

И.Е. РОГОВ

КОНСТРУИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЗВУКОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ



«Инфра-Инженерия»

И.Е. Рогов

КОНСТРУИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ЗВУКОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

**Инфра-Инженерия
Москва
2011**

УДК 621.375.026
ББК 32.85
Р 59

Рогов И.Е.

Р 59 Конструирование источников питания звуковых усилителей. - Москва: Инфра-Инженерия, 2011. - 160 с.

ISBN 978-5-9729-0033-6

Книга охватывает все основные аспекты проектирования линейных источников питания УМЗЧ, особое внимание уделено принципам работы отдельных узлов и их взаимодействию. Приводится ряд важных практических советов и рекомендаций по правильному питанию усилителей. Простое и доступное, но в то же время достаточно содержательное описание позволит разобраться даже начинающим радиолюбителям. Издание создано, прежде всего, для того, чтобы научить читателей не только хорошо разбираться в различных схемах блоков питания, но и создавать свои собственные. Книга будет полезна студентам и широкому кругу радиолюбителей.

© Рогов И.Е., 2011

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2011

ISBN 978-5-9729-0033-6

ЧАСТЬ I.

ТЕОРИЯ

Нет ничего практичнее хорошей теории.

Роберт Кирхгоф

1. Мощность

Прежде всего, давайте поговорим о мощности, потому, что именно выходная мощность усилителя определяет то, какой именно блок питания для этого усилителя будет нужен. К сожалению, даже такая простая вещь довольно часто не понимается до конца.

В постоянном токе все очень просто: мощность - это произведение напряжения на силу тока.

$$P = U \cdot I$$

Если вспомнить закон Ома

$$I = \frac{U}{R}$$

и выразить напряжение или ток через сопротивление нагрузки, то получим такие вот формулы для вычисления мощности:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

На переменном токе существует несколько видов мощности. Та, которая получается умножением напряжения на ток, называется полной мощностью и обозначается буквой S . Ее единица измерения - ВА (вольт-амперы). А буквой P обозначается активная мощность, измеряемая в ваттах. Разница между ними в том, что активная мощность P необратимо превращается из мощности электрической энергии в мощность энергии другого вида (тепловую, световую, звуковую, механическую). И ее-то мы и можем, в конце концов, использовать. Полная мощность S включает в себя как активную мощность, так и реактивную (Q) - ту, которая временно запасается в магнитном и электрическом полях катушек и конденсаторов, а потом возвращается обратно в электрическую цепь. Поэтому полная мощность обычно больше активной.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Точно также сопротивление элемента, в котором вся электрическая энергия превращается в неэлектрическую (то есть отсутствует и индуктивность, и емкость), называется активным (иногда говорят "омическим") и обозначается буквой R , сам этот элемент называют активным. А сопротивление, оказываемое протеканию тока катушкой индуктивности и конденсатором, называется реактивным. На самом деле сопротивления как такового в этом случае нет, просто физические процессы в катушке и конденсаторе таковы, что переменный ток может проходить через конденсатор, а на (идеальной) катушке может возникать переменное напряжение. Формально разделив напряжение на ток, получаем реактивное сопротивление катушки или конденсатора,

обозначаемое X . Полное сопротивление (называемое "импеданс") объединяет активное и реактивное и обозначается буквой Z . Все эти сопротивления измеряются в омах.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Мы будем считать нагрузку усилителя активной - так проще, а главное, так обычно и поступают. Но это еще не всё. Ведь переменный ток - синусоидальный (синус - это на самом деле самый простой вид колебательного процесса, поэтому его часто используют для всех расчетов). Синусоидальный ток определенной частоты f в любой момент времени описывается формулой:

$$u(t) = U_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

График этой функции показан на рис. 1а. Если внимательно посмотреть на этот рисунок в течение некоторого времени, то можно заметить, что напряжение все время изменяется.

Разный знак у полупериодов означает лишь то, что ток при этом течет в противоположных направлениях (поэтому-то он и называется переменным). Поскольку направление тока никак на мощность не влияет, то точно такую же мощность можно получить и при одном направлении тока (рис. 1б). Величина U_m - она называется амплитудой - довольно полезная, она показывает самое большое значение напряжения (или тока). Но это значение напряжение принимает всего лишь на одно мгновение два раза за период, а все остальное время напряжение меньше, чем U_m . Поэтому имеет смысл найти и использовать на практике какое-то среднее значе-

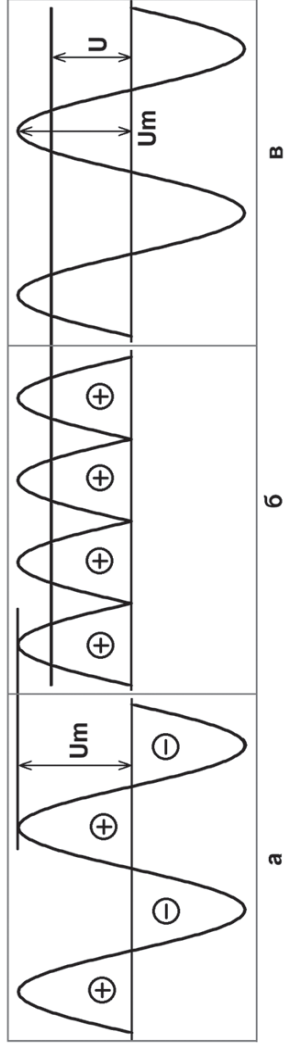


Рис. 1

ние напряжения (или тока). На самом деле оказывается намного более полезным не чисто среднее, а средне-квадратическое значение (на Западе его называют RMS - root mean square). Оно показано на рисунках 1б и 1в. Его также называют действующим значением, потому что этот переменный ток производит то же действие (выделяет такую же мощность в нагрузке), как и постоянный ток такой вот величины. И обозначается оно так же, как и обычное постоянное напряжение или ток одной буквой U или I без индекса m (рис. 1в).

Действующее значение напряжения или тока (для синусоиды) рассчитывается так:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad \sqrt{2} \approx 1,41$$

На самом деле действующее значение не равно "по-настоящему среднему" значению, которое вычисляется совсем по другой формуле, хотя для синусоиды близко к нему. Среднее значение переменного тока используется гораздо реже, и мы с ним практически не встретимся.

И именно это самое **действующее значение показывают все вольтметры-амперметры** переменного тока. Именно оно используется, когда дается числовая характеристика переменного тока. Например, 220 вольт в розетке - это действующее значение. Амплитуда при этом - в корень из 2 раз больше и равна примерно 311 вольт.

Для действующих значений переменного напряжения все формулы вычисления мощности выглядят точно так же, как и на постоянном токе. Собственно, для этого действующее значение и придумано.

Ну и последний штрих: выразим мощность через амплитудные (максимальные) значения, это нам очень пригодится впоследствии.

$$P = U \cdot I = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m \cdot I_m}{2}$$

$$P = I^2 \cdot R = \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot R = \frac{I_m^2 \cdot R}{2}$$

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{\left(\frac{U_m}{\sqrt{2}} \right)^2}{R} = \frac{U_m^2}{2 \cdot R}$$

2. Усилители

Теперь давайте поговорим об усилителях - как раз для них источники питания и нужны. Усилитель по своей сути действия похож на водопроводный кран. Как кран позволяет регулировать количество воды, поступающей из трубы, так и усилитель регулирует количество электрической энергии (напряжение, ток, мощность), поступающей из источника питания в нагрузку. Только он это делает так, что форма напряжения на нагрузке максимально точно повторяет форму напряжения на входе усилителя. Поэтому схематически усилитель можно представить, как показано на рисунке 2. Источник питания подключен к нагрузке через регулятор, которым управляет входной сигнал. Регулятор пропускает в нагрузку определенную часть напряжения

питания от нуля и до максимума. А максимумом как раз и является это самое напряжение питания, так как больше, чем мы подаем, быть не может. Напряжение на нагрузке не может быть больше, чем напряжение питания точно так же, как воды из крана не может быть больше, чем воды в трубе. Сколько кран не открывай, больше чем есть, воды не получишь.

За тем, чтобы выходное напряжение по форме в точности совпадало со входным, следит отрицательная обратная связь. Специальная схема сравнивает входное и выходное напряжения и управляет регулятором так, чтобы их разница была минимальной. Если же в усилителе отрицательная обратная связь отсутствует, то за формой выходного сигнала никто не следит, и остается только надеяться на лучшее.

Таким образом, усилитель примиряет нас с законом сохранения энергии - из маленькой мощности на входе делает большую мощность на выходе. На самом деле эту

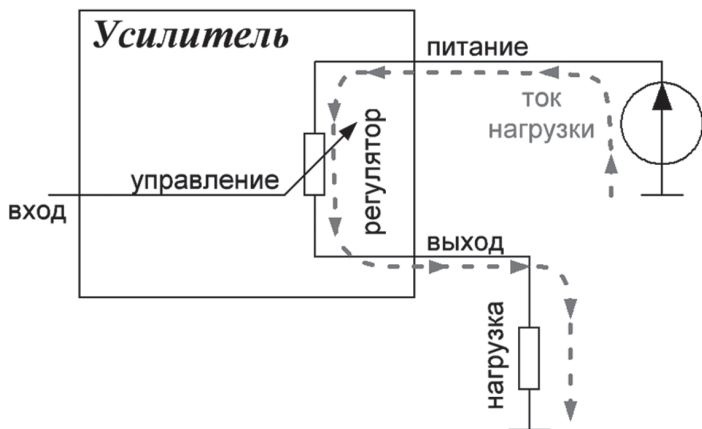


Рис. 2

большую выходную мощность создает не сам усилитель, а его блок питания, поэтому если блок питания работает недостаточно хорошо - никакой усилитель не поможет.

Такая вот схема, как на рис.2, с одним источником питания имеет недостаток: ток через нагрузку может протекать только в одном направлении. В принципе, и в таком усилителе можно сделать, чтобы в нагрузку поступал и "плюс", и "минус", но проще немного изменить способ питания - использовать два источника, один из них будет давать в нагрузку "плюс", а второй - "минус" (рис.3). Естественно, что источники при этом должны быть одинаковыми. Они образуют один двух-полярный источник с положительным и отрицательным плечами. Регуляторы (которых теперь два) обычно работают таким образом, чтобы включаться поочередно - пока один пропускает ток, другой закрыт. На самом деле это не совсем так - через второй регулятор все же

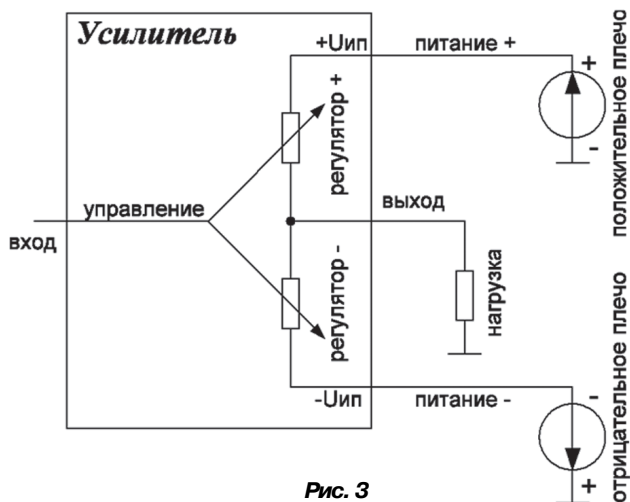


Рис. 3

течет некоторый небольшой ток, это позволяет снизить искажения, возникающие при закрывании одного регулятора и открывании другого. Такой ток называют током покоя выходного каскада, но это уже совсем другая история.

Наверное, вы уже догадались, что регуляторы - это выходные транзисторы усилителя, работой которых управляет вся остальная его схема.

Понимание принципа работы усилителя (рис. 2 и 3) очень важно, потому что именно из этого принципа определяются требования к источнику питания и находится максимальная выходная мощность усилителя.

При работе усилителя в линейной области, выходной сигнал не пытается быть больше, чем напряжение питания. Форма выходного сигнала совпадает с формой входного, а то, во сколько раз выходное напряжение больше, чем входное, показывает коэффициент усиления:

$$K_u = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

отсюда

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \cdot K_u$$

Что будет, если мы попытаемся подать на вход такое большое напряжение, что выходное напряжение, найденное по формуле

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \cdot K_u$$

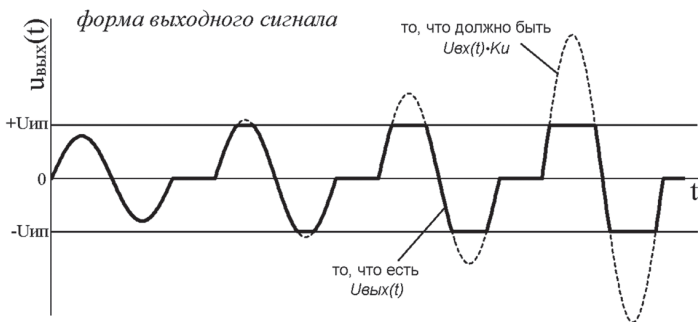


Рис. 4

получится больше, чем напряжение питания? А произойдет ограничение сигнала - так как напряжение больше, чем питание не бывает (рис. 4). Форма сигнала исказится, усилитель выйдет из линейной области, и формула коэффициента усиления будет вообще неприменима. Такое явление называют "ограничение сигнала усилителем" (также широко распространен английский термин клиппинг - *clipping*), и его допускать нельзя.

Отсюда вытекает первая, самая грубая и приближительная формула для определения максимальной выходной мощности усилителя. Поскольку максимальное выходное напряжение (т.е. амплитуда) в идеале равно напряжению питания, то:

$$P_{\text{вых. max}} = \frac{U_m^2}{2 \cdot R_H} = \frac{U_{\text{питания}}^2}{2 \cdot R_H}$$

Здесь за напряжение питания берется одно плечо источника (каждое из плеч задает лишь свое направле-

ние тока в нагрузке). R_n - это сопротивление нагрузки, в качестве него проще всего подставить то число, которое указано на колонках.

На самом деле, максимальная выходная мощность усилителя будет заметно меньше, чем получается по последней формуле. И тому есть две причины (на самом деле, причин больше, но про это в конце, а пока что помним, что хоть мы и получим более точные формулы, все равно это будет несколько упрощенно):

1. Выходное напряжение усилителя всегда меньше напряжения питания на величину, которая называется "остаточное напряжение на выходных транзисторах" или "минимальное падение напряжения на выходных транзисторах". Это заложено в конструкцию усилителя и величина остаточного напряжения у каждого усилителя своя. Я буду обозначать ее dU_{min} . Остаточное напряжение не обязательно является постоянной величиной, чаще всего оно зависит от тока нагрузки (то есть для низкоомной нагрузки, потребляющей большой ток, оно выше). Но эта зависимость небольшая и меняется от одного усилителя к другому, поэтому я в дальнейшем буду считать значение dU_{min} неизменным.

2. Если источник питания стабилизированный, то его напряжение остается практически неизменным при изменении тока, потребляемого от него усилителем. Но стабилизированный источник на такие большие напряжения и токи, какие бывают в современных усилителях - вещь очень сложная и дорогая. Поэтому в 99,99% случаев источники питания усилителей нестабилизированные. А значит, в них возникают просадки напряжения питания под нагрузкой. То есть при увеличении тока, потребляемого от источника питания, напряжение питания уменьшается. При этом проще говорить не

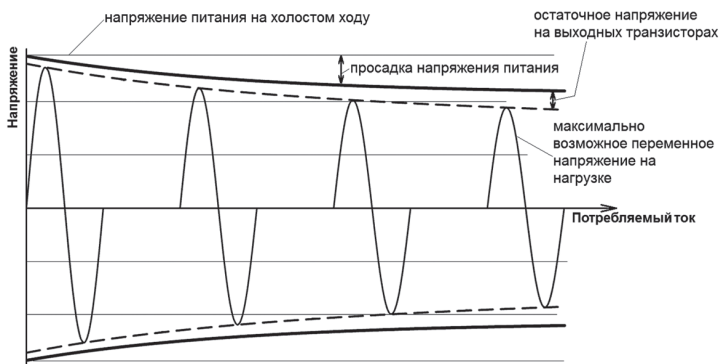


Рис. 5

об абсолютной величине этой просадки (сколько вольт), а об относительной - какую часть от напряжения холостого хода составляет напряжение под нагрузкой. Обозначим ее буквой α :

$$\alpha = \frac{U_{\text{питания под нагрузкой}}}{U_{\text{питания на холостом ходу}}}$$

Чем больший ток от источника питания потребляется, тем больше растет просадка напряжения (рис.5).

Тогда получаем уточненные формулы для вычисления максимальной выходной мощности усилителя:

1. Если дан усилитель и блок питания для него, то вычислить, какую максимальную выходную мощность получим, можно так:

$$P_{\text{вых. max}} = \frac{(\alpha \cdot U_{\text{питания}} - dU_{\text{min}})^2}{2 \cdot R_H}$$

Содержание

ВСТУПЛЕНИЕ	3
ЧАСТЬ I. ТЕОРИЯ	6
1. Мощность	6
2. Усилители	11
3. Два "неправильных" примера, взятых из жизни	19
4. Трансформаторы	22
<i>Броневой трансформатор</i>	<i>42</i>
<i>Стержневой трансформатор</i>	<i>42</i>
<i>Тороидальный трансформатор</i>	<i>44</i>
5. Ну, наконец-то схема!	54
6. "Кошерная" схема блока питания - так ли она хороша?	70
7. Бюджет просадок напряжения	75
8. Особенности звукового сигнала	80
9. Все на борьбу с помехами!	85
10. Сколько же чего брать?	90
ЧАСТЬ II. ПРАКТИКА	97
1. Полярность и рабочее напряжение конденсаторов	97
2. Подключение общих проводов	98

3. Правильная разводка проводников	103
4. Установка конденсаторов на плату усилителя	109
5. Работа электролитов на высоких частотах	110
6. ESR конденсаторов	114
7. Параллельное включение конденсаторов ...	115
8. "Обрезание верхушек" синусоиды	121
9. "Удаленный" блок питания	122
10. Импульсные БП	123
11. Защита от постоянного напряжения в сети	125
12. Устройство "мягкого запуска" (softstart) ..	126
13. "Разрядные" резисторы	128
14. Если вторичные обмотки разные	129
15. Разъемы или пайка?	130
16. Ферритовые кольца	131
17. А нужны ли быстродействующие диоды? ...	133
18. Куда подключать корпус усилителя?	137
19. Правильное крепление трансформатора питания	140
20. Заземление и зануление	142
21. Качество комплектующих	146
22. Надежность комплектующих	149
23. Влияние предохранителя на звук	151