

Днепродзержинский государственный технический университет

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В ВЫХОДНЫХ КАСКАДАХ
УСИЛИТЕЛЕЙ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ**

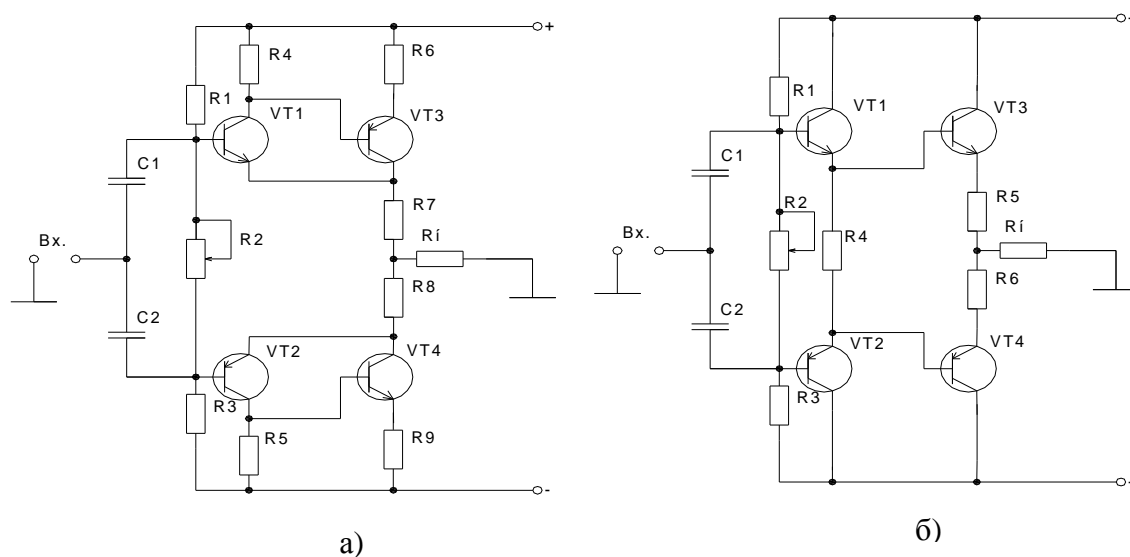
Введение. Большинство современных усилителей звуковых частот (УЗЧ) в аудиосистемах с высокой верностью воспроизведения традиционно выполняют в аналоговом варианте. При этом то или иное техническое решение является результатом компромисса между качеством, экономичностью, габаритами, массой, стоимостью и т.п. УЗЧ с наиболее высокими качественными показателями строят, используя дискретные активные элементы – биполярные (БТ) и полевые транзисторы (ПТ). Многочисленные исследования (например, [1]) показали, что наиболее существенным объективным критерием субъективной оценки качества звучания является нелинейность амплитудной характеристики УЗЧ и искажения переходной или импульсной характеристик. Известно также, что наилучшими показателями обладают УЗЧ, в которых активные элементы работают в режиме А, который, однако, является энергетически самым невыгодным, а для УЗЧ с высокой выходной мощностью – вообще неприемлемым. Очевидно, такой режим можно использовать во входных каскадах УЗЧ, а в выходных – режимы В, АВ или «скользящий» А. Именно выходные каскады вносят искажения в сигнал, подаваемый на громкоговорители, и для уменьшения этих искажений используются различные приёмы при условии сохранения приемлемой экономичности УЗЧ. Эти приёмы сводятся обычно к введению достаточно глубокой (около 40 дБ) отрицательной обратной связи (ООС), охватывающей весь усилитель мощности, либо к совершенствованию схемотехники выходных каскадов УЗЧ, либо к комбинации указанных вариантов.

Постановка задачи. Для оценки достоинств и недостатков указанных приёмов следует выяснить причины возникновения нелинейных искажений в выходных каскадах УЗЧ. По имеющимся данным (например, [2]) основными причинами являются: несоответствие статических характеристик комплементарных пар выходных транзисторов; изменение крутизны при изменении положения рабочей точки (область перехода в режим отсечки на пассивном полупериоде); поочерёдное вхождение в режим отсечки одного из транзисторов на пассивном полупериоде, причиной чего является наличие термостабилизирующих эмиттерных резисторов. Т.е. если, например, придерживаться концепции, игнорирующей указанные причины и предполагающей возможность их нейтрализации за счёт глубокой ООС, то в результате обычно приходится сталкиваться с УЗЧ, который склонен к самовозбуждению, имеет неудовлетворительные импульсные характеристики и, соответственно, средние экспертные оценки. Следует отметить, что само введение общей петли глубокой ООС приводит к новому типу искажений – динамических, которые обусловлены временной перегрузкой каскадов при импульсном сигнале на интервале времени задержки поступления сигнала ООС на вход УЗЧ.

По указанным причинам ряд конструкторов УЗЧ вообще отказываются от межкаскадных ООС, оставляя только внутрикаскадные, и основное внимание уделяют совершенствованию схемотехники выходных каскадов УЗЧ, направленному на предотвращение вхождения выходных транзисторов в режим отсечки на пассивном полупериоде или реализации более сложных вариантов. В частности, в выходном каскаде выделяется сигнал искажений, который используется для предискажения входного сигнала, что приводит к заметному подавлению искажений многих типов при существенном усложнении схемотехники, повышенных требованиях к источнику питания, введении дополнительных транзисторов (их количество удваивается) и т.д. В этом случае сум-

марный коэффициент гармоник (K_{Γ}) даже на половинной выходной мощности не удается сделать ниже 0,2%, хотя экспертная оценка УЗЧ такого типа оказывается достаточно высокой.

Результаты работы. Исходя из всего сказанного, в данной работе предпринято исследование основных схмотехнических вариантов выходных каскадов УЗЧ на предмет внесения гармонических искажений во входной сигнал, предложены и проанализированы возможности совершенствования таких каскадов, направленные на уменьшение указанных искажений. Все используемые в настоящее время варианты выходных каскадов УЗЧ можно разделить на последовательные и параллельные (по питанию), причём каждый из этих типов в свою очередь можно разделить на каскады с дополнительной симметрией и составные симметричные эмиттерные повторители. Упрощённо усилители последовательного типа выполняют по схемам (рис.1):

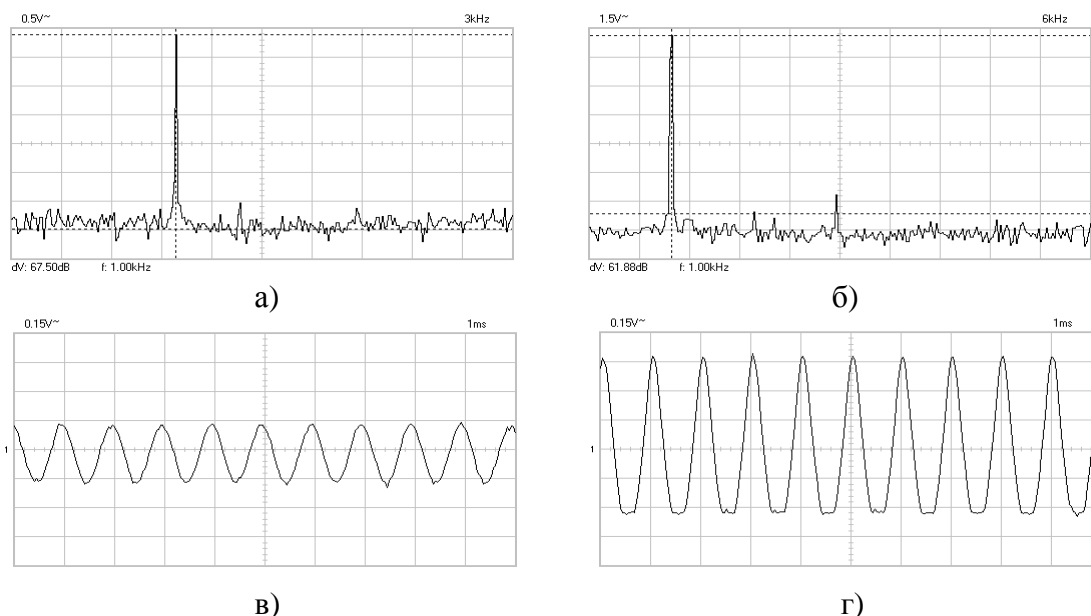


а) каскад с дополнительной симметрией,
б) составной симметричный эмиттерный повторитель

Рисунок 1 – Усилители последовательного тока

Исследования обоих вариантов УЗЧ показали, что усилитель по варианту а) имеет $K_{\Gamma} \approx 1\%$ при $P_{\text{вых}} \approx 0,25 P_{\text{вых макс}}$, а при увеличении выходной мощности K_{Γ} резко возрастает. На рис.2 приведены спектрограммы выходного сигнала на частоте 1 кГц до и после возрастания, а также соответствующие осциллограммы напряжений на резисторах R6 и R9 (токи VT3 и VT4).

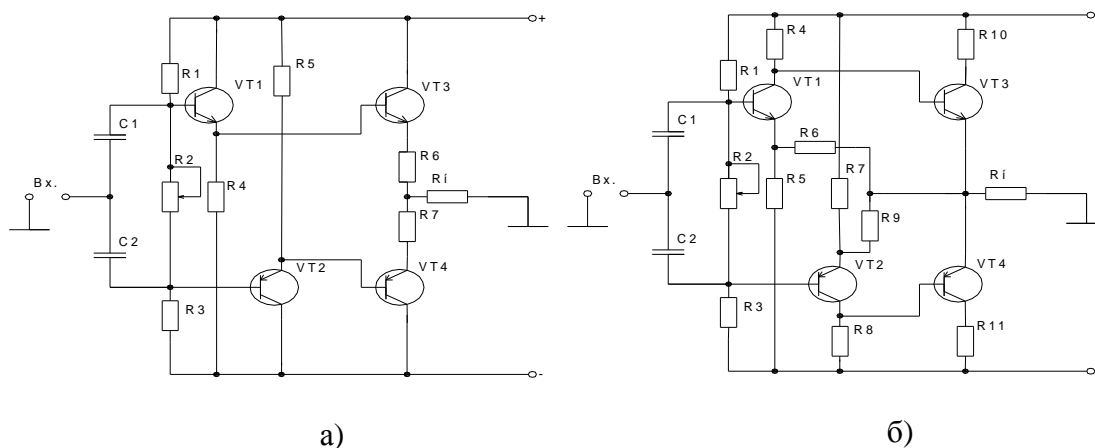
Результаты исследования УЗЧ по варианту рис.1, б) показали, что переход к резкому возрастанию K_{Γ} происходит при $P_{\text{вых}} \approx 0,5 P_{\text{вых макс}}$, т.е. этот вариант является более предпочтительным, чем вариант на рис.1, а). Из этих же результатов можно сделать однозначный вывод о том, что основной причиной спектральных искажений является вхождение транзисторов выходного каскада VT3 и VT4 в режим отсечки на пассивном полупериоде сигнала. Т.е. даже не прибегая к спектральному анализу, а располагая осциллограммой тока коллектора выходных транзисторов, можно однозначно судить об уровне K_{Γ} по её форме: если функция является гладкой, то $K_{\Gamma} \ll 1\%$, если же на этой функции появляются резкие изломы, то $K_{\Gamma} \geq 1\%$.



- а) спектр выходного сигнала при $P_{\text{вых}} < 0,25 P_{\text{вых макс}}$;
- б) спектр выходного сигнала при $P_{\text{вых}} > 0,25 P_{\text{вых макс}}$;
- в) напряжение на R6 при $P_{\text{вых}} < 0,25 P_{\text{вых макс}}$;
- г) напряжение на R6 при $P_{\text{вых}} > 0,25 P_{\text{вых макс}}$

Рисунок 2 – Спектрограммы и осциллограммы сигналов

Усилители параллельного типа (рис.3) упрощённо можно представить в таких вариантах:



- а) составной повторитель; б) с дополнительной симметрией

Рисунок 3 – Типовые варианты усилителей параллельного типа

Исследования показали, что вопреки положительным рекомендациям относительно этих типов УЗЧ, имеющимся в литературе, такие выходные каскады по гармоническим искажениям уступают показанным на рис.1, а) и тем более – на рис.1, б).

Итак, по результатам исследований выходных каскадов УЗЧ на предмет гармонических искажений (рис.1, 3 и их модификации) было установлено, что оптимальным по всем параметрам является вариант, изображенный на рис.1, б). Именно этот вариант был модернизирован следующим образом (рис.4):

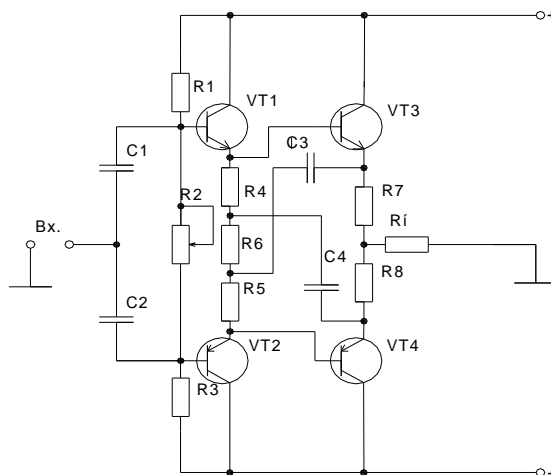
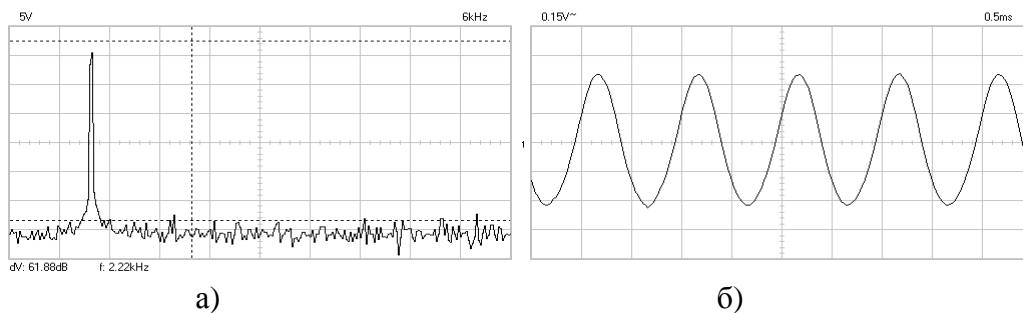


Рисунок 4 – УЗЧ с компенсацией отсечки

В данной работе предложено ввести в базовый вариант (рис.1, б)) новые элементы R_6 , C_3 и C_4 . На положительном полупериоде сигнала большой ток коллектора VT_3 поступает в нагрузку R_n через R_7 и через R_8 , благодаря наличию C_3 и C_4 , причём токи через эти резисторы имеют противоположные направления, так что результирующее напряжение между эмиттерами VT_3 и VT_4 в динамике близко к нулю – не создаётся предпосылок для жёсткого запираения VT_4 . Кроме того, на резисторе R_6 создается противоток, сближающий потенциалы эмиттеров VT_1 и VT_2 . Токи покоя этих транзисторов возрастают, что вызвано необходимостью отслеживания потенциалов на их базах (скользящий А). В результате состояние полной отсечки для выходных транзисторов в пассивном полупериоде не достигается. На рис.5, а) и б) приведены результаты измерений, подтверждающие сказанное выше.



а) спектр выходного сигнала; б) осциллограмма напряжения на резисторе R_7

Рисунок 5 – Спектр выходного сигнала и осциллограмма тока

Как видно из рисунков, даже при выходной мощности, близкой к максимальной, уровень гармонических искажений незначителен – около 0,1%, а при половинной мощности спектр гармоник вообще неразличим на фоне шумов спектроанализатора. Таковой сигнал выходных транзисторов сохраняет гладкую форму вплоть до предельных режимов и хорошо соответствует характеру спектрограмм.

Выводы. Установлено, что основным источником гармонических искажений в выходных каскадах УЗЧ является вхождение выходных транзисторов в режим отсечки на пассивном полупериоде, чему соответствует появление резких изломов на их токовом сигнале.

Из всех существующих схмотехнических вариантов построения выходных каскадов УЗЧ оптимальным является усилитель последовательного тока – симметричный составной эмиттерный повторитель.

Предложен и исследован метод улучшения параметров такого усилителя за счёт незначительного схмотехнического усложнения, в результате чего коэффициент гармоник выходного сигнала снижается более чем в 10 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выходец А.В. Справочник по радиовещанию / Выходец А.В. – К.: «Техника», 1981. – 263с.
2. Король В. УМЗЧ с компенсацией нелинейности амплитудной характеристики / Король В. – М.: «Радио», 1989. – №12 – 53с.

УДК 621.396.67

РЯЗАНЦЕВ О.В., к.ф.-м. н., доцент
ЧЕЧА А.В., магистр
ГНАТЮК М.А., аспирант

Днепродзержинский государственный технический университет

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН УКВ-ДИАПАЗОНА

Введение. Надежная эфирная связь в УКВ диапазоне предполагает выполнение условия прямой видимости, что имеет место далеко не всегда. В этом случае обычно прибегают либо к использованию сравнительно сложных антенных решеток, либо используют активные антенны с широкополосным усилителем, размещенным прямо на антенных клеммах. Первый вариант довольно трудоемок в реализации и требует кропотливой настройки. Для второго варианта обычно используют антенны простой конструкции с малым коэффициентом направленного действия (КНД) и соответственно малой действующей длиной. При этом малый уровень выходного сигнала компенсируется усилителем, но существенно ухудшается отношение сигнал-шум (ОСШ). Очевидно, есть смысл отыскать такой компромиссный вариант, при котором конструкция антенны является простой, а если требуется дополнительное усиление, то широкополосный усилитель должен содержать минимальное количество активных элементов.

Постановка задачи. В данной работе в качестве антенны был использован классический симметричный вибратор, который прост в изготовлении, но дополнительно приняты во внимание следующие обстоятельства. Обычно в подобных случаях применяют полуволновой вибратор ($\lambda/2$ -вибратор), у которого входное сопротивление мало ($\approx 73\text{Ом}$) и позволяет легко согласовать такой вибратор с 75-омным коаксиальным кабелем. В $\lambda/2$ -вибраторе на основной рабочей частоте имеет место резонанс напряжений, в точках питания – пучность тока и узел напряжения. В УКВ диапазоне (средняя частота $f_0 \approx 100\text{МГц}$, $\lambda \approx 3\text{м}$) размеры такого вибратора невелики, но он характеризуется малым значением КНД и, соответственно, действующей длины $l_{\text{д}}$. С другой стороны, если рассматривать эфирную линию связи как длинную линию, то ее можно характеризовать волновым сопротивлением:

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \hat{\eta} \quad ,$$