

Кстати, как ты думаешь (давай на ты) поменять мне всё-таки в Меридиане эти грёбаные операционники (NE5534) ?

Ясен пень - менять, но только не тупо. Чего там они наколдовали то, схемы выходных каскадов нет?

Как вариант - сделать махонькую платку с ОУ, на которой, собственно, и будут новые опера (там собственно только выходной фильтр то на опере и нужен), и прицепиться к выходам цап. С платки - непосредственно на выход.

Схемку фильтра можно взять стандартную из evaluation board на CS4329/4390 (валяется на циррозовском сайте).

Так как I/U у цапа встроенный, опер нужен с обычной ОС, высокоскоростной, одиночный, что-нибудь типа AD825, AD843, 845. Кондюки в фильтр - полипропил фольговый, в крайнем случае металлизированный, ни в коем случае не керамика. Питание, этим операм просто необходимо минимум +/-12в, а еще лучше +/-15, чего там кстати с ним (напряга сколько, и откуда оно берется)? Вместо интегральных стабов лучше использовать дискретные - малошумящая опора - усилитель ошибки на операционнике - регулирующий транзистор. Примеры таких стабов можно нарыть здесь. Кстати и статьи про цапы почитай, как надо делать.

<http://lynxaudio.narod.ru/article.htm>.

Там - грамотно и подробно и про опера и про питание.

### **Сергей Агеев:**

По порядку.

1) 5532 и 5534.

Во-первых, 5532 - это сдвоенный и насмерть закорректированный 5534.

Линейность "по выходу" у них близка, хотя 5534 лучше (до сих пор в тройке лидеров).

Основным недостатком 5534 и 5532 является то, что их входной дифкаскад не имеет эмиттерных резисторов. Поэтому при их применении необходимо обеспечивать, чтобы дифференциальное входное напряжение непосредственно между входами не превышало 2...4 мВ в пике. Собственное усиление 5534 на 20 кГц составляет около 3000 раз, а 5532 - около 1200. Из-за этого при выходном сигнале 12-13В в пике 5532 будет давать заметные интермодуляционные искажения на ВЧ (примерно в 20-30 раз больше, чем 5534). Изначально 5534 позиционировался как "нормальный" ОУ, а 5532 предназначался только для малосигнальных цепей. К сожалению, в погоне за дешевизной везде стали ставить 5532, хотя он для этого изначально не предназначен.

2) 4560/4562, 4570, 4580, LM833 - одного поля ягоды. Три последних практически неотличимы, только у 4570 поменьше входные токи, он самый малошумящий из них. Все они по выходной линейности уступают 5532 (другая схемотехника), и годятся только как малосигнальные. Лучший среди них по линейности - LM833.

Есть также любопытный чип LM837, он по качеству занимает промежуточное положение между 5532 и 5534, и при этом счетверенный. Благодаря квазиднотактному выходу звучит мягко.

Для всех перечисленных выше ОУ, как и для пресловутого AD797, недопустимо попадание ВЧ-мусора - он легко перегружает входной дифкаскад, после чего звук - помойка. Для качественной работы требуют очень продуманной разводки, на однослойной плате их лучше не применять. Кстати, именно поэтому в пультах SSL 5534 звучит безупречно, а в бытовой аппаратуре - далеко не всегда.

3) OPA132/134. Довольно хорошая линейность как по выходу, так и по входу, по использованию питания приближается к чемпионам - 5534 и LM318. В отличие от OPA604/2604 почти не страдает

детектированием ВЧ во внутренних каскадах (в наименьшей степени этому подвержен AD842). Высокоомный полевой вход, но в инвертирующем включении работают хуже, чем в инвертирующем. Не особо критичен к разводке.

Среди упомянутых ОУ по чувствительности к ВЧ-мусору ряд такой: лучше всего AD842/841, затем AD843 или LM318P (Texas!), затем OPA132/134/2132/2134, затем (заметьно хуже) AD797, 5534, еще хуже LM837, и совсем плохи 5532, LM833 и 4560-4580.

В качестве универсального "дубового" (т.е. хорошо работающего даже при неидеальном обрамлении и условиях), я не встречал лучшего варианта, чем LM318, особенно если ему на выход поставить генератор тока. Конечно, в каждом конкретном случае, переделав схему, можно найти и лучшее решение, но это - дешево, хорошо работает всегда, а лучшее - враг хорошего...

---

Так случилось, что недавно мой знакомый умелец решил поупражняться в изготовлении аудио-цапов, в связи с чем и попросил меня поднять материалы на эту тему, оставшиеся от создания ультрапрецизионного генератора сигналов (уровень побочных продуктов -116...-120 дБ до 50 кГц, это НАСТОЯЩИЕ 20 бит). (Как мне кажется, для звука такое качество даже в чем-то излишне - вероятно, вполне достаточно ЧЕСТНЫХ 16 бит. Но это кому как ).

Подумав, я решил, что эти соображения могут быть интересны многим самоделщикам (у меня на это, к сожалению, давно нет времени...).

Итак, о чем речь?

Во-первых, нужно определиться с типом ЦАП - сигма-дельта или традиционный, R-2R. По мне это скорее вопрос религиозных предпочтений, однако я должен заметить, что правильно выполненный "классический" ЦАП обеспечивает заметно меньший уровень интермодуляционных искажений и модуляционного шума на высоких частотах и больших сигналах. Другое дело, что для реального получения этих преимуществ нужно очень много провозиться с конструктивным исполнением и подбором элементной базы, стандартный цифровой фильтр при этом тоже не совсем то, что надо. Для генератора, ЦАП которого читает данные из массива памяти, я сделал фильтр программно, при записи этих данных. Для аппаратных решений рекомендую PMD-шки, подробное описание ("почему") - достаточно сложно и займет слишком много места, единственное что - не гонитесь за большой передискретизацией, 2x (в крайнем случае 4x) вполне достаточно.

Потом, очень многое зависит от того, должна ли эта вещь выпускаться серийно или достаточно нескольких экземпляров.

Для любителя, не обладающего опытом и качественным измерительным оборудованием, я бы порекомендовал не гнаться за экстремальными формальными характеристиками, как бы этого кое-кому ни хотелось, а обращать внимание только на то, что действительно важно для качества звука - например, нет нужды гнаться за шумом ниже -90 дБ, в самой фонограмме (не в паузе) его всегда намного больше.

Гораздо важнее обеспечить "прозрачность" в отношении искажений, и в первую очередь интермодуляционных, причем возникающих именно при работе от ЦАП, выдающих "иголки" тока, а не от "чистеньких" лабораторных генераторов, на которых померены цифирки в даташитах.

Что это значит на практике для единичных экземпляров, делаемых "на коленке" или на кухне ?

1) избегайте ставить в качестве I-U конверторов ОУ, характеризующиеся резким ростом искажений

с частотой (динамической нелинейностью), какие бы красивые цифры на них ни приводились. Так, ОРА604 в данной ситуации не фонтан, как раз из-за большой динамической нелинейности, 5532 - вообще малоприменим. Проверка отсутствия заметной динамической нелинейности в любительских условиях может быть выполнена при помощи просмотра выходного сигнала ОУ на широкополосном (>> 150-200 МГц) осциллографе при усилении этим ОУ высокочастотных сигналов, вплоть до частоты единичного усиления (10-20-40 МГц), причем именно в таком включении, как будет потом использоваться, и меняя как амплитуду сигнала, так и его постоянную составляющую. Если при этом обнаружится, что на сигналах с размахом меньше 0,5В на выходе появится заметная "кривизна", или, что еще хуже, "зигзаг", "ступеньки" - это не годится. До скорости нарастания в 70-80% от максимальной, выходной сигнал должен быть ЧИСТЫМ!

2) Полевой или биполярный вход у ОУ - на самом деле особого значения не имеет, тем более что многие быстрые ОУ с полевым входом представляют собой не что иное, как биполярный ОУ, снабженный входными истоковыми повторителями (например, ОРА655 и AD843). Современные FastFet от Analog Devices, судя по соотношению параметров, похоже, из той же серии.

При достаточной величине эмиттерных резисторов линейность биполярного каскада заведомо выше, а нелинейность емкостей - меньше, чем у полевого, по крайней мере интегрального, с небольшими напряжениями отсечки. Об этом, кстати, писал еще Douglas Self лет десять назад.

3) Сплошная "земляная" плоскость с одной стороны, "заливка" свободных мест "землей" с другой стороны и бескорпусные блокировочные конденсаторы вместе с резисторами при разводке платы ОБЯЗАТЕЛЬНЫ. При разводке не экономьте на месте - вытяните тракт "в линейку", чтобы никаких цифровых цепей и близко к аналоговой части не было! Не забывайте и про экраны (можно из обычной жести от консервных банок), обязательно пропаянные по периметру на земляные слои. Довольно хорошее руководство по расстановке блокировочных конденсаторов и разводке плат можно найти в материалах Analog Devices, следование этим рекомендациям избавляет от существенных ошибок, кои сплошь и рядом "имеют место" у самых именитых фирм .

4) Если будете использовать ОУ с обратной связью по напряжению, то постарайтесь выбрать ОУ с максимальным произведением усиления на полосу (не частотой единичного усиления, она может быть и небольшой, мегагерц 10, а именно с как можно большим усилением на частотах порядка 50 - 100 кГц). В этом отношении очень большие возможности представляют некоторые старые ОУ с внешней коррекцией, такие как LM725, но разработка и доводка альтернативных корректирующих цепей для них - занятие не для любителей. Поэтому практичнее всего взять т.н. "частично скорректированный" ОУ, обеспечив его устойчивость введением корректирующей RC-цепочки между входами (изготовители часто дают вполне внятные рекомендации на этот счет, посмотрите Datasheet LF357 или ОРА637), по этой же причине 5534 (если его корректировать такой цепочкой, а не стандартным конденсатором) много лучше 5532. Эффект снижения искажений от этой меры невозможно переоценить - поскольку доминирующим источником искажений на высоких частотах у 95 процентов ОУ является нелинейность входного каскада, НЕ ОСЛАБЛЯЕМАЯ обратной связью, снижение величины сигнала, прилагаемого к входу ОУ, обеспечиваемое этой цепочкой, резко снижает искажения (примерно в квадрат степени раскорректированности, для ОУ, скомпенсированных на 5 - в 20-30 раз), и, что самое главное, снижает их порядок - уровень интермодуляционных составляющих высших порядков снижается еще сильнее. Более того, без подобных мер ОУ с биполярным входом, если у него нет эмиттерных резисторов, в данном месте просто НЕЛЬЗЯ применять (см. даташит на AD797, там, правда, стоит один конденсатор, но для устойчивости лучше с ним последовательно включить небольшой резистор). Элементы этой RC-цепочки должны иметь максимально короткие выводы и стоять как можно ближе к ножкам (а то и напаяны прямо на них). Номиналы для каждого типа ОУ нужно заранее рассчитывать и потом подбирать. Если есть особо чувствительный осциллограф, на котором видно несколько микровольт в полосе 200-500 кГц, при подборе желательно добиться минимального остаточного

сигнала между выводами ОУ при воспроизведении ЦАП-ом белого шума.

Для начала я бы порекомендовал применить ОРА637, как намного менее "капризный", чем большинство других и достаточно малозумящий, хотя мои личные симпатии в данном применении на стороне AD842.

5) ОУ с обратной связью по току, при всей их привлекательности, во-первых, шумны из-за большого шумового тока по "-" входу (что, впрочем, реально на качество звука почти не влияет), и во-вторых, что более существенно, довольно часто страдают "тепловыми" искажениями, недостаточным усилением и линейностью на низких частотах. Тут надо смотреть, даны ли времена установления с большой точностью (лучше 0,05%) и не указано ли отсутствие тепловых "хвостов" - изготовители вряд ли забудут похвастаться этим трудно достигаемым свойством .

Из ОУ с токовой ОС, кроме перечисленных Алексом (Никитиным), я бы еще порекомендовал CLC5665 (он, кстати, весьма недорог), AD846, AD9618, AD811.

Из-за довольно высокого быстродействия, для реализации своего потенциала практически все они требуют очень качественной разводки, будучи более критичны к ней, чем ОРА627/637.

Более свежие не пробовал, некогда, кто попробует - пишите .

-----  
-----

Добавлю только что ОРА637 весьма капризная, и при единичном усилении свистит ( что впрочем, в даташите указано). Так что с ней лучше не связывайся.

Чего непонятно спрашивай. Да, кстати, выход не балансный?

И помни! Хороший опер в данном случае может реально показать убогость цапа - и покажет:).

- например, я менял ОУ и обвязки и кондеры и питание и т.д. себе и не себе и уверенно заявляю - NE5534, NJM4560, 2114, ОРА2134, ОРА2604 - в данном случае Г, Д и Ацтой, надо их выкинуть к едрене фене и килобаксовые сидюки будут в заднице по сравнению даже с цапом 4390. И осконы ставить куда надо и полипропилен и реклокинг делать - все это дает заметное улучшение.

ОУ еще порекомендую LT1360 одиночный или 1364 сдвоенный.