

Описание усилителя Zero D 50:

Очень высокие характеристики данного усилителя достигаются за счёт сильного углубления ОС, главным образом в звуковой области частот, путём добавления ещё одного, "более высококачественного" ОУ. Глубина ОС на 20кГц около 70дБ и больше на более низких частотах.

Для сравнения у обычного включения LM3886 с $K_u=12$ глубина ОС на 20кГц всего около 30дБ. Т.е. глубина ОС в звуковом диапазоне у данного усилителя минимум на 40дБ (в 100 раз) больше, чем у стандартного включения и соответственно потенциально искажения на столько же меньше.

Уменьшаются также шумы, они теперь *определяются входным ОУ*. Хорошая устойчивость при такой глубине ОС достигается благодаря многопетлевой ОС и "хитрой" частотной коррекции, с заходом за 180 градусов. Она основана на идее [John-a Yewen-a](#), но значительно усовершенствована. Частота единичного усиления в петле ОС всего 1МГц, что делает схему не столь критичной к монтажу и улучшает повторяемость. Также благодаря "хитрой" коррекции входной ОУ работает с очень малым сигналом (можно сказать как селектор нелинейных искажений, как раз этого и захода за 180 градусов у Yewen-a нет). На его выходе в нормальном режиме работы усилителя [всего до 100мВ](#). Т.е он работает в очень линейном режиме, можно сказать что в плане искажений его характеристики приближаются к идеальному ОУ.

Исследование работы множества прототипов сделало ясным тот факт, что искажения реального усилителя *определяются конструкцией усилителя*. Главным источником искажений являются магнитные поля от цепей питания LM3886, так как они содержат компоненты выпрямленного выходного тока (сигнала). Наводясь на вход усилителя и цепи ОС это приводит к повышению, главным образом чётных, гармоник на ВЧ сигналах (выше 2-3кГц). Для минимизации данного эффекта желательно ставить шунтирующие конденсаторы как можно ближе к LM3886 и минимизировать индуктивность цепей питания (см. ветку).

[График](#) Боде показывает глубину ООС от частоты и фазовый набег. Красным цветом - без U1, т.е. почти стандартное включение LM3886 с усилением около 20, дан для сравнения. При обеспечении критерия устойчивости Найквиста, фаза может заходить за 180 градусов на частотах ниже (и выше) частоты ед. усиления ОС, в данном случае это около 1МГц. Как видно из графика фазовый запас усилителя составляет около 40 градусов. Также видно что срез не 6дБ на октаву, а 12дБ на октаву, так как первые 2 полюса довольно низкочастотные (это полюса самих U1 и U2), хотя с LT1363 второй полюс около 10кГц. В районе 50кГц находится ещё один полюс, образованный коррекцией U1, а в районе 250кГц находятся 2 нуля. Т.е коррекция по сути 3-х полюсная, с небольшим заходом за 180 градусов. График для LM318 дан при номиналах указанных ниже.

Рекомендуемые ОУ на место U1 - LM318, AD8065, LT1363. Для оптимальной работы усилителя на базе LM318, нужно изменить $C_9=68\text{pF}$, $R_{13}=510$, $R_{14}=220$.

Керамические ёмкости и низкоиндуктивные SMD резисторы R17, C11, R39, C51, R40, C52 - опциональные элементы, их номиналы зависят от печатки, если печатки самодельные их лучше вообще *не ставить*.

Чтобы повысить помехоустойчивость, были установлены цепочки C2, R4 и C8, R11. Они

уменьшают коэф. передачи ОС выше 10МГц, тем самым уменьшают уровень помех выше этой частоты на инверсных входах обоих ОУ. В принципе их тоже можно не ставить, так как практически значимый эффект от них не обнаружен. Резистор R15 *намеренно выбран* слегка большего номинала чем R7+R8, для уменьшения напряжения на выходе U1. C1 - составной, параллельно 390пФ запаивается чего то типа 22...47пФ.

На схеме нет выходного фильтра - я использовал 18 витков на 8 мм оправе провод 1.5 мм и параллельно 10 ом резистор, они были размещены прямо на выходных клеммах.

Также параллельно выходным клеммам нужно поставить последовательную цепочку из плёночного 0.1uF и 2Вт 10ом резистора. Для питания (перед стабилизаторами) я использовал 2 моста из диодов шоттки и 2x3x10000uF на канал.

Для достижения описанных характеристик усилитель нужно делать исключительно как двойное моно.

При соблюдении номиналов и точности входных цепей и цепей ОС, необходимости в настройке нет. Иначе желательно подобрать C1 по минимуму напряжения на выходе U1, подав на вход синус 20кГц около 0.25 вольта. Если не удаётся достичь нужного уровня подбором C1, то нужно проверить уровень на выходе U1 на низких частотах (100Гц, 0.25В) и если уровень выше 20мВ(?) надо подобрать R15, а потом C1 как описано выше.