

**Виктор Беседин (UA9LAQ)**

г. Тюмень

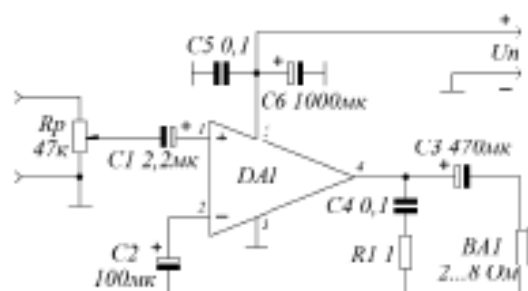
E-mail: ua9laq@mail.ru

Конструкторы радиоаппаратуры часто выходят из положения, например, при испытании нового приёмника, подключением его к имеющемуся усилителю звуковых частот (УЗЧ). При неимении такового, пытаются в кратчайшие сроки создать УЗЧ, тут уже в ход идёт всё: имеющаяся элементная база, элементарная схемотехника и подручные средства монтажа...

## УЗЧ на K174УН14 (TDA2003)

Просматривая внутреннюю схемотехнику широко распространённой недорогой микросхемы K174УН14 (или её зарубежного аналога TDA2003), например, в [1, 2], можно вывести самое простое включение микросхемы – **рис. 1** и, памятуя об особенностях эксплуатации этой ИМС [1, 2], разработать печатную плату – **рис. 2** (расположение деталей на монтажной плате – **рис. 3**).

Монтажная плата выполнена с запасом для монтажа внутри отрезка металлической трубы прямоугольного сечения (здесь: 35x35 мм) с крышками (отрезок трубы ставится вертикально), на внутреннюю поверхность боковой стенки которого, с помощью винта М3 (“впотай”), гайки и шайб, одна из которых – пружинная, с использованием термопроводящей пасты (например, КПТ-8) крепится язычок ИМС DA1, т.е. сам импровизированный корпус УЗЧ является и радиатором для отвода тепла. Также на стенки импровизированного корпуса крепятся по месту: регулятор громкости Rp, гнезда для подачи питания Up и входа подачи сигнала на УЗЧ и выхода на динамическую головку BA1. Возможен вариант с креплением малогабаритной головки BA1 на верхнюю крышку корпуса, превращающий УЗЧ в переносный звуковоспроизводящий “кубик”. Плата внутри кубика может быть закреплена: пайкой, если материал трубы позволяет это сделать, с помощью небольших угольничков и винтов “впотай” с гайками (по месту просверлив плату справа и слева от гнезда ввода питания), в принципе, достаточно и одного винтового крепления DA1 и соединений с гнездами входа и выхода УЗЧ, регулятора громкости и гнезд питания жёсткими проводниками – плата будет прочно держаться внутри корпуса. При наличии трубы других размеров, плату можно немного подрезать по периметру или, наоборот, предусмотреть большие размеры платы, при её изготовлении. Корпус можно выполнить оригинальным, разместив плату в отрезке трубы круглого сечения (опилив плату по окружности) или свернуть корпус из подходящего куска металла. Корпус из фольгированного стеклотекстолита тоже можно соорудить (спаять), но это нежелательно, так как не будет возможности отводить тепло от корпуса DA1 во внешнюю среду. Корпус следует соединить с общим проводом УЗЧ гальванически, т.е., непосредственно, или, в противном случае, использовать подключаемое к нему заземление, хотя и в первом случае хорошее заземление, при проблемах наводок, – не мешает. “Внутреннюю” регулировку усиления ИМС можно выполнить, включив в разрыв цепи “С2 - общий провод” переменный резистор.

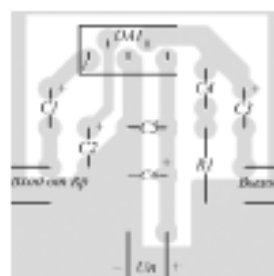


**Рис. 1.** УЗЧ на K174УН14 (TDA2003).

Схема принципиальная электрическая



**Рис. 2.** Эскиз монтажной платы УЗЧ. Вид со стороны печатных проводников. Размер платы 35x35x1,0...1,5 мм



**Рис. 3.** Эскиз монтажной платы УЗЧ. Вид со стороны установки деталей

При использовании низкоомной нагрузки (например, 2 Ом), ёмкость конденсатора C3 следует увеличить до 1000 мкФ, ёмкость развязывающего по питанию конденсатора C6 не должна быть меньше ёмкости C3, по крайней мере, – они должны быть равны. Рабочие напряжения оксидных конденсаторов должны быть не менее напряжения источника питания (лучше, – с запасом). Конденсатор C1 лучше заменить на неполярный, при этом уменьшатся создаваемые им, при прохождении тока, специфические шумы, отпадёт необходимость в замене его по истечении некоторого времени из-за высыхания электролита внутри конденсатора, будет стабильной частотная характеристика УЗЧ.

Внутри микросхемы DA1 имеется резистор [2], определяющий отрицательную обратную связь по постоянному току с выхода ИМС на инвертирующий вход, узел которого подобен эмиттерной цепи биполярного

транзистора, усиление по переменному току здесь можно регулировать шунтированием на общий провод резистора эмиттерной нагрузки конденсатором. Что и осуществлено с помощью C2 на рис. 1.

Поскольку рассмотренная выше схема отличается от типовой рекомендуемой и не содержит внутренних средств регулировки усиления (например, через ООС) и борьбы с возможным самовозбуждением, упомянем и типовую схему – рис. 4. Эскиз монтажной платы и расположение деталей для этого варианта усилителя приведены на рис. 5 и рис. 6, соответственно.

Типовая схема включения ИМС немного видоизменена с целью улучшения эксплуатационных характеристик УЗЧ. Так, конденсатор C2 блокирует поступление радиочастотных помех на вход ИМС, цепь R1C5 устанавливается только в случае возникновения неустранимого самовозбуждения ИМС на ультразвуковых частотах, делитель R3/R4 перенесён за конденсатор C3 – теперь он не нагружает выход ИМС по постоянному току, что снижает потребление усилителем в режиме молчания и уменьшает нагрев транзистора парафазного выходного каскада микросхемы DA1, однако, практически, не влияет на степень отрицательной обратной связи по переменному току через довольно большие ёмкости конденсаторов C3 и C4. Цепь

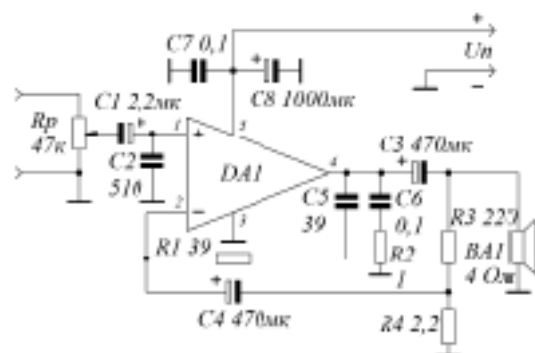


Рис. 4. Монофонический УЗЧ на ИМС K174UN14 (TDA2003). Видоизменённая типовая принципиальная электрическая схема



Рис. 5. Эскиз монтажной платы монофонического УЗЧ. Вид со стороны проводников. Размеры платы: 40x35x1,5 мм

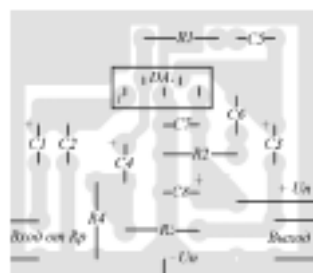


Рис. 6. Эскиз монтажной платы монофонического УЗЧ. Вид со стороны установки деталей

C6R2 лучше выполняет свои функции подавления нежелательных колебаний в ультразвуковом диапазоне и уравнивания сопротивления нагрузки тогда, когда она подключена именно непосредственно к выходу ИМС.

Поскольку в стерео-системах имеются два одинаковых канала, для такого усилителя следует изготовить два одинаковых УЗЧ, описанных выше. Для стерео-усилителя можно установить общий радиатор для ИМС, которые допускают эксплуатацию без радиатора, только в малосигнальном варианте с низким напряжением питания (до 9 В). Радиаторы можно выполнить из листового алюминия толщиной 1...2 мм.

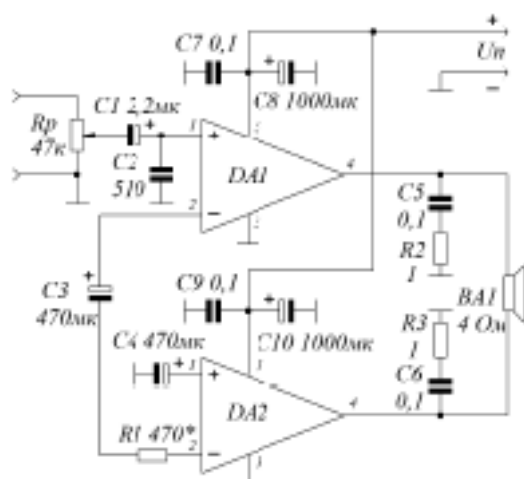


Рис. 7. Мостовой УЗЧ с применением ИМС K174UN14 (TDA2003). Схема принципиальная электрическая

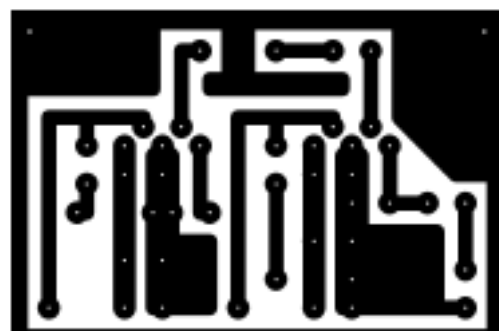


Рис. 8. Эскиз монтажной платы мостового УЗЧ на ИМС K174UN14 (TDA2003). Вид со стороны проводников. Размеры платы: 65x42,5x1,5 мм

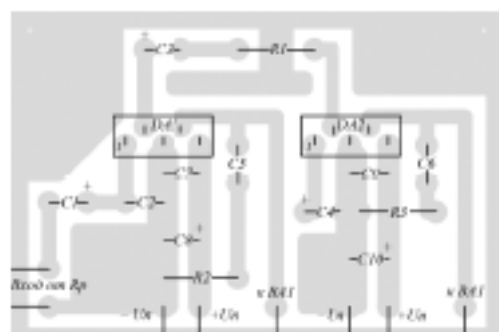


Рис. 9. Эскиз монтажной платы мостового УЗЧ на ИМС K174UN14 (TDA2003). Вид со стороны установки деталей



Если у Вас имеются акустические системы (АС), и Вы хотите изготовить усилитель помощнее, и не очень сложный, на основе выше упомянутых микросхем, то его можно изготовить по следующей, так называемой "мостовой" схеме – рис. 7, тем более, что при этом можно использовать относительно низковольтный источник питания, эскиз монтажной платы усилителя и расположение деталей на ней – рис. 8 и рис. 9, соответственно. Для работы мостового усилителя необходимо иметь два канала со сдвинутыми на 180 градусов по фазе одинаковыми сигналами, подключаемыми к общей нагрузке, однако, отдельного (внешнего) фазовращателя входного сигнала здесь не нужно, поскольку один из операционных усилителей (ОУ), коим и является DA1, включен по схеме неинвертирующего усиления, другой – инвертирующего. Проследим путь сигнала по схеме рис. 7: входной сигнал с движка регулятора усиления (громкости) R<sub>p</sub> через переходной конденсатор C1 поступает на неинвертирующий вход ИМС DA1 (вывод 1), конденсатор C2 используется для устранения радиопомех (сигналы с радиочастотами замыкаются на общий провод усилителя, в то время как более низкочастотные сигналы – звуковые, проходят на вход усилителя DA1 без ослабления). Не вдаваясь в подробности внутренней схемотехники ИМС, представим, что входной ЗЧ сигнал подаётся на базу биполярного транзистора (здесь: вывод 1 DA1), а с его эмиттера (т.е. в одинаковой с входным сигналом фазе) сигнал подаётся через инвертирующий вход ИМС DA1 (здесь: вывод 2) на инвертирующий вход другой ИМС – ОУ DA2 (вывод 2). Цепь C3R1 служит для устранения гальванической связи между входами ИМС, C3 – для передачи переменного тока, а R1 – для выравнивания входных напряжений на входе обоих каналов мостового усилителя. Здесь следует заметить, что обе микросхемы теперь работают в противофазе относительно выходной нагрузки – динамической головки BA1, когда на выходе, например, DA1 – положительная полуволна, на выходе DA2 – отрицательная, что, в пределе, способствует получению размаха амплитуды выходного сигнала, равного напряжению питания (для сравнения: в обычной не мостовой схеме двойная амплитуда выходного напряжения может достигать только половины напряжения питания). Стабилизация усиления интегральных ОУ K174УН14 (TDA2003) обеспечивается через резисторы ООС, входящие в состав микросхем (их номинал можно измерить мультиметром между выводами 4 и 2 микросхем, не впаянных в схему, и составляет примерно 20 кОм: у трёх экземпляров ИМС сопротивление составило 18,8, 19,3 и 19,0 кОм – этот разброс скажется на усилении микросхем по постоянному току – один из критериев подбора одинаковых микросхем в пару для работы в мостовом УЗЧ). Отсюда усиление по постоянному току ИМС ограничено величиной, примерно, 26 дБ и фиксировано, а вот по переменному току, путём

манипуляций с величиной ёмкости на инвертирующем выводе относительно общего провода, усиление может изменяться в довольно широких пределах (эквивалентно шунтированию конденсатором эмиттерного резистора в усилителе на биполярном транзисторе в схеме с общим эмиттером). Итак, усиливаемый сигнал поступил через цепочку C3R1 на инвертирующий вход ОУ DA2. Неинвертирующий вход DA2, при этом, блокируется на общий провод конденсатором C4 (эквивалентно подключению C4 между базой транзистора и общим проводом, т.е. получается схема усилителя на биполярном транзисторе с общей базой – см. схему "внутренностей" ИМС [2]). Усиленные микросхемными ОУ сигналы проходят на выводы 4 DA1 и DA2, далее, ультразвуковочастотные колебания проходят через конденсаторы малой ёмкости C5 и C6, их мощности рассеиваются на нагрузочных резисторах R2 и R3, соответственно. Усиленные ЗЧ колебания подводятся в противофазе к нагрузке УЗЧ – динамической головке BA1.

ОУ DA1 и DA2 питаются от общего однополярного источника питания (лучше – стабилизированного) напряжением 6...15 В (и с запасом по току) до 5 А, хотя, в малосигнальном применении, возможны и менее мощные источники. Конденсаторы C7, C8, C9 и C10 – развязка по питанию. Частотная характеристика описываемых УЗЧ стандартная для типовых схем: нижняя граница – 20...40 Гц, верхняя – 20000...40000 Гц и зависят от ёмкостей, применённых разделительных (последовательных) конденсаторов и развязывающих как по питанию, так и в сигнальных цепях (параллельных). Следует отметить, что, не имея АС, воспроизводящих нижние частоты звукового диапазона, рассчитывать на их воспроизведение опрометчиво: заставить малогабаритные системы работать как полноразмерные не способен ни один УЗЧ, какой бы кривой (с экстремальным подъёмом в области НЧ) ни была у него АЧХ... Лучшими следует считать также АС, в состав которых входят "чувствительные" динамические головки, т.е., головки с максимальным КПД, позволяющие достигнуть требуемой акустической мощности "малой кровью" – минимальной выходной мощностью УЗЧ, при которой и искажения "электрической" части усилителя минимальны.

Выводы сигнальные и питания на плате мостового УЗЧ (рис. 7...9) разъединены по двум причинам: так удобнее выполнять конфигурацию печатных проводников и, главное, все одноимённые провода усилителя от платы сводятся в одной точке и припаиваются к соответствующим контактам, при сложной электромагнитной обстановке в месте работы УЗЧ, все провода одного порта складываются в один жгут (4 провода) и им производится намотка на ферритовых кольцах или трубках (см. ниже), которые размещаются как можно ближе к плате УЗЧ, в его корпусе.

#### Литература

1. <http://electro-tehnyk.narod.ru/docs/Datasheet/K174UN14.pdf>
2. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/25035/STMICROELECTRONICS/TDA2003.html>



Окончание в №2/2019

**Виктор Беседин (UA9LAQ)**  
г. Тюмень  
E-mail: ua9laq@mail.ru

## УЗЧ на K174УН14 (TDA2003)

**Окончание.**  
Начало в №1/2019

В [3, 4, 5] приведено описание мостовых УЗЧ с внешним фазовращателем, по традиции, приведём и здесь такое включение ИМС, предназначенное для эксплуатации УЗЧ в сложной электромагнитной обстановке: **рис. 10** – схема, **рис. 11** – эскиз монтажной платы 1/2 мостового УЗЧ (только два одинаковых усилителя мощности (УМ) без фазовращателя), **рис. 12** – эскиз расположения деталей на монтажной плате 1/2 мостового УЗЧ. Этот УЗЧ выполнен на трёх платах

и на **рис. 13...14** приведены эскизы общей платы УЗЧ, части схемы **рис. 10** (монтажная плата и расположение деталей).

Этот вариант мостового УЗЧ выполнен несколько необычным “свёрнутым” – на трёх платах: два одинаковых усилителя мощности (УМ) на DA1 и DA2 – **рис. 10** (две одинаковых платы с **рис. 11, рис. 12**) и одна общая плата, объединяющая входной фильтр питания, стабилизатор и фазовращатель (**рис. 13 и рис. 14**), к которой под углом 90 градусов припаяны платы УМ (**рис. 15**) – такой способ монтажа позволяет экспериментировать, меняя УМ с другими

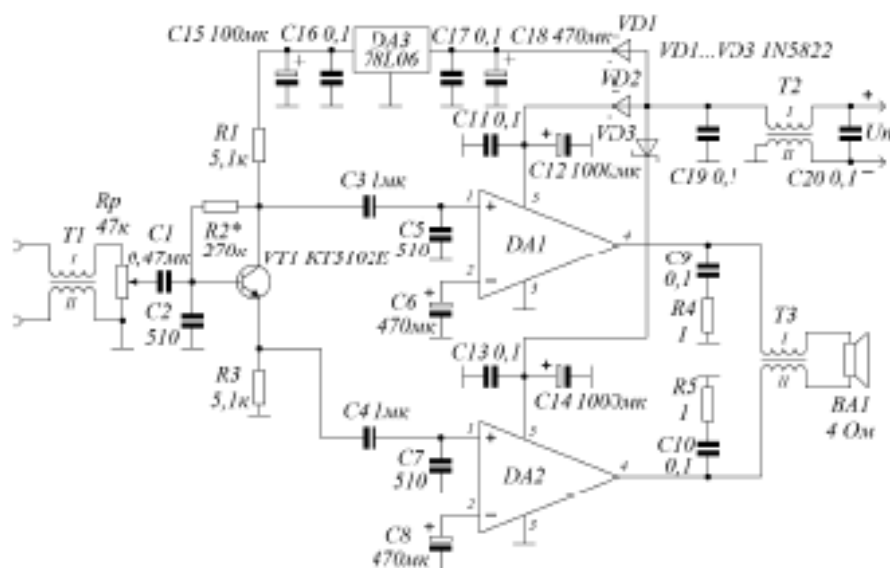
ИМС или собрать стереоусилитель, включив динамические головки через отдельные конденсаторы на общий провод УЗЧ, фазовращатель,



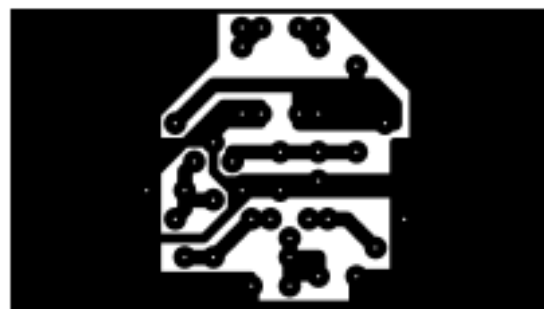
**Рис. 11.** Эскиз монтажной платы 1/2 мостового УЗЧ (УМ) на ИМС K174УН14 (TDA2003) для эксплуатации в сложной электромагнитной обстановке. Вид со стороны проводников. Размеры платы: 32,5x40x1,5 мм



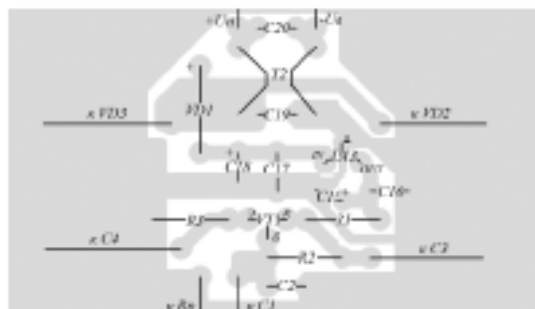
**Рис. 12.** Эскиз монтажной платы 1/2 мостового УЗЧ (УМ) на ИМС K174УН14 (TDA2003) для эксплуатации в сложной электромагнитной обстановке. Вид со стороны расположения деталей



**Рис. 10.** Мостовой УЗЧ на ИМС K174УН14 (TDA2003) для эксплуатации в сложной электромагнитной обстановке. Схема принципиальная электрическая



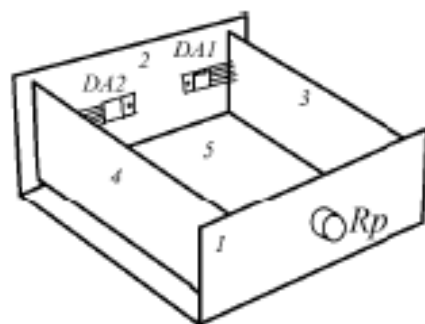
**Рис. 13.** Эскиз общей платы для УМ мостового усилителя (часть схемы **рис. 10**). Вид со стороны печатных проводников. Размеры платы 70x40x1,5 мм



**Рис. 14.** Эскиз общей платы для УМ мостового усилителя (часть схемы **рис. 10**). Вид со стороны установки деталей



при этом не применяется или дополняется ещё одним таким же каскадом и сдвоенным регулятором громкости для использования в качестве предварительного усилителя. Язычки ИМС прикреплены винтами к дюралевой пластине толщиной 2 мм, являющейся задней стенкой корпуса УЗЧ, на этой же стенке расположены гнезда питания и выход на динамическую головку ВА1. Входные гнезда и регулятор громкости Rp расположены на передней стенке корпуса. Платы УМ могут быть расположены на общей плате, как деталями внутрь, так и деталями наружу, а также одинаково (т.е., общий провод (фольга) плат УМ припаивается к общей плате одноимёнными боковыми сторонами), детали, при этом, будут "смотреть" в одну сторону. В принципе, радиатор может быть П-образной частью корпуса УЗЧ, ответная П-образная часть корпуса будет его крышкой. От каждой платы УМ к выходному гнезду (к ВА1) протянут провод. Питание подаётся



**Рис. 15.** Способ монтажа плат УМ на общую плату УЗЧ и крепление их к корпусу.

На рисунке: 1 – передняя панель; 2 – задняя панель; 3 и 4 – УМ мостового усилителя; 5 – общая плата УЗЧ, где смонтированы: фильтр питания, стабилизатор напряжения и фазовращающий каскад. Диоды VD2, VD3, конденсатор С1 паяются навесным монтажом в качестве соединительных звеньев. Общая плата крепится к П-образному алюминиевому шасси УЗЧ (толщина материала 2 мм) с помощью стоек, к задней стенке – винтами крепления язычков ИМС DA1 и DA2. Платы УМ крепятся к общей плате пайкой (фольга к фольге "общего провода" плат, устанавливаемых под прямым углом)

через диоды VD2 и VD3, которые являются соединительными звеньями между общей платой и платами УМ. Общий провод также может быть продублирован проводами, впаянными между общей платой и платами УМ.

Платы всех, приведённых в статье усилителей, выполнены с применением стеклотекстолита, фольгированного с одной стороны. Монтаж общей платы этого УЗЧ (рис. 13, рис. 14) может быть выполнен и со стороны печатных проводников (при изготовлении платы лазерно-утюжным способом не нужно переворачивать изображение зеркально), а применение для общей платы стеклотекстолита, фольгированного с двух сторон, позволит нерабочую фольгу использовать в качестве экрана, отпадёт необходимость сверления отверстий под выводы деталей, которые будут припаиваться к плате внахлест.

Применение мостового метода усиления сигнала в УЗЧ с ИМС K174УН14/TDA2003 имеет то преимущество, что возможно получение достаточной выходной мощности, при сравнительно низком напряжении питания, усилители могут быть нагружены стандартными АС с сопротивлением 4 Ом (и даже до 3,6 Ом, при увеличении сопротивления нагрузки выходная мощность, при прочих равных условиях, снижается), а сам "мостовой" метод позволяет отказаться от применения разделительного конденсатора большой ёмкости между выходом УЗЧ и нагрузкой, что уменьшает габариты УЗЧ, снижает нижнюю границу воспроизводимых системой частот, снижает искажения и уровень шумов, вызванные нестационарными процессами в переходных (разделительных) оксидных конденсаторах, при прохождении через них тока, устраняет временную нестабильность, вызванную высыханием электролита в этих конденсаторах, так как, при этом, увеличивается сопротивление прохождению переменного тока, изменяется частотная характеристика УЗЧ, выходная мощность, ввиду неполной отдачи её в

нагрузку, рассеивается на выходных интегральных транзисторах ИМС, что приводит к перегреву микросхемы и выходу её из строя, даже при имеющихся встроенных защитах, конечная точка – полное прекращение отдачи мощности в нагрузку – замена переходного конденсатора, а, возможно, и микросхемы УЗЧ и снова: те же выше описанные проблемы, от которых и позволяет избавиться мостовая схема усилителя. На основе двух УМ можно выполнить стереовариант УЗЧ, на вход сигналы подаются с регуляторов громкости, а к выходам подключаются разделительные оксидные конденсаторы (плюсами к выводам 4 ИМС) ёмкостью 1000...470 мкФ, между минусами этих конденсаторов и общими проводами УМ подключаются нагрузки – динамические головки или АС сопротивлением 1,8...8 Ом, соответственно.

При создании мостовых усилителей мы имеем дело с балансной схемой УЗЧ, поэтому все элементы плеч должны быть как можно точнее подобраны равными друг другу, всякая оперативная балансировка "моста" хороша лишь для окончательного выравнивания уровней противофазных ЗЧ сигналов по входу и выходу окончательного УЗЧ и установки "нуля" постоянного напряжения на нагрузке. При этом неперегруженный чрезмерным по амплитуде входным сигналом сбалансированный мостовой УЗЧ будет иметь минимальные искажения. Памятуя о том, что все детали противофазных цепей мостового усилителя заранее подобраны равными друг другу, остаётся лишь (для "успокоения души") включить подстроечный резистор сопротивлением в сотню-другую Ом между земляными выводами конденсаторов С5 и С7, а движок этого резистора соединить с общим проводом, например, как на схемах рис. 1 и рис. 5 в [8]. Настройка ведётся перемещением движка этого резистора по максимуму выходного контрольного сигнала (например, 1 кГц) на динамической головке ВА1, параллельно которой подключается милливольтметр переменного тока,



можно настраивать и по минимуму искажений, пользуясь осциллографом или измерителем нелинейных искажений, но это – вопрос оснащённости лаборатории радиолюбителя. Можно ещё (для любителей понастраивать) тщательнее подобрать ток покоя транзистора фазовращателя по минимальным искажениям сигналов малого уровня (R2), изменяя сопротивление резистора R1 (или R3), установить равенство напряжений на выводах 1 ИМС DA1 и DA2 (можно с помощью индикатора нуля, включив его между этими выводами, или отдельно, измеряя ЗЧ напряжения с вывода 1 ИМС DA1 и DA2 через конденсатор 1 мкФ относительно общего провода). В зависимости от допустимости снижения общего напряжения питания УЗЧ, можно варьировать применение стабилизатора DA3 на выходное напряжение от 5 до 12 В с целью расширения динамического диапазона фазовращателя. Входное напряжение ИМС стабилизатора должно быть не менее чем на 3 В выше выходного, подаваемого на фазовращатель. Применение стабилизатора в данном УЗЧ обусловлено не только желанием максимально подавить пульсации питающего напряжения, но и развязать процессы, происходящие в фазовращателе от таковых в интегральных ОУ мостового усилителя. Тому же способствует разделение функциональных единиц УЗЧ по питанию с помощью диодов, для обеспечения минимальных потерь применены диоды Шоттки. Кроме того, этот факт способствует сохранению

“жизни” УЗЧ, при случайной переполюсовке напряжения питания. По питанию до диодов установлены неполярные конденсаторы, которые, с одной стороны, развязывают (вместе с T2) цепи питания от РЧ наводок, с другой – нечувствительны к смене полярности питающего напряжения (при случайной переполюсовке). Все трансформаторы (T1...T3) представляют собой равные обмотки I и II, намотанные на ферритовых кольцах или ферритовых трубках с проницаемостью 1000...3000 (сечение сердечника некритично, но лучше побольше). Обмотки мотаются монтажным двоярным соединительным проводом до заполнения внутреннего отверстия кольца, трубки. Чем ниже частота напряжения наводки, которую необходимо подавить, тем большим должно быть число проницаемости феррита сердечника и число витков обмоток. Фильтр такой лучше установить прямо на соответствующем вводе в корпус УЗЧ, желательно применение магнитного экрана (на практике экранируют такие фильтры пермаллоем или, в крайнем случае, белой жстью).

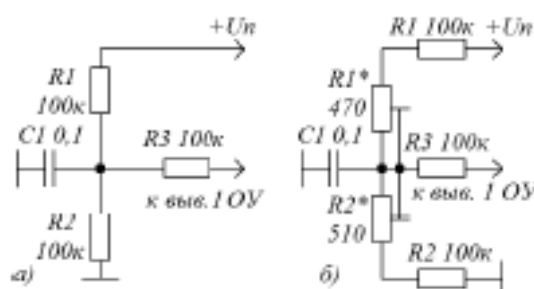
Усилитель, который призван быть защищённым от агрессивной, в смысле наводок, среды, должен быть заключён в сплошной стальной корпус без отверстий, отвод тепла осуществляется через непосредственный контакт язычков ИМС с корпусом УЗЧ, к которому они крепятся изнутри с применением теплопроводной пасты (КПТ-8). Остаётся ещё один момент: необходимо установить постоянные напряжения на выходах ИМС (выводы 4)

DA1 и DA2, равными друг другу, чтобы микросхемы

“моста” не нагружали друг друга и не влияли, таким образом, на режимы работы “визави”, нужно, включив между этими выводами милливольтметр постоянного тока, в режиме молчания (при замкнутом входе усилителя), установить напряжение, равное нулю. Как это сделать? Включить делитель напряжения питания на неинвертирующий вход одного из ОУ (например, DA1) – рис. 16, и, подбирая соотношение сопротивлений резисторов R1/R2, установить на выходе этого ОУ (вывод 4) половину напряжения источника питания, таким же образом поступают и со вторым ОУ (DA2), затем небольшой подстройкой уравнивают эти напряжения – в результате выходное постоянное напряжение на выходе будет равно 0 В, и можно безбоязненно подключать к выходу УЗЧ динамическую головку. Встроенные в ОУ цепи термостабилизации будут поддерживать установленные постоянные напряжения на выводах 4 и при нагреве микросхем (при эксплуатации).

Повторяю, что разброс параметров микросхем, особенно – из одной партии, не так велик, и их можно эксплуатировать в мостовых усилителях без дополнительных подстроек, если остальные детали (резисторы, конденсаторы) подобраны для плеч моста попарно равными, а прецизионные настройки приведены здесь для любителей “понастраивать”, довести устройство до “кондиции”.

Рисунки печатных плат (файл [uzch-k144un14\\_jay.zip](http://www.radioliga.com)) вы можете загрузить с сайта нашего журнала: <http://www.radioliga.com> (раздел “Программы”)



**Рис. 16.** Делитель для прецизионной установки постоянного напряжения на выходах ОУ: а) – общая схема; б) – практическая схема балансировки ОУ, исключая большой разбаланс ОУ

### Литература

3. В. Беседин. УМЗЧ на двух K174XA10. - Радиомир, 2003, №3, стр. 7...9; №4, стр. 7...8.
4. В. Беседин. УМЗЧ на двух TBA820M. - Радиомир, 2010, №10, стр. 9...11.
5. В. Беседин. УМЗЧ на двух LM386. - Радиомир, 2014, №7, стр. 6...8.
6. А. Прозоров. О ремонте УМЗЧ на ИМС. - Радио, 1998, №2, стр. 25.
7. М. Сапожников. Нестандартные включения микросхем в УМЗЧ. - Радио, 1998, №, стр. 23.
8. В. Беседин. Мостовой усилитель и вычитающее устройство. - Радиолюбитель, 2017, №10, стр. 14...17.