

УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОУ

ДЖО КИРИАКИС (JOE KYRIAKIS), Apex Microtechnology

В статье анализируются схемы токового буфера, подключаемого к выходу высоковольтного операционного усилителя¹. Рассмотрены достоинства и недостатки каждой схемы. Предложен улучшенный вариант выходного каскада класса «AB». Проведено моделирование и лабораторные испытания предложенного варианта. Их результаты представлены в виде осциллограмм.

ВВЕДЕНИЕ

Нередки случаи, когда при использовании высоковольтных операционных усилителей (ОУ) требуется получить

выходной ток вплоть до 1 А. Задача отнюдь не тривиальная, т.к. для того чтобы получить выходной ток более 0,2 А уже, как правило, необходима

дополнительная схема. Наиболее удачным решением является использование токового буфера (бустера). Величина усиления буфера по напряжению должна быть приблизительно равна 1.

При выборе топологии буфера следует определить тип выходного каскада: как правило, используется класс «B». Но такой выбор не всегда возможен в силу того, что в этом каскаде возникает искажение при переходе через ноль, когда закрывается один ключ, например верхний, и открывается другой — нижний. Если такие искажения нежелательны, лучше использовать выходной каскад класса «AB». В этом случае искажения минимальны, т.к. петля ОС остается замкнутой при коммутации. Но в каскаде класса «AB» довольно трудно установить ток покоя — он нестабилен и чувствителен к изменению внешних факторов.

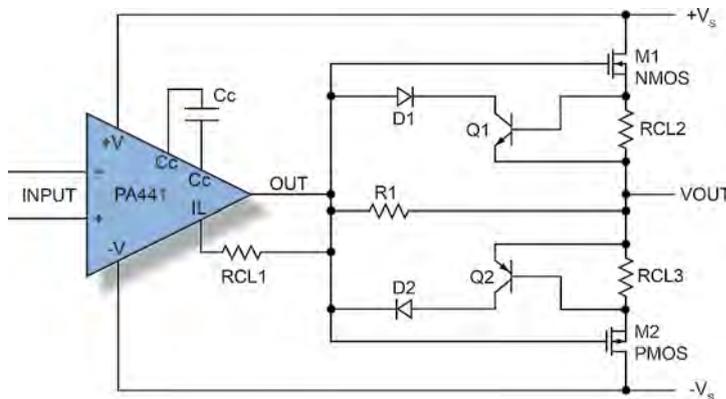


Рис. 1. Подключения токового буфера к выходу ОУ

Input — вход

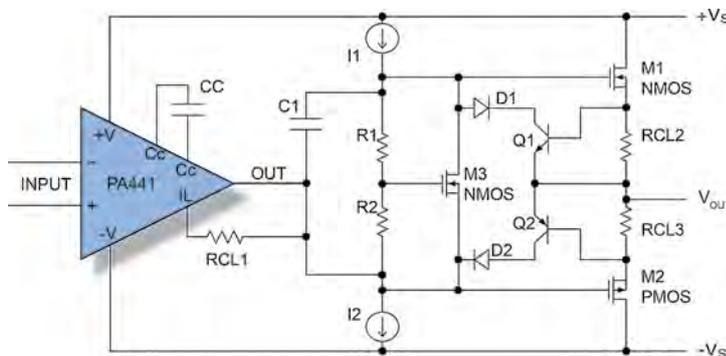


Рис. 2. Традиционная схема каскада класса «AB»

Input — вход

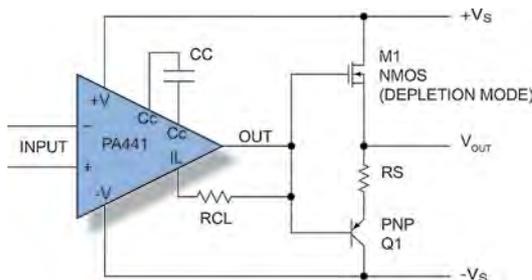


Рис. 3. Упрощенный вариант альтернативной схем топологии класса «AB»

Input — вход; Depletion mode — режим обеднения

ПОСТРОЕНИЕ ТОКОВОГО БУФЕРА

На рисунке 1 иллюстрируется общий метод подключения токового буфера к выходу ОУ. В этой схеме резистор R_1 создает путь току от выхода ОУ (в данном случае PA 441) к нагрузке и ограничивает максимальное напряжение на затворах MOSFET M_1 и M_2 до 10 В. Резистор R_{CL} необходим для ограничения выходного тока ОУ. Его величина и величина R_1 подбирается таким образом, чтобы падение напряжения на R_1 не превысило 10 В. Тем самым ограничивается и напряжение на затворах. Желательно, чтобы выходной ток ОУ был минимально возможным, чтобы уменьшить рассеиваемую мощность.

Резисторы R_{CL2} и R_{CL3} служат для ограничения тока через затворы M_1 и M_2 . Выходной ток создает падение на напряжения на этих резисторах и как только его величина достигает 0,7 В, начинают проводить транзисторы Q_1 или Q_2 , напряжение на затворе MOSFET уменьшается, и он выключается, а ОУ переходит в режим работы с ограничением максимального тока.

Традиционная схема каскада класса «AB» приведена на рисунке 2. Она несколько упрощена, но одним из

¹ В выпуске журнала «Электронные компоненты» №7 за этот год на с. 71 опубликована статья на аналогичную тему — «Малогабаритные усилители для 200-мВт нагрузки».

основных элементов в ней является умножитель, состоящий из затвора M_3 и резисторов R_1 и R_2 . Поскольку с помощью этого узла устанавливается напряжение на затворах MOSFET выходного каскада M_1 и M_2 , обеспечивается стабильный ток покоя каскада. Однако из-за того, что источник тока I_1 на этой схеме гораздо сложнее, чем в каскаде класса «В», и содержит много компонентов, разработчик должен предусмотреть место на плате для всей схемы.

При выборе элементов источников тока I_1 и I_2 размах напряжения на выходе этого узла меньше, чем на выходе ОУ, т.к. для управления затворами M_1 и M_2 не требуется большое напряжение. Заметим, что получить стабильный ток покоя довольно сложно из-за его нелинейной зависимости от напряжения затвора V_{GS} . Элементы схемы M_3 , R_1 и R_2 должны выбираться индивидуально для каждого изделия.

Чтобы избежать рассогласования при нагреве компонентов, тепловые коэффициенты M_1 , M_2 и M_3 должны быть согласованы. Принимая во внимание перечисленные факты, а также температурную нестабильность и нелинейную зависимость тока покоя от напряжения затвора, реализовать на практике эту схему гораздо сложнее, чем каскад класса «В».

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ

На рисунке 3 показан упрощенный вариант альтернативной схем топологии класса «АВ», а на рисунке 4 — полная схема прототипа, изображенного на рисунке 3. Затвор M_1 , работающий в обедненном режиме, задает ток покоя выходного каскада. Ток M_1 задается резисторами R_4 и R_5 . С помощью биполярного транзистора Q_1 устанавливается напряжение затвора V_{GS} M_1 по мере изменения тока нагрузки. Биполярные транзисторы Q_2 и Q_3 проводят ток в нагрузку во время отрицательной полуволны. Использование двух PNP-транзисторов обусловлено необходимостью рассеять требуемую мощность. Максимально допустимая рассеиваемая мощность каждого из них составляет 50 Вт.

Ограничение выходного тока производится с помощью диодов D_1 – D_6 . Учитывая, что в прототипе максимальный выходной ток ограничен на уровне 1,2 А, падение напряжения на резисторе R_6 ограничивает напряжение база–эмиттер V_{BE} транзистора Q_1 и ток через него, т.к. при увеличении напряжения V_{BE} открываются диоды D_1 , D_2 , которые ограничивают напряжение V_{BE} транзистора Q_1 . В рассматриваемой схеме максимальный выходной ток ОУ PA441 с помощью резистора R_{CL} ограничен приблизительно 40 мА. Диоды D_5 , D_6 ограничивают выходное напряжение ОУ PA441 и, тем самым, напряжение V_{GS} MOSFET M_1 , которое, впрочем, остается достаточным для поддержания тока нагрузки, не превышающего максимально допустимого значения. Когда срабатывает схема ограничения максимального тока, выходной ток ОУ PA441 протекает через диоды D_1 , D_2 , D_5 , D_6 . При отрицательной волне выходного тока и срабатывания ограничения ток ОУ PA441 протекает через диоды D_3 , D_4 .

Рассмотренная топология имеет ряд преимуществ, в т.ч. в увеличении размаха выходного напряжения за счет уменьшения падения напряжения на элементах выходного каскада. Кроме того, предлагаемая схема заметно проще. Следовательно, что немаловажно, уменьшается и число компонентов, и место, занимаемое на плате.

Рассмотрим результаты моделирования при различных режимах работы. На рисунке 5 показаны результаты моделирования выходного каскада в режиме класс «А» при работе с малой нагрузкой. Выходное напряжение от пика до пика на нагрузке 7 кОм составляет 100 В, максимальный выходной ток — немногим менее 8 мА. Поскольку токи через транзисторы M_1 и Q_2 , Q_3 всегда больше нуля в течение всего цикла, каскад работает в режиме «А». На рисунке 6 представлены результаты моделирования той же схемы, но в режиме «АВ». Нагрузка схемы составляет 100 Ом. Питание схемы ± 160 В, выходное напряжение от пика до пика — 200 В.

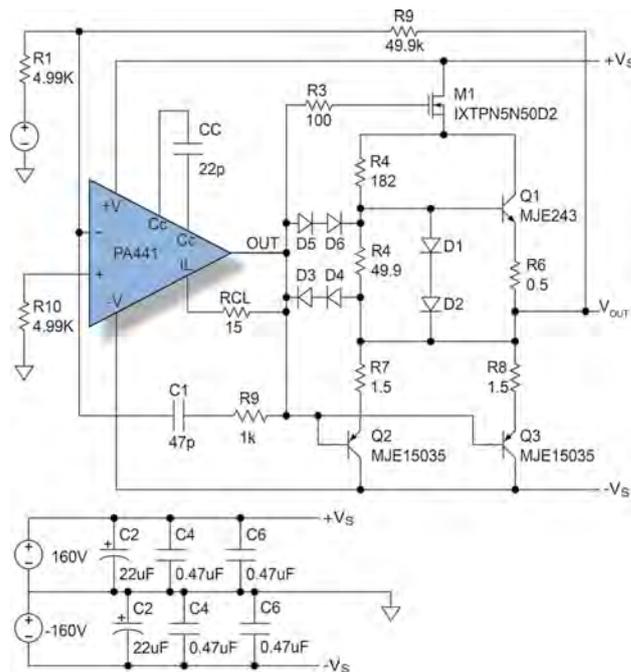


Рис. 4. Схема прототипа топологии, изображенной на рисунке 3

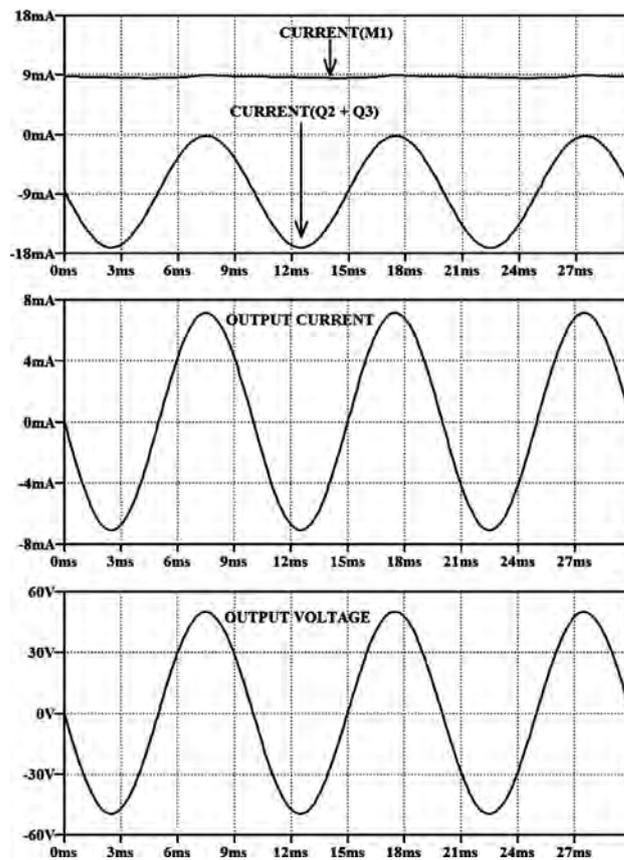


Рис. 5. Результаты моделирования выходного каскада класса «А» при работе с малой нагрузкой

Current — ток; Output current — выходной ток; Output voltage — выходное напряжение

На рисунках 7–8 приведены осциллограммы входных и выходных напряжений, полученные при лабораторных испытаниях. Питание схемы составило ± 160 В, частота выходного сигнала — 10 кГц, ОУ был сконфигурирован по схеме инвертирующего усилителя. На всех рисунках на канале, помеченном «1», отражается выходное напряжение, а на канале «2» — входное напряжение. На рисунке 7 представлены осциллограммы при работе на емкостную нагрузку

0,123 мкФ. Как видно из осциллограммы, схема работает стабильно, искажения выходного сигнала не наблюдаются. На рисунке 8 показана работа схемы при активной нагрузке 100 Ом.

Как видно из осциллограмм, и в этом случае выходной сигнал стабилен, а искажения отсутствуют.

На рисунке 9а показано срабатывание токовой защиты в отсутствие токового буфера.

В этом случае выходной ток схемы ограничивается максимально допустимым током ОУ РА 441 — немногим более 60 мА. При срабатывании ограничения по току искажается форма выходного напряжения. Использование токового буфера класса «АВ» (см. рис. 3–4) увеличивает максимальный выходной ток до величины чуть более 1 А. При этом искажения выходного сигнала не происходит (см. рис. 9 б). На рисунке 10 показана осциллограмма выходного напряжения с амплитудой 150 В, искажения сигнала отсутствуют.

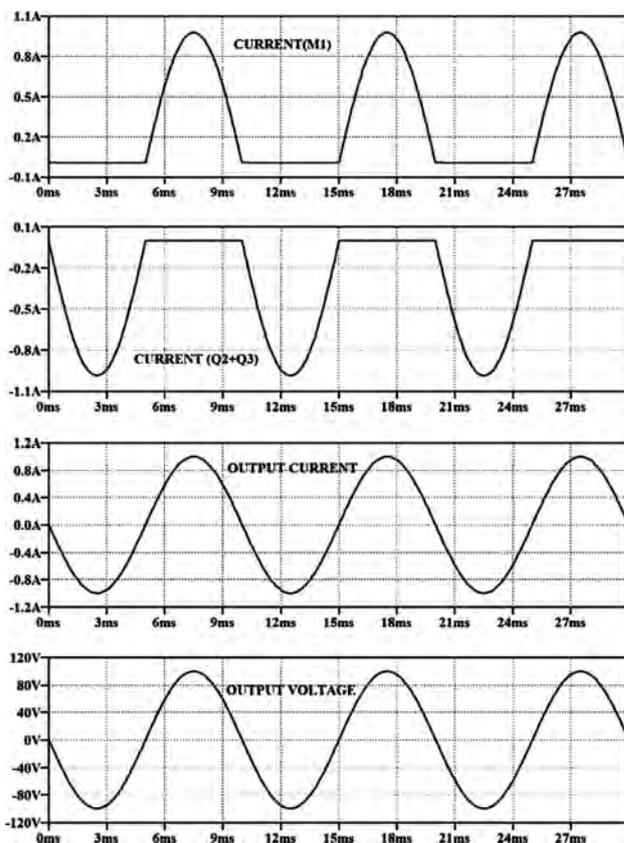


Рис. 6. Результаты моделирования

Current — ток; Output current — выходной ток; Output voltage — выходное напряжение

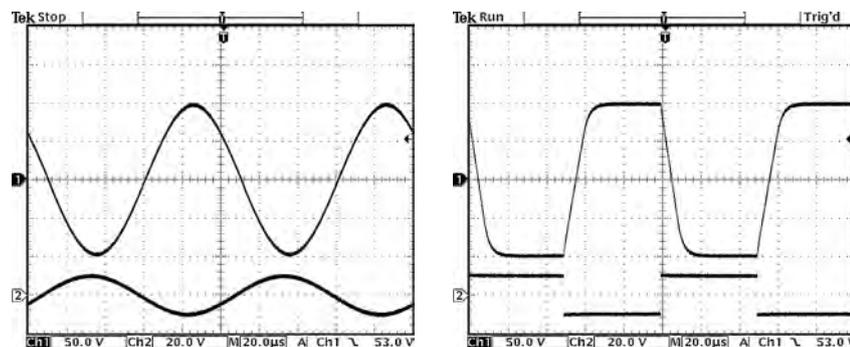


Рис. 8. Осциллограмма работы схемы на активную нагрузку 100 Ом

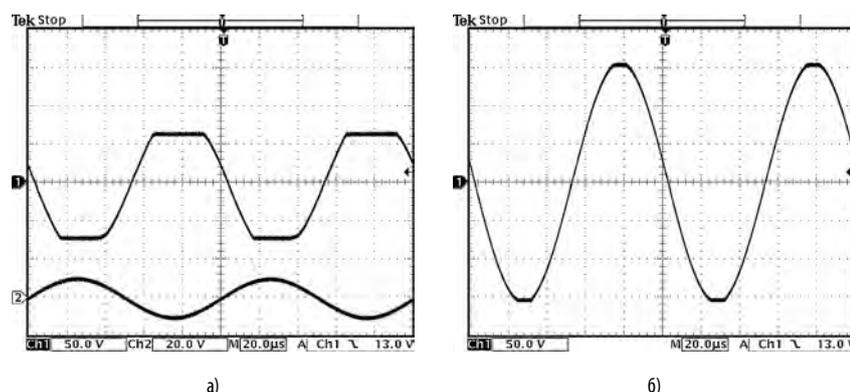


Рис. 9. а) срабатывание токовой защиты в отсутствие токового буфера; б) выходной сигнал с токовым буфером

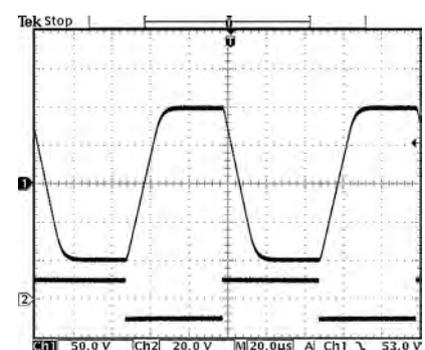
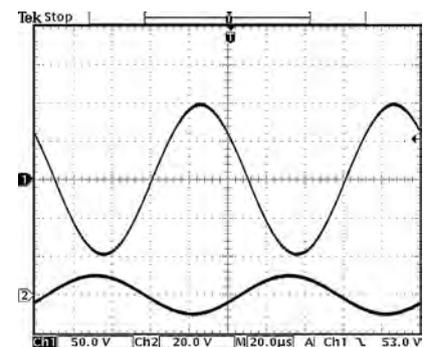


Рис. 7. Осциллограмма работы схемы на емкостную нагрузку 0,123 мкФ

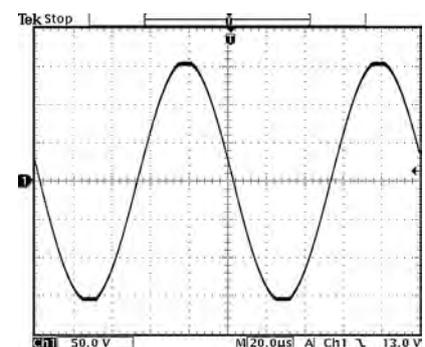


Рис. 10. Высоковольтный выходной сигнал с амплитудой близкой к напряжению питания