

## Усилитель мощности S-AUDIO ZD-50

Очень высокие характеристики данного усилителя достигаются за счёт глубокой ОС, главным образом в звуковой области частот. Усилитель основан на широко известной микросхеме LM3886. Глубокая ОС достигается путём добавления ещё одного, "более высококачественного" ОУ. Таким образом глубина ОС на 20KHz *достигает 70dB* и больше на более низких частотах.

Для сравнения у обычного включения LM3886 с  $K_u=12$  глубина ОС на 20KHz всего около 30dB. Т.е. глубина ОС в звуковом диапазоне у данного усилителя *минимум на 40dB (в 100 раз)* больше, чем у стандартного включения и соответственно потенциально искажения в звуковом диапазоне 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. Схема основана на идее композитного операционного усилителя [1], но значительно усовершенствована. Частота единичного усиления в петле ОС *всего 1MHz*, 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). На его выходе в нормальном режиме работы усилителя всего около 100mV [График 1]. 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 2-3KHz). Для минимизации данного эффекта желательно ставить шунтирующие конденсаторы как можно ближе к LM3886 и минимизировать индуктивность цепей питания. Реально измеряемые гармонические искажения у последнего прототипа (версия D7.12.86) на 10KHz 50W 4Ohm около 0.0001%.

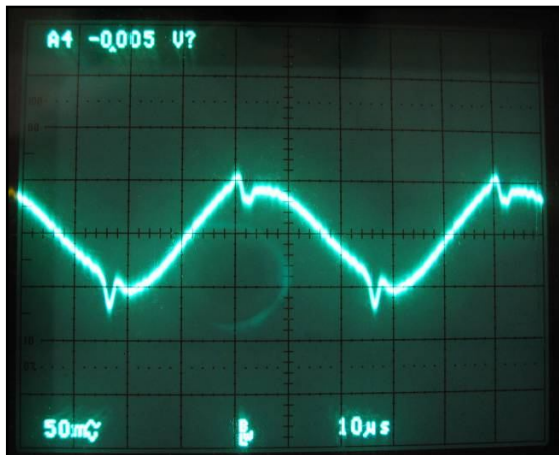


График 1. Напряжение на выходе U2.

График Бode показывает глубину ООС от частоты и фазовый набег. Красным цветом - без U2, т.е. почти стандартное включение LM3886 с усилением около 20, дан для сравнения [График 2]. 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 1MHz. Как видно из графика фазовый запас усилителя составляет около 40 градусов. Также видно что срез не 6дБ на октаву, а 12dB на октаву, так как первые 2 полюса довольно низкочастотные (это полюса самих U2 и U3), хотя с LT1363 второй полюс около 10KHz. В районе 50KHz находится ещё один полюс, образованный коррекцией U2, а в районе 250KHz 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.

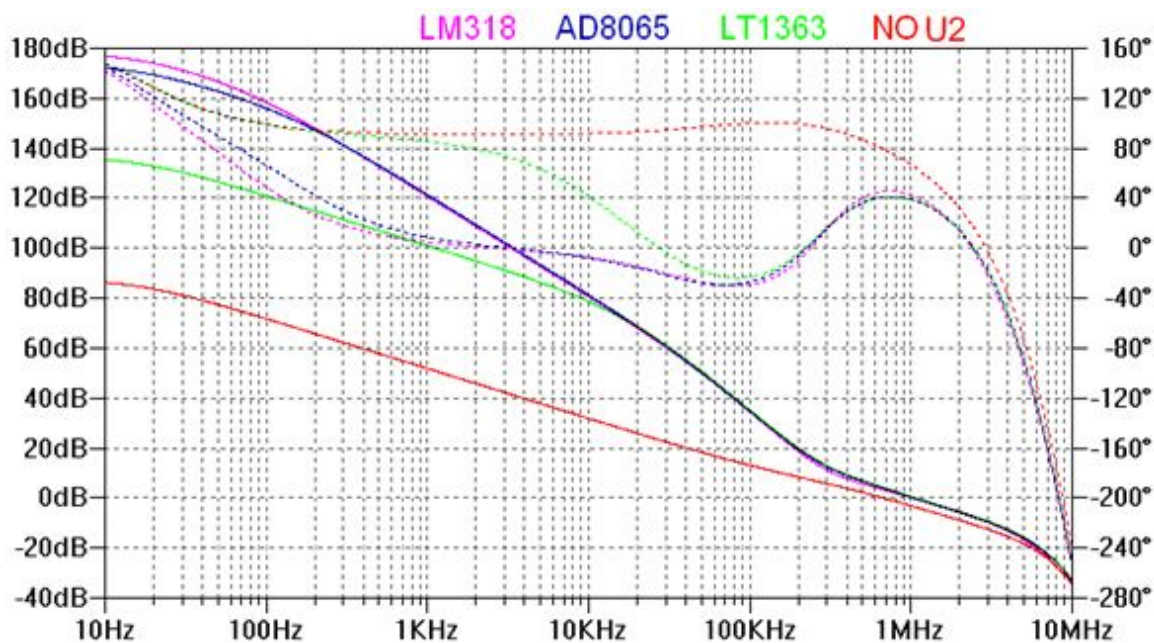


График 2. Глубина ОС усилителя и фазовый набег в петле ОС (график Боде).

Рекомендуемые ОУ на место U2 - LM318, AD8065, LT1363. Для оптимальной работы усилителя на базе LM318, нужно изменить  $C_{14}=68\text{pF}$ ,  $R_{21}=510$ ,  $R_{22}=220$ .

Чтобы повысить помехоустойчивость, были установлены цепочки  $C_8$ ,  $R_{12}$  и  $C_{11}$ ,  $R_{15}$ . 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.  $C_7$  - составной, параллельно 390pF запаивается чего то типа 22...47pF.

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 желательно поставить последовательную цепочку из плёночного 0.1μF и 2Вт 10 Ohm резистора. Для питания одного канала усилителя я использовал 2 моста из диодов шоттки и соответственно 2 конденсатора 22000μF x 50V.

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  $R_{22}$  по минимуму напряжения на выходе U2, подав на вход синус 100Hz около 0.25 вольта и  $C_7$  по минимуму напряжения на выходе U2, подав на вход синус 20KHz около 0.25 вольта.

#### Литература:

1. Yewen J. High-precision composite op-amps. Electronics & Wireless World, vol.93, no.1612, Feb. 1987, pp. 227-8.
2. С. Агеев. Сверхлинейный УМЗЧ с глубокой ООС. Радио, 10/1999, 11/1999.
3. B. J. Lurie, Paul J. Classical Feedback Control with MATLAB. ISBN 0-8247-0370-7