.

Кроме того, предохранители имеют **время срабатывания** на порядок больше, чем современные электромеханические реле. А в случае возникновения критической ситуации время реагирования системы защиты играет решающую роль!

В обоих случаях предохранители **не защитят** от появления **на выходе усилителя** повышенного **постоянного напряжения**, вызванного воздействием на входе усилителя. Сейчас большинство усилителей строится по схеме **усилителей постоянного тока** (как говорится, лучший разделительный конденсатор — это его отсутствие), поэтому появление по каким-либо причинам на входе усилителя постоянного напряжения приведёт к появлению постоянного напряжения на выходе усилителя больше в К раз (К-коэффициент усиления вашего усилителя). Скажите «прощай» вашим колонкам!

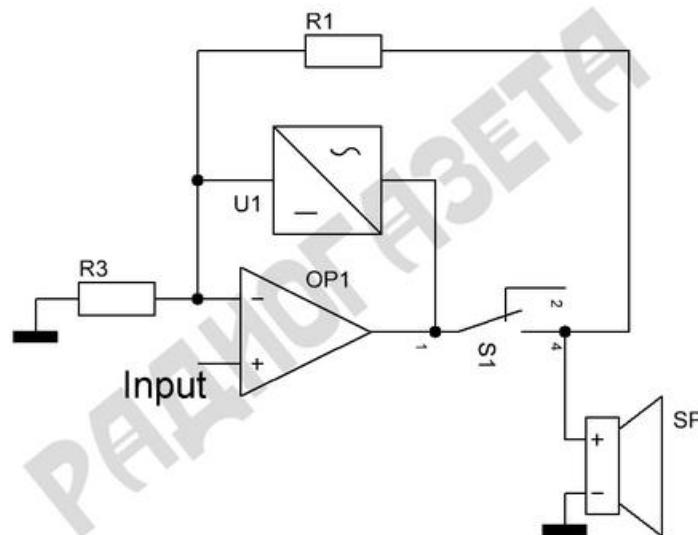
Вариант защиты от появления постоянного напряжения (в разумных пределах) на входе усилителя предложили японские радиолюбители:



В современных усилителях для поддержания нуля на выходе часто используются **интеграторы** (хотя есть мнение, что они тоже портят звук. Просто надо уметь их готовить.). В приведенной схеме интегратор следит не только за выходным, но и за входным напряжением, и смещает режимы входных каскадов для компенсации этих напряжений.

Конечно, насколько целесообразно отказываться от классических методов защиты акустических систем каждый решает для себя сам. Между тем, компенсировать **нелинейность контактов реле** можно довольно просто.

Не знаю, кем был придуман метод, но мне он впервые встретился всё в том же **усилителе высокой верности** Н. Сухова. Упрощенная схема показана на рисунке:



Суть компенсации сводится к тому, чтобы контакты реле включить в цепь **общей отрицательной обратной связи (ОООС)** по переменному току. Интегратор U1 нужен, чтобы даже при разомкнутых контактах реле действовала обратная связь по **постоянному току** и усилитель всегда находился в нормальном режиме.

Эффективность данного метода подтверждают измерения — коэффициент гармоник усилителя «неприлично» низкий, качество звучания — на высоком уровне и данный метод прижился во всех последующих модификациях этого усилителя.

Если наличие **интегратора** вас всё же смущает, можно придумать, как обойтись и без него.

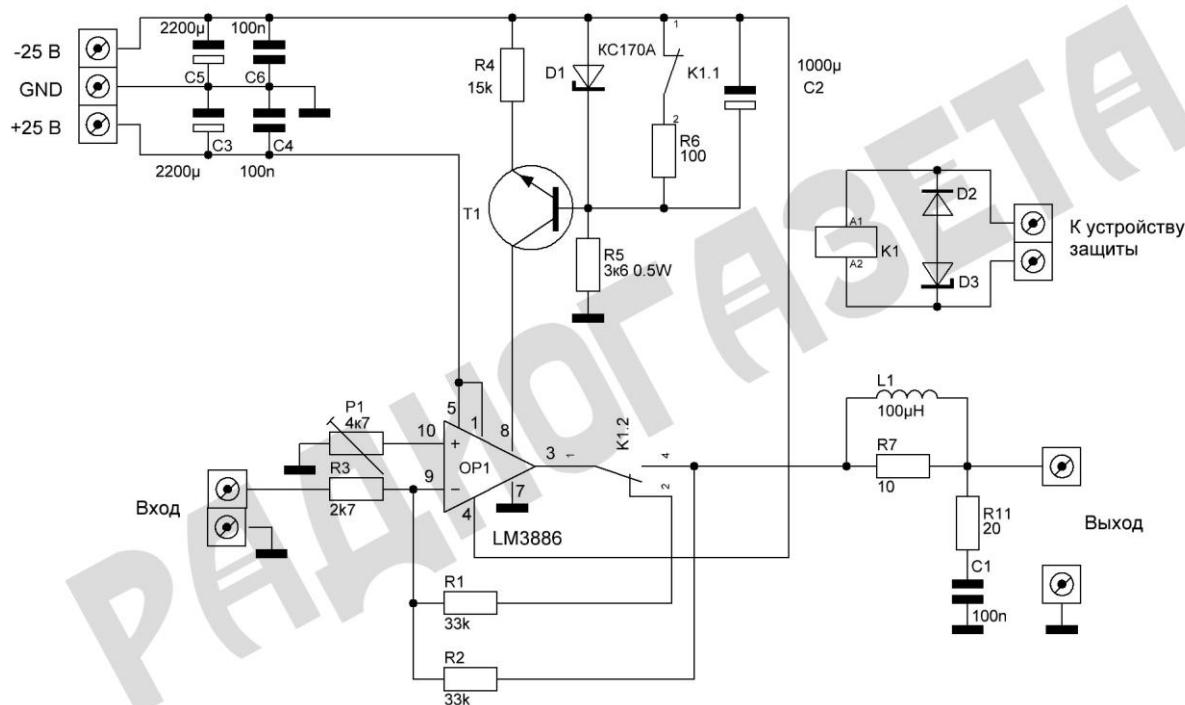
Главный редактор вашей (надеюсь) любимой «[РадиоГазеты](#)», глядя на упомянутый выше усилитель **AUDIOMANIAC AMP NO. 1**, не решился повторять его без системы защиты. Но чтобы не ухудшать параметры усилителя решено было как-то компенсировать нелинейность контактов реле...но без интегратора.

Что мы имеем применительно к микросхеме LM3886 в плане максимизации качества звучания?

За долгие годы использования этой микросхемы в радиолюбительских конструкциях было выявлено, что микросхема лучше всего звучит:

1. при инвертирующем включении (реализовано в **AUDIOMANIAC AMP NO. 1**),
2. при напряжении питания $\pm 25\text{V}$ (реализовано в **AUDIOMANIAC AMP NO. 1**),
3. при коэффициенте усиления 12-16 (реализовано в **AUDIOMANIAC AMP NO. 1**),
4. при питании 8-го вывода микросхемы от **генератора стабильного тока** (почему-то не реализовано в **AUDIOMANIAC AMP NO. 1**).

Последний пункт поможет нам обойтись без интегратора:



До подключения динамиков к выходу усилителя цепь общей ООС замкнута через **резистор R1**. Этот резистор нужен на самый крайний случай, потому как в таком режиме контакты реле K1.1 замкнуты, источник тока (на транзисторе T1) выключен, из-за чего микросхема находится в режиме «MUTE», т.е. по сути выключена.

При подключении колонок (срабатывает реле, контакты K1.2 переключаются) общая ООС замыкается через **резистор R2**, и контакты реле оказываются охвачены цепь ООС для компенсации их нелинейности. Контакты K1.1 размыкаются, включается генератор тока и микросхема переходит в рабочий режим.

Цепь общей ООС оказывается разомкнутой только на время пролета контактов K1.2 (по сути время срабатывания реле, т.е. 10-20 мсек.). Что само по себе не сильно критично, НО! Конденсатор C2 обеспечивает задержку включения микросхемы на 0,5-1 сек, что вполне достаточно для надёжного срабатывания реле.

Усилитель включается бесшумно — без щелчков и посторонних звуков.

Недостатком такой реализации можно считать некоторое усложнение схемы, задействованы две пары контактов реле и для каждого канала усилителя придётся использовать отдельное реле.

Из всего вышеизложенного следует вывод, что **защите акустических систем** следует всё же **БЫТЬ** в современных усилителях мощности. И колонки будут целее, и пользователям спокойнее. Негативное влияние контактов реле на звук при желании можно **компенсировать**.

О том, какой должна быть система защиты АС поговорим в следующий раз.

Всё, что вы хотели знать о защите акустических систем, но боялись спросить (часть вторая)

Быстродействие.



Мы уже выяснили в [первой части](#), что система защиты акустических систем в современном **усилителе мощности** быть должна и определились с требованиями, предъявляемыми к подобным системам.

Одно из основных требований — это **быстродействие**. При любом потенциально опасном для колонок воздействии они должны быть отключены от выхода усилителя мощности как можно быстрее.

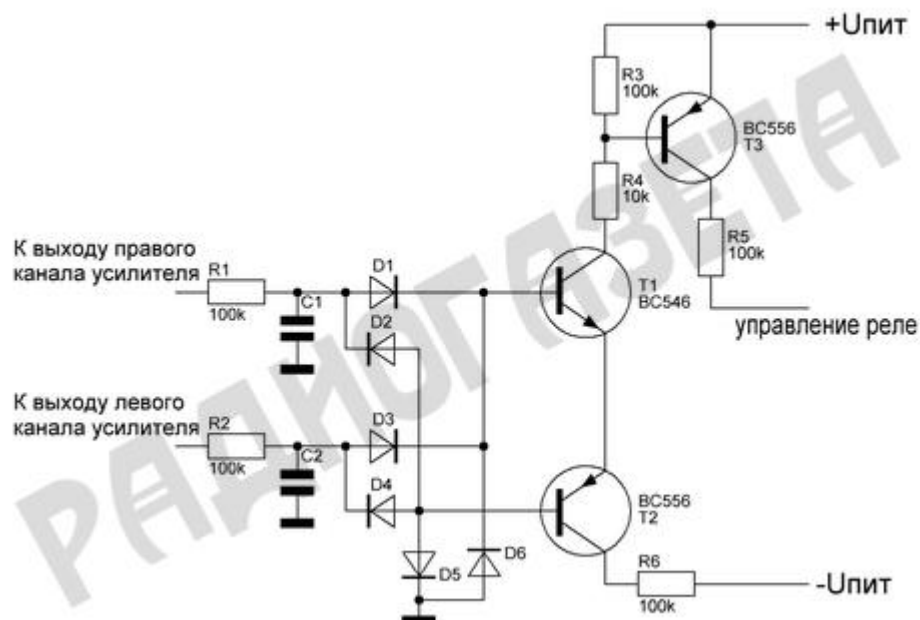
Рассмотрим систему защиты последовательно: от входа до выхода (реле), и определим, как различные узлы системы влияют на её быстродействие.

На входе системы защиты акустических систем для выделения из звукового сигнала постоянной составляющей обычно устанавливается **фильтр низкой частоты (ФНЧ)**.

Чтобы оптимизировать быстродействие системы защиты и в тоже время исключить **ложные срабатывания** необходимо определить верхнюю граничную частоту **ФНЧ**. На практике для однополосных систем предел в 20Гц вполне достаточен и обеспечивает **минимальную задержку** в 25 мс. Для реального звукового сигнала из-за несимметричности полувольт на более высоких частотах большей задержки не требуется. Кроме того, в широкополосных акустических системах средне- и высокочастотные динамики чаще всего подключаются через конденсаторы фильтров кроссовера, которые обеспечивают их дополнительную защиту от постоянной составляющей.

Для систем bi-amping или tri-amping придётся использовать несколько систем защиты, пересчитав номиналы элементов ФНЧ для повышения быстродействия системы и надёжной защиты более чувствительных к постоянной составляющей СЧ- и ВЧ-динамиков.

В качестве ФНЧ обычно используется простой однозвенный фильтр с наклоном характеристики 6 дБ/октаву. Может показаться, что лучше более сложные фильтры: двух или трёхзвенные. Но, как показали эксперименты, с ними быстродействие системы защиты получается хуже, т.к. обеспечивая лучшую фильтрацию высоких частот, они хуже (с большей задержкой) выделяют постоянную составляющую сигнала.

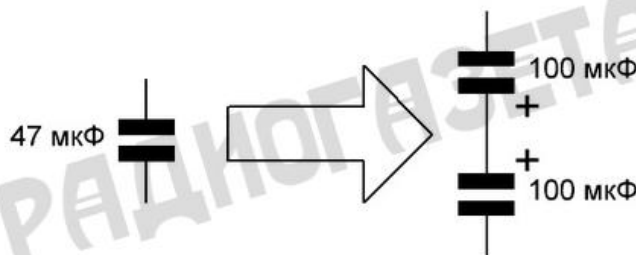


В таблице приведены значения ёмкости конденсатора фильтра для использования системы защиты с различными системами усиления: широкополосными, bi-amping, tri-amping и с различными частотами разделения для многополосных систем:

Частота (Гц)	Номинал C1, C2 (неполярный)
широкополосная	10 мкФ
100	1 мкФ
300	330 нФ
1000	100 нФ
3000	33 нФ

Резистор (R1 и R2) во всех случаях используется на 100 кОм.

Не следует использовать в качестве конденсатора C1 **полярные электролитические конденсаторы**, потому как даже небольшое напряжение обратной полярности часто приводит их к выходу из строя, что снижает надёжность системы. Если есть проблемы с неполярным электролитическим конденсатором, то его легко можно заменить двумя полярными, включив их по представленной схеме:

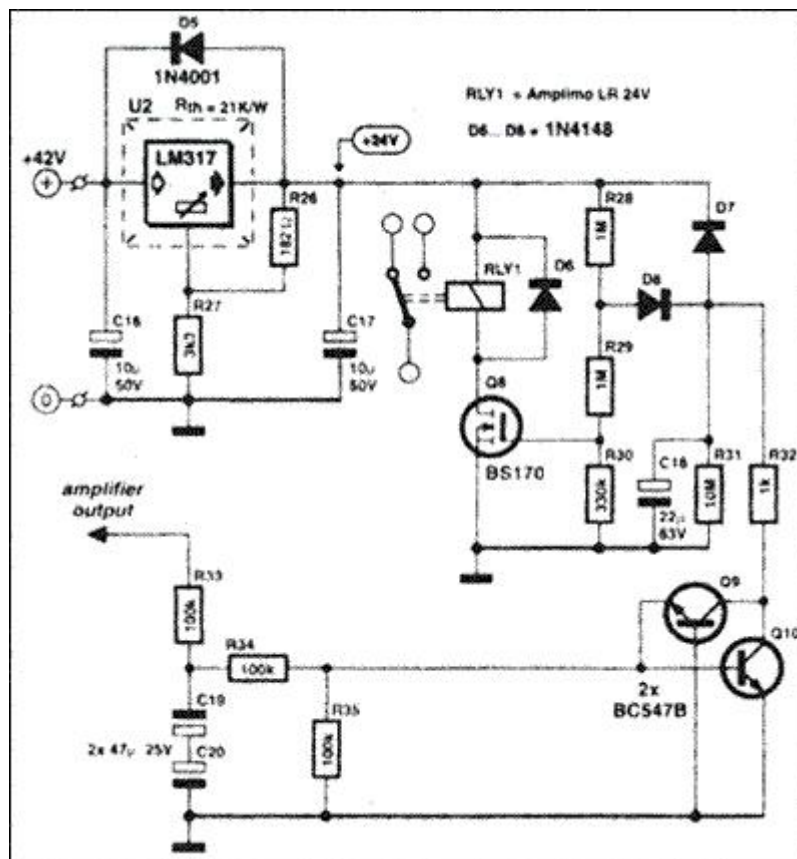


Если с некоторыми типами музыки на большой громкости будут наблюдаться **ложные срабатывания** системы защиты, то ёмкость конденсатора фильтра придётся увеличить. Но максимум до 47мкФ иначе время задержки будет недопустимо велико.

Следующий элемент влияющий на быстродействие системы — детектор напряжения. Именно он определяет **порог срабатывания системы**. Разумеется, чем ниже порога срабатывания, тем мы имеем более быстродействующую систему.

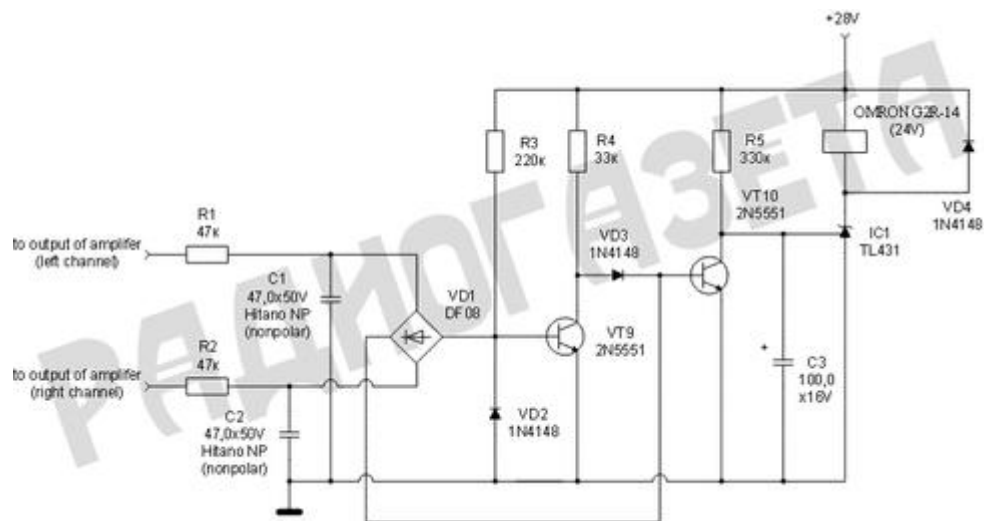
Рассмотрим несколько типовых схем детекторов.

Довольно типичная схема даже для промышленных аппаратов:

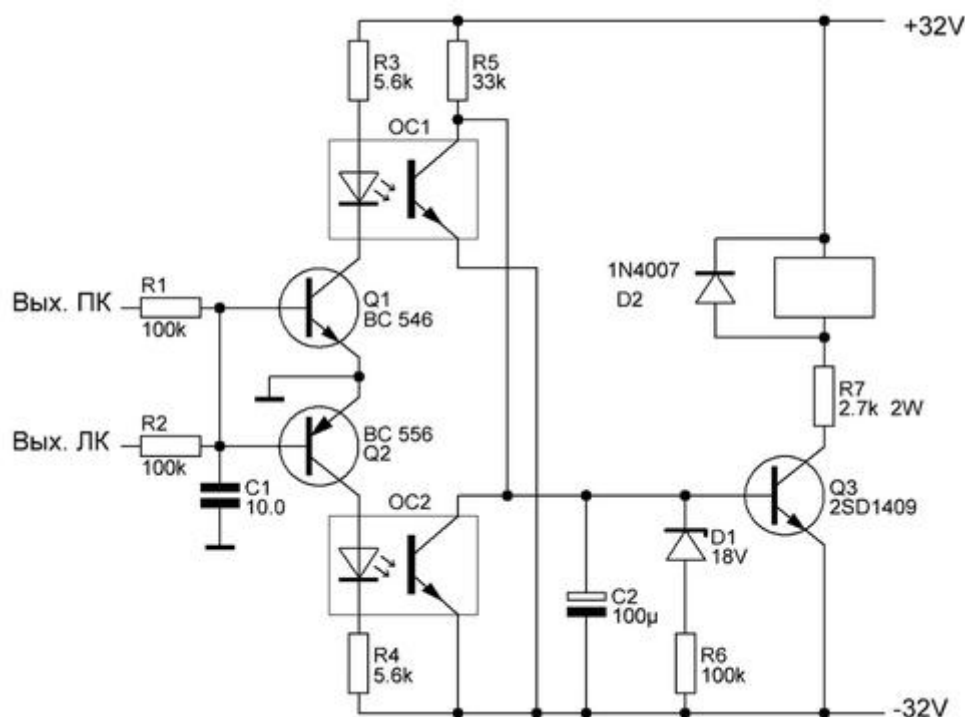


При тестировании схема показала надёжное срабатывание при положительном напряжении на входе порядка 0,8-1В и отрицательном напряжении свыше -4В. Если для положительного напряжения порог срабатывания хороший, то для отрицательного напряжение полученное значение оставляет желать лучшего.

Другая схема, довольно популярная на просторах Рунета показала примерно аналогичные результаты:



Не буду утомлять вас описанием всех исследованных схем. Приведу пример схемы, которая показала очень хорошие результаты — одинаковые значения напряжения срабатывания (порядка 0,7В) для положительного и отрицательного входных напряжений:



Увеличение по клику

Кроме того данная схема обеспечивает задержку подключения акустических систем после включения усилителя и отключение акустических систем при пропадании любого из напряжений питания усилителя.

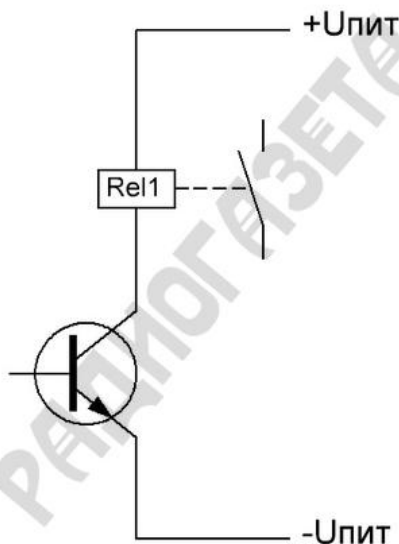
В качестве оптронов здесь отлично работают оптроны PC817 из компьютерных блоков питания. Такие же (или аналогичные) оптроны можно найти в блоках питания мониторов, DVD-проигрывателях и даже зарядках для мобильных телефонов и смартфонов.

Следующий способ повышения быстродействия системы защиты довольно экзотический, так как в радиолюбительских конструкциях практически не встречается (из-за некоторого усложнения схемы). Способ состоит в снижении **напряжения на катушке реле** после её срабатывания. Дело в том, что указанное на реле напряжение — это напряжение срабатывания. Большинство современных реле позволяют **после замыкания контактов** снизить напряжение на катушке в 2-3 раза. При этом контакты останутся по-прежнему надёжно замкнуты, а время отпускания контактов (т.е. по сути время срабатывания

защиты) сократится в несколько раз. Но, как уже было сказано, такой способ требует усложнения схемы.

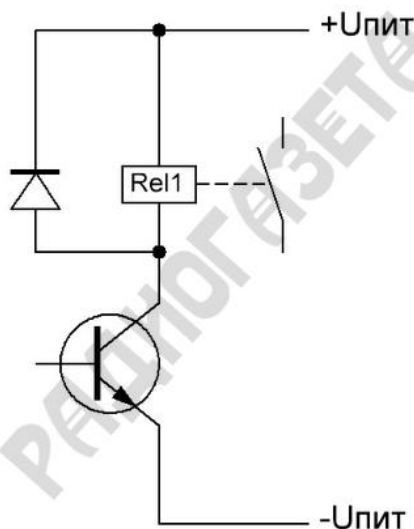
Следующий способ повышения быстродействия системы защиты достаточно простой, дешёвый, но почему-то так же редко встречается в практических конструкциях.

Сначала немного теории. Как известно, обмотка реле по сути является катушкой индуктивности из-за чего при подключении или отключении напряжения на её контактах в катушке возникает противо-ЭДС. Чтобы вы имели представление о величине противо-ЭДС приведу результаты экспериментов.



Для реле с относительно небольшой катушкой на 24 В (сопротивление обмотки было 730 Ом) напряжение противо-ЭДС, которое наводилось на обмотке при отключении составило **свыше 500В**. Понятно, что без принятия соответствующих мер по снижению напряжения противо-ЭДС, надёжность такой системы будет весьма сомнительной. Существует риск выхода из строя и самого реле при частых срабатываниях, и силового транзистора, управляющего реле. Либо нам потребуется дорогой высоковольтный транзистор.

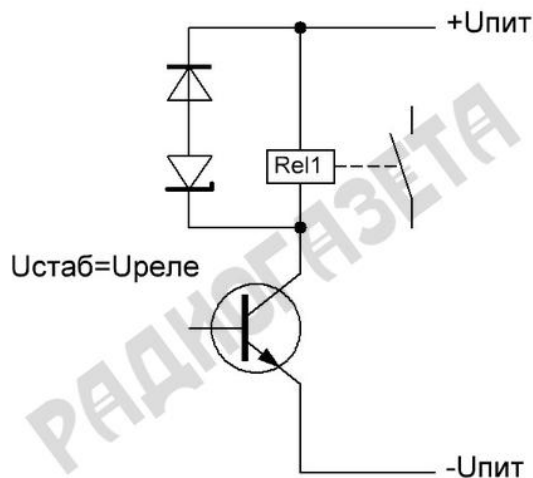
Избавится от противо-ЭДС можно простым народным методом — поставить диод в обратном включении параллельно обмотки реле:



Однако, многие радиолюбители не знают, что эта мера приводит к существенному снижению быстродействия реле. Эксперименты проводились для реле типа OMRON G6B-2214P-US-DC12. Без применения защитного диода время размыкания контактов составило

около 1,2 мсек. После установки защитного диода время размыкания контактов увеличилось до 8 мсек, т.е. в разы!

Существенно сократить время размыкания реле при наличии защитного диода поможет... **стабилитрон:**



Как показали эксперименты, для такого варианта время размыкания контактов составляет всего 2,5 мсек, т.е. всего в два раза выше, чем без защитных цепей.

Стабилитрон необходимо выбирать с напряжением стабилизации равному напряжению срабатывания реле.

Приведенные выше советы и схемы позволяют радиолюбителям довольно легко доработать уже имеющиеся системы защиты акустических систем как в самодельных, так и в промышленных аппаратах с целью повышения их быстродействия.

Как мы уже выяснили в [первой части](#), для обеспечения надёжной защиты акустических систем наша система защиты должна быть надёжной сама по себе. О том, что влияет на надёжность схемы и как её улучшить поговорим в следующий раз.

Всё, что вы хотели знать о защите акустических систем, но боялись спросить (часть третья)

Надёжность.



«Прибор, защищаемый быстродействующим плавким предохранителем, сумеет защитить этот предохранитель, перегорев первым.»

Закон Клипштейна

В [первой статье](#) этого цикла мы определились с требованиями, предъявляемыми к защите акустических систем. [Во второй части](#) мы поговорили о быстродействии системы защиты и мерах по её повышению. Сегодня поговорим о надёжности самой системы защиты АС, ведь переложив главную боль о сохранности наших бесценных колонок на систему защиты мы должны быть уверены, что она нас не подведёт и будет работать хорошо и долго.

А для этого придётся учесть ряд аспектов, порой не очевидных, но доказанных практикой.

1. Выбор реле.

Сегодня ассортимент подобной продукции достаточно широк. Для системы защиты мы должны выбирать реле, исходя из напряжения питания, быстродействия и **мощности контактов** (ток и напряжение коммутации). С учётом пиковых значений звукового сигнала для современных усилителей мощности использовать реле с контактами, рассчитанными на ток **менее 10А**, неразумно в плане обеспечения надёжности.

Ни в коем случае не стоит использовать миниатюрные реле! У них, помимо относительно низких значений коммутируемого тока (что часто приводит к свариванию контактов), контактные группы имеют ещё и весьма значительное сопротивление (относительно довольно низкоомной нагрузки усилителя в 8 или 4 Ома), что вносит дополнительные потери и искажения на пути сигнала.

У высокоомных реле контактные группы для снижения сопротивления чаще всего покрываются серебром и его сплавами. Наличие в воздухе паров серы приводит к быстрому окислению таких контактов и как следствие снижению надёжности. Если Вы живёте в таком районе, в системе защиты АС следует использовать **герметичные реле**.

2. Параллельное включение контактов.

Довольно часто радиолюбители для повышения коммутируемого тока используют реле с несколькими контактными группами, включая их параллельно. Как показала практика - это великое заблуждение.



Дело в том, что контактные группы в таком реле срабатывают **не одновременно**! Т.е. какая-то группа включается или отпускается раньше другой. В такие моменты через «отстающую» группу протекает ток выше номинального. Это приводит к быстрому износу контактов. Соответственно, после их деградации повышенный ток будет течь через другую контактную группу, что тоже приведет к её быстрому разрушению.

Вывод: для повышения надёжности системы защиты не стоит экономить на реле - выбирайте реле с **необходимым током коммутации** каждой контактной группы. Избегайте запараллеливания контактных групп! Это снижает надёжность реле.

3. Подключения контактных групп.

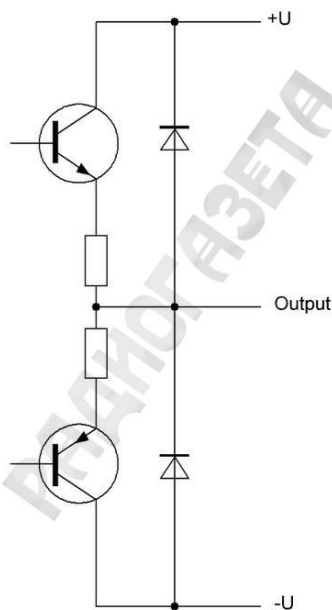
Так сложилось в радиолюбительской практике, что даже если в системе защиты АС используются реле с **контактными группами на переключение** (а именно такие реле и стоит использовать, а не просто на замыкание) то свободный контакт остаётся «в воздухе», никуда не подключенный.

Как показывает бесценный опыт, при возникновении внештатных ситуаций в моменты срабатывания реле между контактами возникает электрическая дуга, мощности которой порой вполне хватает, чтобы разрушить даже контакты рассчитанные на 10А! Для повышения надёжности динамики необходимо коммутировать на землю (как показано на схеме). Особенно это важно для акустических систем с сопротивлением 8 Ом и усилителей средней и большой мощности.



4. Дополнительные меры защиты.

Снизить внештатные выбросы напряжений и токов на выходе усилителя поможет достаточная простая мера — установка защитных диодов:



Подключить такие диоды не представляет большой сложности даже в уже готовом аппарате и даже, если усилитель выполнен на микросхеме, достаточно подключить диоды между её выходом и шинами питания (соблюдая полярность, разумеется).

Такая мера, конечно, не защитит акустические системы в случае серьёзной опасности, но ограничит пиковые токи через контакты реле, что продлит их срок службы и соответственно повысит надёжность нашей системы защиты.

А ваши акустические системы надёжно защищены?

Удачного творчества!

Главный редактор «[РадиоГазеты](#)»