

**Б.Ю. Семенов**

# ДИСКотеКА СВОИМИ РУКАМИ



**Усилители для праздника  
Что такое сабвуфер  
Маленькие хитрости  
О музыке света  
В мире звуков**

**Необходимая информация  
на CD-ROM**



ББК 32.85  
УДК 621.38  
С30

## Б. Ю. Семенов

С30 Дискотека своими руками. М.: СОЛОН-Пресс, 2009. 256 с. — (Серия «СОЛОН — радиолюбителям». Выпуск 28)

ISBN 5-98003-172-3

Книга в простой и увлекательной форме рассказывает о том, как с помощью несложных самодельных электронных средств на высоком профессиональном уровне организовать веселый праздник, дискотеку, выпускной вечер, театральную постановку. Все приведенные в книге конструкции доступны для повторения радиолюбителями даже с минимальным опытом, не содержат дефицитных и дорогих радиоэлементов, просты в настройке и надежны в работе. Книга будет полезна всем, кто интересуется электронной звуковоспроизводящей техникой и техникой световых эффектов.

На прилагаемом к книге **компакт-диске** содержится техническая документация на большинство микросхем, транзисторов и других электронных компонентов, использованных в публикуемых конструкциях, эскизы всех печатных плат в формате SprintLayout 3.0, свободно распространяемое программное обеспечение для расчета элементов акустических агрегатов и составления CD дисков, материалы по истории звукозаписи. Вся эта информация пригодится тем, кто хочет подробнее разобраться в работе описанных схем и реализовать свои идеи, которые могут появиться по ходу чтения книги. Авторский сайт в Интернете можно посетить по адресу:

<http://www.radioland.mrezha.ru>

### КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-Пресс» можно заказать наложенным платежом по фиксированной цене. Оформить заказ можно одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Передать заказ по электронной почте на адрес: [magazin@solon-r.ru](mailto:magazin@solon-r.ru).

*Бесплатно* высылается каталог издательства по почте.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно дополнительно указать свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-Пресс». Для этого надо послать пустое письмо на робот-автоответчик по адресу: [katalog@solon-r.ru](mailto:katalog@solon-r.ru).

Получать информацию о новых книгах нашего издательства вы сможете, подписавшись на рассылку новостей по электронной почте. Для этого пошлите письмо по адресу: [news@solon-r.ru](mailto:news@solon-r.ru). В теле письма должно быть написано слово SUBSCRIBE.

ISBN 5-98003-172-3

© Макет и обложка «СОЛОН-Пресс», 2009  
© Б. Ю. Семенов, 2009

## Глава 3

# ДИСКОТЕКА БЕЗ УСИЛИТЕЛЯ — НЕ ДИСКОТЕКА

В этой главе мы поговорим о самой ответственной части оборудования, использующегося на дискотеке или танцевальном вечере, — об усилителях звука. Вообще изготовить хороший усилитель, удовлетворяющий запросам искушенных слушателей, довольно сложно — слишком много факторов определяют его качество. Правда, наша задача, поставленная в данной главе, несколько проще: мы будем конструировать не дорогостоящую технику для высококачественного воспроизведения звука, а доступные «дискотечные» усилители с усредненными параметрами звучания, которые удовлетворят большинство людей, пришедших потанцевать, активно отдохнуть.

### 3.1. Немного теории перед практикой

Любой усилитель, будь то высококачественный усилитель для прослушивания записей в домашней обстановке, или средний УНЧ (усилитель низкой частоты) для озвучивания массовых мероприятий, — это всего лишь усилитель, обладающий тем или иным уровнем электрических параметров. Главное назначение УНЧ — усиливать мощность сигнала, поступающего на его вход. Если «зреть в корень», то задача УНЧ состоит в передаче сигнала от источника к излучателю (например, от магнитофона к акустическому агрегату) с минимальными **искажениями**, в отсутствие **помех**. Эти два основных параметра, характеризующих качество звучания, мы рассмотрим подробнее.

Искажения бывают двух видов: частотные и нелинейные. Частотные искажения возникают при неравномерной передаче составляющих спектра звуковых частот. На слух это воспринимается как неестественная тембровая окраска звука. К примеру, в исходном сигнале имеется сбалансированный состав низких и высоких

частот, а после усилителя звук приобретает «глухой» или «шипящий» характер.

Главные параметры, характеризующие частотные искажения усилителя, — это **диапазон воспроизводимых частот** и **неравномерность частотной характеристики**. Как видно из рис. 3.1, на котором представлена условная частотная характеристика усилителя, диапазон воспроизводимых частот определяется так:

$$\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}},$$

где  $f_{\text{в}}$  и  $f_{\text{н}}$  — верхняя и нижняя частоты, которые усилитель в состоянии воспроизводить.

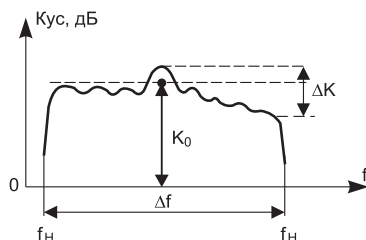


Рис. 3.1. Частотные искажения УНЧ

Неравномерность частотной характеристики определяется как максимальное отклонение (в дБ) уровней передачи частот в диапазоне воспроизводимых частот ( $\Delta K$ ) от значения, принятого в этом диапазоне за нулевое ( $K_0$ ).

Второй тип искажений — так называемые **нелинейные искажения**. Они выражаются в появлении на выходе усилителя частот, которых не было в спектре входного сигнала. Откуда появляются эти искажения? Дело в том, что в основе любых усилителей лежат нелинейные усилительные элементы — транзисторы (или лампы). Любой нелинейный элемент в той или иной степени имеет свойство «комбинировать» частотные составляющие сигналов, поступающих на его вход — например, складывать, вычитать, умножать. В результате и появляются искажения, которые на слух могут восприниматься и как тембровые искажения, и как хрипы, и как шорохи, потрескивания, «квакание». Главный параметр, по которому можно судить о качестве УНЧ в отношении нелинейных искажений — это **коэффициент гармоник** ( $k_r$ ). Коэффициент гармо-

ник всегда стараются указать как одну из основных характеристик усилителя.

Определяется  $k_r$  так: подают на вход усилителя чистый синусоидальный сигнал, а на выходе измеряют уровни напряжений всех высших гармоник, возникающих в результате нелинейных искажений (рис. 3.2). Затем вычисляют коэффициент по формуле:

$$k_r = \frac{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_0},$$

где  $U_0$  — напряжение основной гармоники на выходе УНЧ;  
 $U_1, U_2, \dots, U_n$  — амплитуды кратных гармоник.

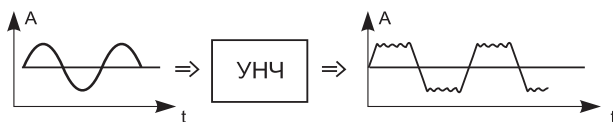


Рис. 3.2. Нелинейное искажение УНЧ

Коэффициент гармоник имеет свойство зависеть от частоты, при подаче которой он измеряется. Связано это со все теми же нелинейными свойствами усилительных элементов, которые в разных частотных диапазонах ведут себя по-разному. Поэтому правильное указывать не одно значение  $k_r$ , а несколько — для всего частотного диапазона, и с указанием частоты измерения.

Еще коэффициент гармоник зависит от мощности, которая отбирается от усилителя. Это означает, что при незначительной мощности усилителя (регулятор громкости установлен в положение, близкое к нулевому) —  $k_r$  тоже оказывается маленьким. При увеличении громкости коэффициент гармоник растет (нелинейные свойства усилительных элементов становятся все более заметными). Поэтому здесь нелишнее бывает указать и мощность сигнала, при которой производилось измерение. Производители микросхем для звукоусилительной аппаратуры это требование чаще всего выполняют. Стремятся выполнить его и производители высококачественной, фирменной аппаратуры. А «дешевые» фирмы, нагоняя себе солидности, указывают только одну цифру (понятно, что чем меньше она будет, тем больше покупателей «клонет»), но не приводят сведения ни о частоте измерения, ни о мощности вы-

ходного сигнала при измерении. Совет здесь один — будьте бдительны при выборе, не дайте себя обмануть.

Искажения, как мы убедились, являются принадлежностью усилителя, то есть однозначно связаны с его схмотехническим построением. Второе свойство усилителя — это способность противостоять **помехам**, то есть возмущениям, возникающим независимо от усилителя. Помехи главным образом опасны тем, что, накладываясь на полезный сигнал, вызывают его искажения.

Первый вид помехи, с которым читатель столкнется сразу же, как только сконструирует свой первый УНЧ, — это так называемый **фон переменного тока**. Фон прослушивается как низкочастотное гудение, происходящее с частотой промышленной сети 50 Гц и ее гармониками. Оценка уровня фона строится примерно так же, как и оценка уровня нелинейных искажений, то есть по напряжению:

$$\Phi = 20 \lg \frac{\sqrt{U_{50}^2 + U_{100}^2 + U_{150}^2 + U_{200}^2 + \dots}}{U_{\text{вых.ном}}},$$

где  $U_{50}$ ,  $U_{100}$ ,  $U_{150}$  — напряжения соответствующих частот, измеренные при отсутствии сигнала на входе усилителя (в режиме номинальной громкости);  $U_{\text{вых.ном}}$  — уровень выходного номинального сигнала (измеряется на гармоническом сигнале).

Сделаем небольшую оговорку: «фонить» усилитель может как при наводке электромагнитной помехи на его вход (достаточно прикоснуться к входу УНЧ пальцем, чтобы услышать фоновое гудение в акустических агрегатах), так и при недостаточно хорошей фильтрации промышленной частоты в блоке питания усилителя. Бороться с фоном бывает довольно трудно, особенно если источник сигнала связан с усилителем длинными проводами. Придуманно много способов снижения фона: экранировка проводов, стабилизация блоков питания, обратные связи и другие ухищрения. Мы поговорим об этом по ходу книги.

Второй вид помехи, с которым придется столкнуться, — **шум**. В отличие от фона переменного тока, имеющего дискретный спектр (50 Гц, 100 Гц, 150 Гц), шум представляет собой спектрально непрерывный сигнал, занимающий весь диапазон частот, воспроизводимых усилителем. Природа шума — тепловое движение электронов, а значит, его источником служат в той или иной сте-

пени все электронные компоненты. Услышать наличие шума в усилителе очень просто: достаточно в отсутствии музыкального сигнала установить его регулятор громкости на максимум. В акустических излучателях тогда проявится характерное «шипение» теплового шума. Режим малой громкости далеко не всегда позволяет зафиксировать это «шипение», и, вращая регулятор громкости, можно в какой-то мере оценить усилитель по моменту появления шума в «динамиках». Хороший усилитель «шипит» только вблизи максимума громкости, а посредственный начинает проявлять шум гораздо раньше. Бывают даже такие экземпляры, которые «шипят» при минимальной громкости — их электронные схемы оставляют желать лучшего.

Уровень тепловых шумов нередко указывается для самых ответственных элементов усилителей низкой частоты — транзисторов и операционных усилителей. Причем уровень шума приводится ко входу данных элементов. Умножив это значение на коэффициент усиления усилителя, мы получим уровень шумового сигнала на выходе. Важно отметить, что уровень шума указывается в справочниках с размерностью «нановольты на корень из Гц» (параметр «спектральная плотность напряжения шума»):

$$\left[ \frac{\text{нВ}}{\sqrt{\text{Гц}}} \right].$$

То есть, чем шире полоса воспроизводимых частот, тем выше и шум на выходе УНЧ. При данных расчетах плотность шумовой энергии, приходящейся на узкую полосу спектра в диапазоне, считается постоянной для всего диапазона (вспоминайте «белый шум»). Так что уровень шума можно прогнозировать еще на стадии разработки усилителя. В первичных каскадах (каскадах предварительного усиления), работающих совместно с источниками сигнала, всегда стараются применить мал шумящие элементы. Кстати, это обстоятельство нужно учитывать при ремонте готовых усилителей и при поиске замен элементов: УНЧ может значительно повысить свою «шумность», если проигнорировать шумовые свойства элементов, не интересоваться ими.

Вот, собственно, и все «прописные истины», встречающиеся при оценке качества звучания УНЧ специалистами. Но оценивать аппаратуру хотят не только специалисты, но и любители, которые



далеко не всегда смогут сказать, что такое коэффициент гармоник и фон переменного тока. Для них придуманы критерии экспертных оценок, представляющие собой суммарный результат субъективного восприятия звучания. Делается эта оценка так: в зале с определенными акустическими параметрами устанавливается аппаратура и приглашаются эксперты. В роли эксперта может выступить любой человек, важно только, чтобы экспертов было как можно больше — тогда результат получится точнее. Производится прослушивание характерных записей музыки, имеющей те или иные особенности в спектральной области (например, преобладание ударных инструментов), затем эксперты делятся своими впечатлениями от прослушанного.

Система экспертных оценок строится на субъективном анализе услышанного, поэтому здесь играют роль именно ощущения человека, а не физические величины. В табл. 3.1 приведены некоторые критерии оценок, предлагаемые экспертам.

**Таблица 3.1. Критерии экспертных оценок**

| Критерий                        | Красный балл          | Желтый балл             | Зеленый балл                |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Оценка общего впечатления       | Беспокойное звучание  | Нет атмосферы           | Все в идеальном порядке     |
| Оценка достоверности            | Нет ощущения реализма | Эффект отстраненности   | Ощущение присутствия        |
| Проверка нижней рабочей частоты | Недостаточный уровень | Недостаточная глубина   | Эффект землетрясения        |
| Проверка чистоты тона           | Призвуки              | Отсутствие динамики     | Все чисто                   |
| Оценка окраски звучания         | Смешение регистров    | Нарушение окраски       | Реалистичное звучание       |
| Проверка тонального баланса     | Диссонанс             | Неубедительное звучание | Ощущение теплоты и гармонии |
| Оценка стереоэффекта            | Эффект отсутствует    | Нарушение пропорций     | Широко, высоко, глубоко     |
| Проверка локализации            | Перекося сцены        | Нестабильность          | Как в жизни                 |

Понятно, что хорошая аппаратура наберет больше зеленых баллов, плохая — красных. Несмотря на то, что характеристики, предлагаемые экспертам, в значительной степени субъективны, экспертиза точно выявляет качество аппаратуры.



Экспертная оценка заметности искажений и помех имеет следующие градации:

а) **совершенно незаметно** — искажение или помеха замечается примерно 10—15 процентами экспертов (экспертная оценка имеет погрешность на уровне 10 %);

б) **практически незаметно** — искажение или помехи замечает 15—30 % экспертов (в данном случае большинство экспертов искажения и помехи не замечает);

в) **неуверенно заметно** — искажение или помеха фиксируется 50 % экспертов (вероятность заметить искажение равна вероятности не заметить его);

г) **уверенно заметно** — искажение или помеху слышат более чем 50 % экспертов (обычно эта оценка принимается при 75-процентном результате).

В отечественной классификации звуковоспроизводящей аппаратуры на основе экспертной оценки заметности искажений (помех) установились так называемые **классы** аппаратуры. Достаточно часто в технических описаниях можно встретить упоминание, что данный УНЧ относится к высшему классу, а данный магнитофон — к третьему. Как определяются классы? Они примерно соответствуют градациям заметности: высшему классу соответствует — «совершенно незаметно», а третьему — «уверенно заметно».

До сих пор мы лишь вскользь упоминали стереофонические усилители, применяя основные характеристики к одиночному (монофоническому) УНЧ. Сегодня подавляющее большинство техники воспроизведения звука принадлежит к стереофоническому направлению. Простейший стереофонический усилитель — это два идентичных моноусилителя, объединенных в одном корпусе и имеющих одинаковые регулировки. Стереоусилители имеют дополнительные характеристики.

**Переходное затухание между каналами** — определяет степень проникновения звука из одного канала в другой. Известно, что чем выше переходное затухание между каналами, тем лучше проявляется стереоэффект. Оценивается оно так: на вход одного из каналов подается номинальный сигнал, а выходная мощность измеряется на выходе обоих каналов, вычисляется их отношение (в децибелах). Даже самый плохой стереофонический усилитель должен иметь переходное затухание не менее 20 дБ (по мощности). Реально, конечно, оно гораздо выше.

**Рассогласование частотных характеристик** приводит к тому, что каналы могут звучать с разной тембровой окраской. Связано это с неидеальностью радиоэлементов, входящих в состав электрической схемы УНЧ. Все элементы имеют разбросы по своим параметрам, а значит, и каналы в некоторой степени будут неидентичны друг другу. Но в любом случае рекомендуется не допускать различие выходной мощности каналов по причине рассогласования частотных характеристик более 6 дБ.

**Рассогласование по чувствительности** проявляется в разных уровнях громкости каналов при установке на входе УНЧ сигнала с одинаковой амплитудой для обоих каналов. Рассогласование по чувствительности более заметно, чем рассогласование частотных характеристик — оно не должно превышать 2 дБ. Обеспечить такую точность не всегда удастся, поэтому подавляющее большинство стереофонических УНЧ имеют регулировку **стереобаланса**, то есть регулятор чувствительности по каналам. Вдумчивый читатель может спросить, зачем нужно вводить новый регулятор, когда два независимых регулятора громкости справятся с этой задачей точно так же. Ответаем: как показывает практика, гораздо удобнее регулировать громкость в обоих каналах одновременно, и уже потом, при необходимости, отрегулировать стереобаланс. Кстати, в первых моделях стереофонических УНЧ никаких регуляторов стереобаланса не было — обходились регуляторами громкости. Но опыт эксплуатации показал неудобство такого способа, и разработчики аппаратуры его модернизировали. В настоящее время достаточным является регулировка баланса в пределах 8...10 дБ, не более.

Теперь мы познакомимся с параметрами аппаратуры класса Hi-Fi (зарубежное обозначение аппаратуры высшего класса). Эти параметры определены зарубежным стандартом DIN 45000 (табл. 3.2).

Как мы уже сказали, наиболее часто гармонические искажения на слух воспринимаются как похрипывания (если они достаточно высоки), как призвуки (если они находятся на уровне порога различимости). Поскольку аппаратура класса Hi-Fi считается наиболее качественной, принято считать, что 1 % нелинейных искажений — величина приемлемая. Однако, как показывают исследования, человеческое ухо способно различать искажения гармонического сигнала более 0,1 %. Допустим, мы подали на вход усилителя чистый «синус», и выясняем, как поведет себя УНЧ.

Таблица 3.2. Параметры аппаратуры класса Hi-Fi

| Параметр                         | Магнитофоны                 | Микрофоны                                 | Усилители                               | Акустические агрегаты                           |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Полоса воспроизводимых частот    | 40...12 500 Гц              | 250...12 500 Гц                           | 40...16 000 Гц                          | 100...12 500 Гц                                 |
| Коэффициент нелинейных искажений | 3 %<br>максимальный уровень | Менее 1 %<br>в диапазоне<br>250...8000 Гц | Менее 1 % при<br>50 % мощности          | 3 % в полосе<br>250...1000 Гц<br>1 % на 2000 Гц |
| Различие параметров каналов      | —                           | Менее 3 дБ<br>в полосе<br>250...8000 Гц   | Менее 3 дБ<br>в полосе<br>250...6300 Гц | —                                               |

Так вот, при наличии выходного сигнала с искажениями более 0,1 % человеческое ухо будет определять наличие призвуков, содержащихся в сигнале. Читателю может показаться странным занижение коэффициента гармоник в стандарте в десять раз по сравнению с тем, который логичнее принять в качестве образцового значения. Но здесь есть одна существенная поправка — поскольку музыкальный звуковой сигнал совершенно непохож на «синус» — он непериодичен, занимает широкий спектр — поэтому реально только при превышении значения 1 % мы заметим гармонические искажения. К тому же данный коэффициент гармоник определен для режима, в котором усилитель выдает 50 % своей максимальной мощности. В реальности при прослушивании УНЧ эксплуатируются на 10—20 % своих максимальных возможностей, а это означает, что в таком режиме коэффициент гармоник понижается. Ну а на дискотеке допустим коэффициент гармоник и в 1 и в 2 процента, и даже немного больше.

Чтобы усилитель обеспечивал максимальную трансляцию сигнала от источника звука к акустическому агрегату (или другому усилителю, включаемому на выход первого), необходимо УНЧ **согласовать** и с источником сигнала, и с нагрузкой.

На рис. 3.3 приведена типичная схема тракта звукоусиления, в которой участвуют CD-плеер, усилитель низкой частоты и акустический агрегат. CD-плеер имеет выходной разъем, на котором присутствует сигнал — его подают на вход УНЧ. Но, как любой источник напряжения, CD-плеер по выходу имеет некоторое внутреннее сопротивление  $R_{\text{ист}}$ . А УНЧ имеет входное сопротивление

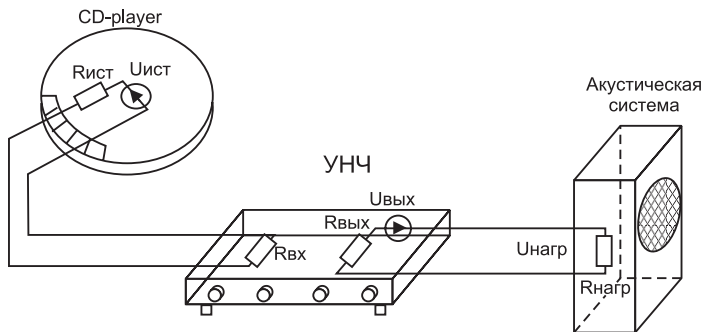


Рис. 3.3. Согласование источников и нагрузок

ние  $R_{\text{вх}}$ . Применяя закон Ома, мы получим величину напряжения на входе усилителя. Очевидно, что на будет определяться соотношением резисторов  $R_{\text{ист}}$  и  $R_{\text{вх}}$ :

$$U_{\text{вх}} = \frac{R_{\text{вх}}}{R_{\text{ист}} + R_{\text{вх}}} U_{\text{ист}}.$$

Получается, что при входном сопротивлении усилителя много больше (по крайней мере, в 10 раз) сопротивления источника сигнала — напряжение на входе УНЧ будет примерно равно напряжению на выходе источника сигнала. Такое согласование называется **согласованием по напряжению**, и оно встречается в усилительной технике наиболее часто.

С другой стороны, применяя всю ту же простейшую теорию, можно заключить, что выходное сопротивление УНЧ  $R_{\text{вых}}$  должно быть много меньше сопротивления нагрузки  $R_{\text{нагр}}$ . Тогда сигнал будет передаваться к нагрузке без потерь.

Для промышленной аппаратуры, как правило, принято нормировать входное сопротивление УНЧ. Нормируется оно и для любительских усилителей, построенных на дискретных транзисторах и на микросхемах. Но вот выходное сопротивление нормируют реже, в основном указывая минимальное сопротивление нагрузки, которое можно подключать к выходу усилителя. Обычно усилитель не критичен к увеличению сопротивления нагрузки — нужно быть готовым лишь к тому, что отдаваемая мощность будет понижаться. А вот снижать сопротивление ниже установленного предела нельзя — усилитель может перегреться и выйти из строя (если он не защищен).

Входные и выходные сопротивления, а также номинальные уровни сигналов некоторых источников определены рядом стандартов. В частности, стандартом DIN45310. В табл. 3.3 мы приводим эти цифры для того, чтобы читатель сориентировался, как подбирать усилитель для покупной аппаратуры.

**Таблица 3.3. Свойства источников звуковых сигналов**

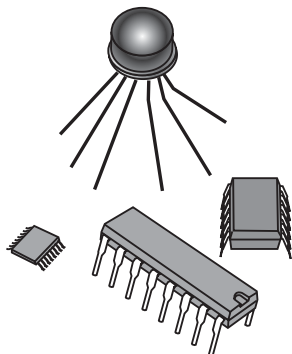
| Источник сигнала                                                   | Вх./вых. напряжение                       | Вх./вых. сопротивление                           |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Динамический микрофон                                              | 2 мВ/Па                                   | 200 Ом                                           |
| Конденсаторный (электретный) микрофон с предварительным усилителем | 20 мВ/Па                                  | Менее 200 Ом                                     |
| Магнитная головка магнитофона                                      | 500 мкВ                                   | 1 кОм                                            |
| Линейный выход магнитофона                                         | Более 100 мВ (запас по перегрузке до 2 В) | Менее 1 кОм                                      |
| Проигрыватель компакт-дисков                                       | 1 В                                       | Менее 200 Ом                                     |
| Выход для подключения громкоговорителей                            | —                                         | Не более 1,3—2,7—5,3 Ом (для нагрузки 4—8—16 Ом) |
| Выход для подключения головных телефонов                           | —                                         | 120 Ом                                           |

Источник сигнала, как правило, имеет нормированные параметры напряжения на своем выходе, и нам, за редким исключением, не удастся управлять величиной этого напряжения. Поэтому между УНЧ и источником сигнала желательно включать предварительный усилитель, который позволит регулировать громкость, стереобаланс и осуществлять некоторые другие интересные преобразования, о которых мы поговорим в следующих разделах.

## 3.2. Предварительные усилители

Простейший предварительный усилитель, обладающий отличными характеристиками, сегодня можно собрать за полчаса, и в этом читателю поможет широко распространенная микросхема — **операционный усилитель**. Операционный усилитель, или, как его называют радиолюбители, «операционник», чаще всего представляет собой микросхему с несколькими выводами (широко распро-

страненный вариант — 8 выводов), заключенную в пластмассовый прямоугольный, керамический или круглый металлический корпус, можно приобрести в любом радиомагазине или на рынке (рис. 3.4).



**Рис. 3.4.** Внешний вид операционных усилителей

«Операционники» (ОУ) широко применяются в усилительной технике еще с начала 70-х гг. XX века. Номенклатура типов ОУ, как отечественных, так и зарубежных, содержит десятки тысяч наименований и типов, например, — стандартные, микропотребляющие, быстродействующие, программируемые, малoshумящие, с высокоомным входом, с мощным выходом, прецизионные (с особо точными параметрами). По виду конструкции чаще всего встречаются одиночные варианты, но существуют sdвоенные и четвенные «операционники». Комбинированные ОУ удобнее всего применять там, где схема содержит большое количество однотипных элементов усиления, и к тому же требуется обеспечить небольшие размеры конструкции. Выбор вида операционного усилителя в значительной степени зависит от того, в каком радиотехническом устройстве он будет работать. Мы не будем подробно углубляться в эти вопросы, поскольку для всех конструкций, которые приведены в этой книге, вполне достаточно возможностей стандартных, широко распространенных, ОУ. В некоторых схемах, правда, желательно использовать малoshумящие и микропотребляющие «операционники», которые, впрочем, также имеются на отечественном рынке в достаточном количестве.

Итак, стандартный «операционник» отечественного производства, на котором мы разберем все основные премудрости работы с ОУ, имеет маркировку КР544УД2А. Эта микросхема выпускается в пластмассовом корпусе DIP-8 с расстоянием между выводами 2,5 мм. Имеется также исполнение в металлическом круглом корпусе, маркируемое К544УД2А (544УД2А), но лучше приобретать все же «пластмассу» — она на порядок дешевле.

Схема этого операционного усилителя приведена на рис. 3.5. В справочнике данный ОУ характеризуется как «широкополосный операционный усилитель с высоким входным сопротивлением, повышенным быстродействием, встроенной коррекцией и устройством защиты входа и выхода от перегрузки». В табл. 3.4 приведены основные параметры данного ОУ.

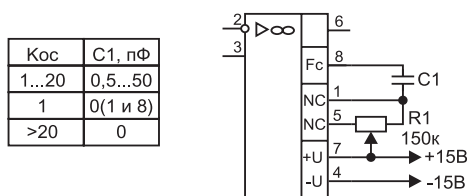


Рис. 3.5. ОУ типа КР544УД2А

Таблица 3.4. Основные параметры ОУ КР544УД2А

| Название параметра                 | Величина      | Ед. изм. |
|------------------------------------|---------------|----------|
| Номинальное напряжение питания     | $2 \times 15$ | В        |
| Ток потребления, не более          | 7             | мА       |
| Коэффициент усиления               | 20 000        | —        |
| Частота единичного усиления        | 15            | МГц      |
| Входное сопротивление              | 10            | МОм      |
| Минимальное сопротивление нагрузки | 2             | кОм      |
| Напряжение смещения (по входу)     | 30            | мВ       |

Как видим, «операционник» обладает всеми основными параметрами, присущими усилителям. Что можно сказать о работе ОУ? Как видно из рис. 3.5, операционный усилитель имеет два входа — прямой и инверсный. Инверсный вход традиционно обо-



значается кружочком. А вот выход у ОУ — один. Подавая сигнал на прямой вход, мы на выходе получим сигнал, совпадающий с входным по фазе (повышение напряжения на входе означает повышение сигнала на выходе). Если подать сигнал на инверсный вход, мы получим уже сдвинутый на 180 градусов выходной сигнал. Это свойство «операционника» широко используется в схемотехнике, будем использовать его и мы.

Судя по табл. 3.4, коэффициент усиления ОУ очень высок (десятки тысяч раз), однако чаще всего требуется усилить сигнал на порядок, а то и меньше — в 2...3 раза. Что делать? Подбирать другой тип ОУ? Но практически все «операционники» имеют именно такой коэффициент усиления, а то и больше. Для снижения усиления «операционник» охватывают обратной связью, которая выводит усиление на требуемую величину. Существуют несколько простых включений: инвертирующее, неинвертирующее, в режиме повторителя.

Очень важный элемент — конденсатор **частотной коррекции** С1, включенный между выводами 1 и 8. Зачем он нужен? Дело в том, что без этого конденсатора усилитель, охваченный обратной связью, может «завестись», то есть превратиться в генератор колебаний. На этот счет существует достаточно сложная теория — почему возникают колебания, как от них избавиться. Мы не будем забивать голову читателя этими знаниями, скажем лишь, что частотная коррекция позволяет сделать усилитель **устойчивым**. Первые ОУ требовали сложных цепей частотной коррекции, современные нуждаются лишь в одном конденсаторе, или коррекция вообще встраивается внутрь (эти микросхемы вообще не имеют выводов частотной коррекции). Совет для читателя такой — никогда не пренебрегать частотной коррекцией: если на типовой схеме включения конденсатор имеется, лучше его установить и избавиться от дальнейших неприятностей.

Еще один вид коррекции — так называемая **балансировка**. Выполняется она резистором R1. Зачем нужно балансировать ОУ? Из табл. 3.4 видно, что на входе усилителя имеется некоторое напряжение смещения, измеряемое в милливольтках. Усилившись, это напряжение на выходе может достичь весьма существенной величины. Поэтому балансирующим резистором смещение на выходе ОУ сводят к минимальному значению в отсутствии входного сигнала. Сразу оговоримся — смещение играет роль в случае, если

нужно усиливать сигналы постоянного тока. В усилительной же технике для дискотеки приходится работать с переменными сигналами, поэтому это смещение просто «отрезают» конденсаторами, не устанавливая даже балансирующий резистор. Как «отрезать» смещение, мы поговорим дальше.

Существенный вопрос — питание ОУ. Большинство «операционников» питается двуполярным напряжением, стандартное значение которого составляет  $\pm 15$  В. Можно найти также типы с однополярным питанием, с пониженным питанием (до 1,5 В). В большинстве случаев на вопросах питания мы заострять внимание не будем, если удастся обойтись распространенными средствами. И только в особых случаях питанию запланировано уделить время.

Вернемся к схемам включения ОУ. На рис. 3.6—3.8 показаны наиболее распространенные варианты включения «операционников». Основным параметром такой схемы является **коэффициент усиления**. Он определяется как отношение напряжения на выходе к напряжению на входе:

$$k_{\text{--}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}.$$

Но эта формула для практических целей едва ли подойдет, поэтому необходимо научиться вычислять коэффициент усиления по заданным типономиналам элементов, входящих в схему, либо — выбирать номиналы по требуемому усилению.

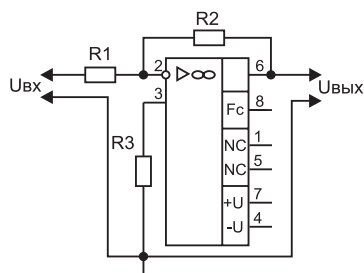


Рис. 3.6. Инвертирующее включение ОУ

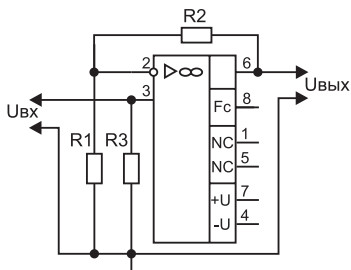


Рис. 3.7. Неинвертирующее включение ОУ

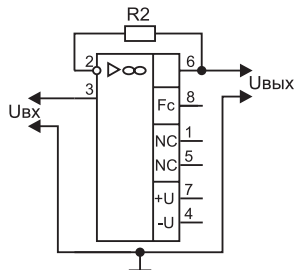


Рис. 3.8. Включение ОУ в режиме повторителя

Для схемы рис. 3.6 коэффициент усиления определяется так:

$$k_{--} = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Знак «минус» в данном случае означает, что выходной сигнал инвертирован относительно входного, то есть сдвинут по фазе на 180 градусов.

Резистор  $R_3$  примерно определяется из следующего соотношения:

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

то есть при параллельном соединении  $R_1$  и  $R_2$ .

Входное сопротивление этого включения ОУ равно сопротивлению резистора  $R_1$ . Поэтому инвертирующее включение можно использовать в таких усилителях, где не требуется высокое входное сопротивление (например, в промежуточных каскадах). Слишком большая величина резистора  $R_1$  может привести к повышенной чувствительности усилителя к наводкам.

Коэффициент усиления для схемы, показанной на рис. 3.7, можно вычислить из выражения:

$$k_{--} = 1 + \frac{R_2}{R_1}.$$

Входное сопротивление этой схемы в случае отсутствия резистора  $R_3$  равно входному сопротивлению операционного усилителя, и усилитель в данном включении без этого резистора работать будет. Но лучше все же данный резистор не исключать и выбрать его номинал в пределах 0,1...1,0 МОм.

Наконец, третье включение, показанное на рис. 3.8, имеет усиление, равное 1, то есть сигнал со входа на выход передается без изменения. Это включение, называемое **повторителем сигнала**, применяют тогда, когда есть необходимость получить высокое входное сопротивление усилителя.

Как мы уже успели сказать, данные простые включения ОУ используются в основном для усиления сигналов, в которых имеется постоянная составляющая (или просто постоянных, очень медлен-

# Содержание

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>От автора</b> . . . . .                                           | 3   |
| <b>Глава 1. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ<br/>ЗВУКОЗАПИСИ</b> . . . . .    | 7   |
| <b>Глава 2. ЭЛЕКТРОАКУСТИКА</b> . . . . .                            | 19  |
| 2.1. Как характеризуются источники звука . . . . .                   | 19  |
| 2.2. Как звук распространяется в помещении . . . . .                 | 28  |
| 2.3. Как люди воспринимают звук . . . . .                            | 42  |
| 2.4. Что такое децибелы, ватты, RMS-ы и PMPO . . . . .               | 46  |
| 2.5. Оборудование для дискотеки . . . . .                            | 52  |
| <b>Глава 3. ДИСКОТЕКА БЕЗ УСИЛИТЕЛЯ —<br/>НЕ ДИСКОТЕКА</b> . . . . . | 55  |
| 3.1. Немного теории перед практикой . . . . .                        | 55  |
| 3.2. Предварительные усилители . . . . .                             | 65  |
| 3.3. Простые УНЧ для небольшой комнаты . . . . .                     | 83  |
| 3.4. Несложные УНЧ для маленького зала . . . . .                     | 94  |
| 3.5. Усилители для большого зала . . . . .                           | 105 |
| 3.6. Маленькие хитрости . . . . .                                    | 113 |
| <b>Глава 4. ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА</b> . . . . .                | 123 |
| 4.1. Как устроены электроакустические агрегаты . . . . .             | 123 |
| 4.2. Основные характеристики АС . . . . .                            | 131 |
| 4.3. Подробнее о динамических излучателях . . . . .                  | 134 |
| 4.4. Когда выручает кроссовер? . . . . .                             | 143 |
| 4.5. Что такое сабвуфер . . . . .                                    | 164 |
| 4.6. Маленькие хитрости . . . . .                                    | 172 |

---

|                                                                            |         |
|----------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Глава 5. ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ ДИ-ДЖЕЯ</b>                                    | 176     |
| 5.1. Микрофонное хозяйство                                                 | 176     |
| 5.2. Как смешать несколько сигналов                                        | 187     |
| 5.3. Зачем на дискотеке головные телефоны?                                 | 190     |
| 5.4. Измеряем уровень выходной мощности                                    | 191     |
| 5.5. Управляем тембром и громкостью звука                                  | 196     |
| <br><b>Глава 6. СВЕТОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ДЛЯ ДИСКОТЕКИ</b>                         | <br>205 |
| 6.1. Как создать световые эффекты                                          | 205     |
| 6.2. Проектор из подручных материалов                                      | 208     |
| 6.3. Светомузыкальная установка                                            | 210     |
| 6.4. Стробоскоп                                                            | 218     |
| 6.5. Гирлянды, гирлянды, гирлянды                                          | 223     |
| 6.6. Фонарики из сверхъярких светодиодов                                   | 227     |
| 6.7. «Бегущий огонек»                                                      | 231     |
| 6.8. «Живые столбики» из анализатора спектра                               | 240     |
| 6.9. Маленькие хитрости                                                    | 245     |
| <br><b>Глава 7. ШПАРГАЛКА ДЛЯ ОРГАНИЗАТОРА</b>                             | <br>246 |
| 7.1. Оформление и оборудование зала                                        | 246     |
| 7.2. Составляем программу дискотеки                                        | 247     |
| 7.3. Меры безопасности при подготовке<br>и проведении танцевального вечера | 248     |
| <br><b>Заключение</b>                                                      | <br>250 |