

Цифровая контрреволюция.

О милый брат, какие звуки!

В слезах восторга внемлю им.

А.С. Пушкин.

До нас не дошли сведения, какой источник сигнала был у великого поэта, но с большой долей вероятности можно предположить, что прослушивание своих любимых мелодий на современных недорогих CD проигрывателях, являющихся основным источником музыки для подавляющего большинства населения, скорее всего сподвигло бы такую эмоциональную личность на продолжение его же темы " Выпьем с горя.... Где же кружка?".

Действительно, ещё не родился CD проигрыватель, способный своим звучанием вызвать бурю чувств и море восторга у кого-либо кроме продавцов, его предлагающих. Объявив проект CD исчерпавшим себя, и просто списав все недостатки в звуке на несовершенство формата CD, гиганты звукоиндустрии устроили очередную цифровую революцию, отгородили его баррикадой презрения и под широко развевающимися знаменами новых цифровых форматов перешли по другую сторону этой баррикады, зазывая рядовых потребителей с кошельками последовать их примеру.

Во времена первой цифровой революции точно такая же ситуация происходила с предшественником CD – виниловой грампластинкой. Тогда эта акция увенчалась успехом, отчасти от того, что звучание бытовых аналоговых источников звука тех времён действительно не блистало (их и так хорошо покупали, на дальнейшие изыскания не было времени – нужно было заниматься увеличением производства), отчасти из-за благоговейной веры в технический прогресс, которая заставила рынок сходу заглотнуть огромное количество первых CD проигрывателей, не оставив времени на вдумчивые раздумья и сравнения. А потом стало уже слишком поздно, потребитель был вынужден принять навязанные ему правила игры и начать раскошелиться, что быстро привело гигантскую индустрию цифрового звука практически к монопольному положению на рынке.

Именно в это время по всему миру начинают действовать партизанские отряды любителей винила, своим энтузиазмом и впечатляющими достигнутыми результатами вовлекающие в свои ряды все новых и новых сторонников. Оказалось, что когда формат грампластинки уже практически умер, а с ним исчезла и бешеная гонка производителей, державшая внимание всего мира в напряжении, спокойный анализ, неторопливое совершенствование конструкций и обмен уже незасекреченной информацией, позволили поднять звучание старого формата на недостижимую для его приемника высоту.

В настоящий момент, когда все крупные производители в основной своей массе сдали документацию на производимые ими CD проигрыватели в архив и сосредоточили все свои усилия на новейших разработках, описание которых начинается с магических цифр и букв, выведенных крупным шрифтом, для рядового потребителя настал момент решать – так ли уж плох старый формат CD и так ли уж хороши новые цифровые форматы и стоит ли опять за свои же деньги вновь становиться революционером?

Как следует из названия нашей статьи, автор предпочитает оставаться в оппозиции новоявленным революционным лидерам, рекомендует и Вам не спешить заменять цифровой источник сигнала в своём тракте, а также призывает спокойно и рассудительно разобраться в особенностях цифровой звукотехники, которые сплошь и рядом представляют собой нагромождение тиражированных в производстве ошибок и недоработок. Внимательное следование нашим рекомендациям при самостоятельном изготовлении описанных конструкций позволит Вам получить в

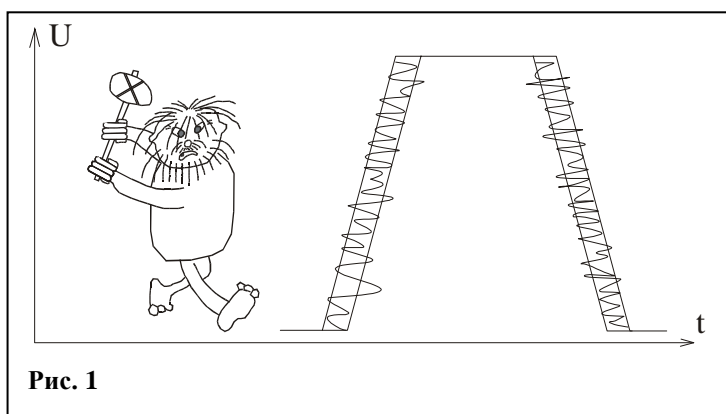
личное пользование источник звука, не уступающий своим заморским собратьям с тяжёлыми ценниками на сверкающей груди. Данная статья со всеми последующими своими продолжениями в своей основе содержит уже описанную нами ранее конструкцию (см. "Практика" №1/2001 июнь)

Т.к. любой CD проигрыватель представляет собой цифровое устройство, то в его состав обязательно должен входить задающий генератор, синхронизирующий работу всех его узлов и возможных внешних устройств. Рассмотренный нами ранее DAC не содержит в своем составе задающего генератора, вместо него используется сигнал, выделяемый из сигнального потока, поступающего с цифрового входа, который, в свою очередь, привязан к задающему генератору CD проигрывателя, используемому нами как транспорт.

подавляющее большинство CD проигрывателей, представленных на рынке во всех ценовых категориях, имеют в своем составе дешевые генераторы, собранные на стандартных логических элементах, имеющих характерный высокий уровень внутреннего аналогового шума. Принцип работы кварцевого генератора заключается в подаче на вход логического элемента сигнала с его выхода, отфильтрованного кварцем. При этом амплитуда полезного сигнала на входе составляет величину порядка 100 милливольт. Этого достаточно для обеспечения стабильной работы такого генератора. Однако в этот сигнал подмешивается аналоговый шум логического элемента величиной порядка 100 микровольт, что вызывает хаотическое смещение во времени момента изменения логического состояния относительно ожидаемого значения. При цифро-аналоговом преобразовании такой сигнал опять будет содержать в себе аналоговую помеху. Т.к. отношение величин полезного и шумового сигнала составляет величину 1000, легко подсчитываем соотношение сигнал/шум в 40 дБ. Т.к. обычно тактовый генератор имеет рабочую частоту, значительно большую, чем частота дискретизации, ситуация становится не такой уж плачевной, опуская строго обоснованные математические расчеты добавим еще 30-35 дБ. Результирующее значение параметра сигнал/шум составит всего 70-75 дБ, что бесконечно далеко от заявленного потенциала формата CD в 96 дБ! А ведь мы рассмотрели всего лишь одну причину сужения динамического диапазона! Повторим, что такая ситуация встречается в 99% CD проигрывателей.

Приведенная безрадостная картина относится к варианту, когда генератор собран на отдельной логической микросхеме. В случае же, когда он интегрирован в состав достаточно сложных сигнальных процессоров (например, цифрового фильтра), оказывается, что в рассмотренном выше случае владельцу аппарата ещё достаточно крупно повезло, т.к. результатом такой интеграции будет уменьшение динамического диапазона еще на десяток-другой дБ, связанный с добавлением к рассмотренному аналоговому шуму генератора ещё и помех от остальных узлов по внутренним шинам питания микросхемы. В результате на выходе CD проигрывателя мы имеем хорошо узнаваемый звук, получивший обидное прозвище "цифровой".

Кто же виноват, и что же нам теперь делать? Попробуем сначала разобраться с виновником всех наших бед. В цифровой технике он единственный и поэтому самый страшный злодей, гордо носящий свое зловещее имя ДЖИТТЕР. Из наших читателей наверняка кое-кто о нем уже кое-что от кого-то слышал, теперь настало самое время взглянуть ему прямо в лицо:



Тот бородач, который из всех сил колошматит своей кувалдой по нашему цифровому импульсу, стараясь сбить его со скалы времени, и есть ДЖИТТЕР. Он прячется внутри каждого цифрового аппарата и полностью изгнать его оттуда не представляется возможным. Уменьшение его

свирепости и есть главная задача разработчика аппаратуры.

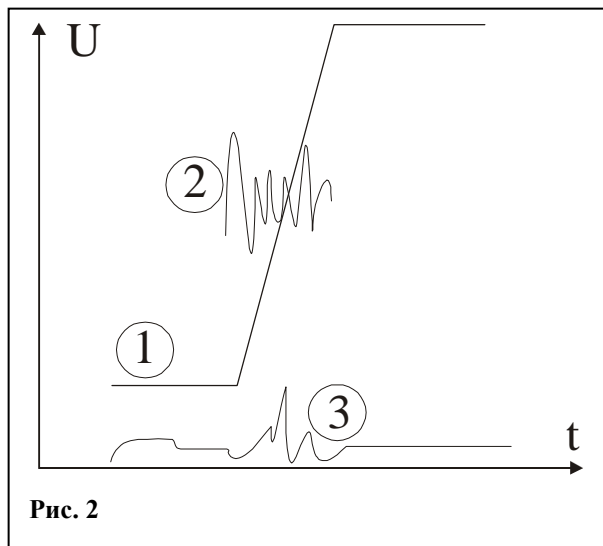
Наш бедный цифровой импульс дребезжит как главный соборный колокол. Если представить такой импульс в качестве стойки для аппаратуры, мало найдется желающих разместить на ней свой CD проигрыватель. Информацию о том, что такие импульсы всюду разгуливают внутри наших аппаратов также нельзя назвать хорошими новостями. Однако в нашей суровой реальности всё обстоит именно так. Ниже мы постараемся рассказать, как найти, поймать и обуздать этого злодея.

Итак, постараемся сформулировать более четко определение джиттера. Джиттер – это отклонение в реальном масштабе времени основных параметров цифровых сигналов относительно строго определённых ожидаемых значений, приводящее к деградации получаемого в итоге аналогового сигнала. Любое цифровое устройство имеет свой масштаб времени, формируемый задающими импульсами. Если последовательность этих импульсов неравномерна, ось времени, в котором живет данное цифровое устройство, также становится неравномерной. Другими словами, искажения оси времени, обусловленные джиттером, во время пребывания аналогового сигнала в цифровой форме, приводят в итоге к искажению формы этого сигнала после цифро-аналогового преобразования. Следует отметить, что джиттер проявляет себя только в процессах, протекающих в реальном масштабе времени, к которым, в первую очередь, относятся процессы записи на конечный цифровой носитель (наглядно заметен при сравнении хорошо записанного CD и его пиратского собрата) и воспроизведения с него. Джиттер не оказывает влияния на информацию при промежуточных процессах её обработки, т.е. копировании, хранении, записи на промежуточные носители и т.д. Нас же будут интересовать методы борьбы с джиттером в процессе воспроизведения цифрового сигнала. Характерными его проявлениями являются различия в звучании различных цифровых кабелей и CD транспортов.

Невнимательность большинства разработчиков серийной аппаратуры к вопросам борьбы с джиттером на фоне определенных успехов в области аналоговой схемотехники приводит к тому, что замена цифрового кабеля в связке CD транспорт – конвертор значительно более заметна, чем замена межблочного кабеля между конвертором и усилителем. Тщательный выбор конвертора также оказывает меньшее влияние на звучание, чем замена CD транспорта.

Джиттер обладает весьма неприятным свойством, т.н. "коммулятивностью", т.е. возникнув однажды по какой-либо причине в начале цифрового тракта, он с устрашающей быстротой усиливается при прохождении по различным звеньям этого тракта, будь то любая микросхема, конденсатор или просто соединительный проводник. Причин, вызывающих нарастание джиттера очень много. Каждый элемент цифрового тракта добавляет джиттеру свой характерный оттенок, увеличивающий суммарную величину джиттера. Как множество отдельных ручейков стекаются в одну большую реку, увеличивая её мощь, так и все элементы цифрового тракта подпитывают джиттер сигнала, позволяя ему набрать устрашающую силу после всевозможных цифровых преобразований. Остановить этот процесс полностью невозможно, можно только специальными методами в той или иной мере уменьшить его катастрофические последствия. Эти меры можно разделить на профилактические и хирургические. К первым можно отнести внимательное отношение к вопросам организации питания различных узлов схемы, топологии земель и сигнальных проводников и т.д. Ко вторым относится введение в схему устройств, специально предназначенных для уменьшения джиттера. Мы постараемся рассмотреть все возможные меры, доступные в нашем распоряжении.

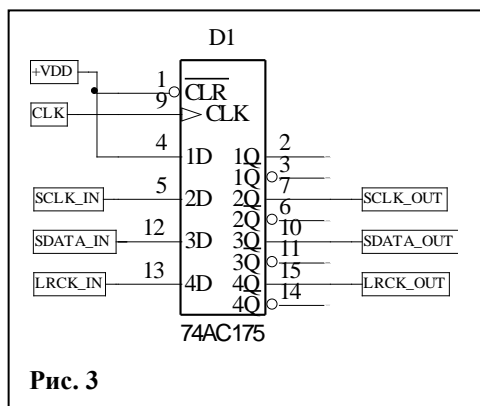
Рассмотрим внимательней механизм возникновения джиттера:



На вход какого-либо логического устройства поступил идеальный цифровой сигнал (1) с конечной длительностью фронта. Переключение этого логического устройства из одного логического состояния в другое должен произойти в момент времени, когда нарастающий фронт пришедшего цифрового сигнала достигнет строго определенного данным типом логики напряжения U . Для логики типа КМОП это половина питающего её напряжения, что соответствует примерно середине фронта цифрового сигнала. На подходах фронта к этому значению он начинает смешиваться с аналоговым шумом логического элемента (2) и момент смены логического состояния теперь уже не может быть строго определён. К

шуму (2) также подмешивается помеха, наведённая через паразитные емкостные связи соседними цифровыми сигналами на проводник, доставивший рассматриваемый сигнал (оценить влияние этих наводок достаточно легко, для этого все сигнальные проводники в схеме нашего DAC'a следует заменить тонкими коаксиальными кабелями, экранирующая оплетка которых заземлена на ближайший проводник GND, результат достаточно очевиден и нагляден). Сюда же подмешивается по цепям питания и земли помеха (3), возникшая в результате смены логического состояния других элементов, входящих в общую схему и, особенно, интегрированных в эту же микросхему. Чем более пологим будет фронт сигнала, тем больше помех, имеющих достаточную для сбоя момента срабатывания амплитуду, этот сигнал сможет захватить и тем шире будет промежуток времени, в течение которого возможно срабатывание логического элемента, имеющего на входе такой цифровой сигнал. Иными словами тем больше будет величина джиттера. Следовательно, профилактическими методами борьбы с джиттером можно считать обеспечение максимальной крутизны фронта цифровых сигналов, максимальное очищение земляных шин и цепей питания от всевозможных помех, а также уменьшение взаимодействия через электростатические поля между сигналами и компонентами путем оптимизации компоновки и эффективного экранирования. Для обеспечения первого условия мы выбираем для рассматриваемых ниже схем доступную быстродействующую серию 74АС с шунтирующими электролитическими конденсаторами достаточно большой ёмкости в непосредственной близости от выводов питания микросхем. Второе условие тесно связано с нашими рекомендациями по оптимальной топологии земель и питающих шин.

Перейдем теперь к рассмотрению достаточно эффективных хирургических методов борьбы с джиттером. В свете рассмотренных основных причин его возникновения и развития, наиболее предпочтительным местом нашего вмешательства следует рассматривать цифровые сигналы, поступающие непосредственно на ЦАП, перед которым добавляем ещё одну микросхему:



Элемент D1 включается в разрыв цепей между цифровым приемником и ЦАПом. Его выводы подключаются к сигналам, обозначение которых взято из нашей основной схемы DAC'a (см. "Практика" №1/2001 июнь). Цепи с обозначением IN подключаются к цифровому приемнику CS8412, с обозначением OUT – к микросхеме ЦАП. Сигнал CLK является тактовым сигналом от внешнего прецизионного генератора, к пристальному рассмотрению которого мы приступим чуть ниже. Он является "часами" для данного узла и формирует достаточно равномерную

ось времени для выходных цифровых сигналов. Не указанные на схеме вывод питания 16 подключается к цепи +VDD, а вывод 8 – к цепи GND. Данная схема позволяет с минимальными усилиями реализовать принцип РЕКЛОКИНГа (дословно с английского "замена времени"), основанный на том, что каждый цифровой сигнал попадает на вход отдельного триггера, входящего в состав микросхемы, и тактируемого внешним сигналом CLK. На выходе триггеров временная нестабильность сигналов будет определяться только нестабильностью тактового сигнала CLK, который вполне нам по силам сделать с достаточно приличными для этих целей характеристиками. Таким образом, на вход ЦАПа теперь будут поступать нормализованные по временной шкале сигналы. Теоретически, такой подход должен полностью исключить весь джиттер, которые цифровые сигналы "набирали" по пути своего следования до момента попадания на вход этой нашей чудесной схемы, и только величина джиттера внешнего тактового генератора теперь будет определяющей. Но, как говорится, на самом деле все совсем не так как в действительности. Четыре триггера, входящие в состав микросхемы 74AC175 имеют общие цепи питания, внутренняя топология которых не может быть изменена конечным пользователем. Изменение логического состояния одного элемента тут же приведет в действие механизм обмена помехами по цепям земли и питания между триггерами внутри микросхемы, который мы уже успели рассмотреть. Наш джиттер уже тут как тут, потирает свои грязные лапы и посмеивается над нашими попытками. Следует отметить, что он все-таки уже не так велик, как прежде, наша схема вполне работает и изо всех сил старается выполнять все возложенные нами на нее задачи. Просто ее надо рассматривать как первый пробный шаг в нашей беспощадной и, поэтому нелегкой, борьбе с джиттером.

Следующая схема (см. Рис.4) представляет уже достаточно мощное оружие против нашего заклятого врага и является усложненным вариантом только что рассмотренной схемы. Нам уже потребуется три отдельные микросхемы, каждая из которых теперь будет отвечать только за свой цифровой сигнал. Принцип работы остался прежним, но теперь нам открывается возможность исключить взаимное влияние логических элементов друг на друга. Для этого необходимо не указанные на схеме выводы 7 всех микросхем на Рис.4 соединить "звездой" в точке GND основной схемы (надеюсь, что читатели внимательно отнеслись к нашей рекомендации в первой части цикла по поводу соединения всех цепей GND именно "звездой", т.е. только в одной точке. Если самостоятельный критический осмотр Вашей конструкции выявит отклонения от этого принципа, настоятельно рекомендуем все цепи GND перепаять для соединения в одной точке). Также не указанные на схеме выводы 14 микросхем 74AC74 являются выводами питания этих микросхем, и для каждого из них придется организовать отдельный стабилизатор, аналогичный стабилизатору питания основной схемы DAC'a +VDD. Теперь каждая микросхема 74AC74 получит индивидуальный источник стабилизированного питания (на схеме они обозначены цепями +VDD1, +VDD2 и +VDD3). Такой подход позволит практически полностью исключить влияние логических элементов, входящих в состав схемы реклокинга, друг на друга и на основную схему DAC'a по цепям питания и земли. Следует отметить, что микросхемы 74AC74 имеют балансный выход (т.е. прямой и инверсный логические выходы), что в значительной степени ослабляет помехи по питанию при переходе триггеров из одного логического состояния в другое. Второй триггер, входящий в микросхему, просто не используется и его входы обязательно необходимо соединить соответственно приведенной схеме. Оставлять их неподключенными недопустимо.

Автор сознательно не приводит отечественные аналоги микросхем, используемых в рассмотренных схемах, так как при их формальной взаимозаменяемости результирующий характер звука несколько притупляет патриотические чувства...

Для беглого ознакомления с результатами применения реклокинга можно ограничиться сборкой узла на микросхеме D3, т.к. фронт сигнала LRCK является отправной точкой для внутреннего цикла

работы ЦАПа и очищение его от джиттера даёт наиболее заметный эффект. Максимальный же результат достигается только при добросовестном повторении предложенной схемы.

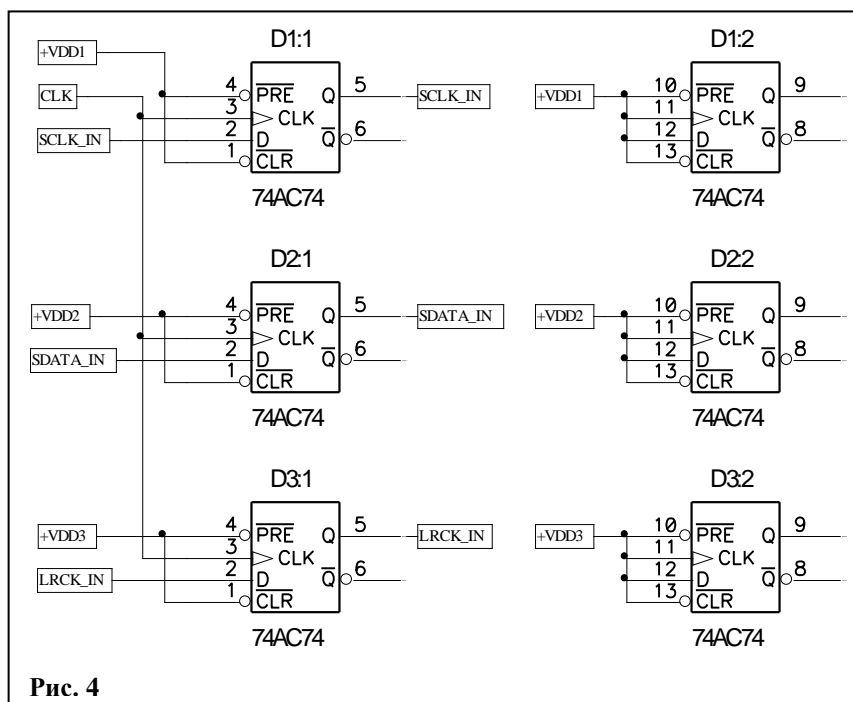


Рис. 4

Теперь настало время перейти к рассмотрению тактового генератора, формирующего сигнал CLK и управляющего работой схемы реклоинга. Строго говоря, существует два вида реклоинга: синхронный или асинхронный. Принцип работы первого вида заключается в том, что частота задающего генератора совпадает с фиксированными значениями частот, определяющих правильное распределение во времени цифровых сигналов, поступающих с CD транспорта. Частота этого генератора подстраивается под каждый конкретный CD транспорт с помощью схемы фазовой

автоподстройки частоты (ФАПЧ или по-английски PLL). Второй метод реклоинга заключается в применении генератора с фиксированным достаточно высоким значением рабочей частоты. Этот метод проще в реализации, позволяет создать генератор с предельно низким значением собственного джиттера, однако принцип реклоинга по этому методу подразумевает наличие систематической ошибки, не позволяющей полностью избавиться от джиттера. Наличие этой ошибки попробуем проиллюстрировать на следующей временной диаграмме:

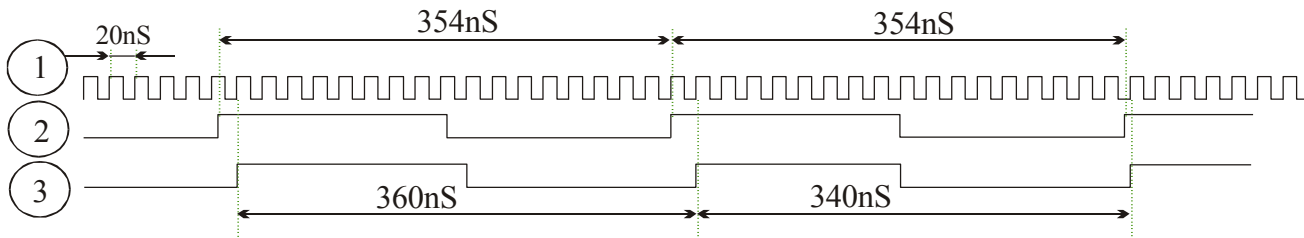


Рис. 5

где (1) - это сигнал непосредственно с генератора, для примера взятый с частотой 50 МГц; (2) – сигнал SCLK_IN; (3) – сигнал SCLK_OUT. Видно, что период следования импульсов цифрового сигнала SCLK_OUT не удастся полностью нормализовать по шкале времени, то же самое происходит и с другими цифровыми сигналами. Этот сбой появляется в сигнале не так уж часто и его последствия на звуке значительно менее заметны по сравнению с джиттером. Правильное применение асинхронного реклоинга, несмотря на наличие такой систематической ошибки, позволяет добиться превосходных результатов в деле борьбы с джиттером, и заметно поднять качество воспроизведения звука. Для наших целей мы используем именно этот вариант реклоинга.

Рассматриваемый нами принцип реклоинга не предъявляет особых требований ни к параметру частоты этого генератора, ни к величине его долговременной стабильности. Все что нас интересует на данном этапе – это параметр его кратковременной стабильности, иначе называемый фазовым шумом генератора. Проще говоря, это мгновенные отклонения частоты генератора от своего среднего значения. Эти отклонения вызываются многими факторами, в первую очередь аналоговыми шумами

активных элементов генератора, шумовыми характеристиками его частотно-зависимых цепей и, конечно же, чистотой питающего этот генератор напряжения. Каждому из этих факторов мы постараемся уделить достойное внимание.

При рассмотрении вопроса выбора частотно-задающих элементов безоговорочное лидерство с точки зрения стабильности всех параметров занимают схемы на основе кварцевых резонаторов. Не будем изобретать велосипед в этом вопросе и постараемся из огромного количества существующих схем подобрать наиболее оптимальную для наших специфичных целей.

В работе кварцевых резонаторов существует тенденция, в соответствии с которой стабильность параметров кварца повышается при повышении тока сигнала, проходящего через него. Принимая во внимание ограничение по допустимой мощности, рассеиваемой кварцем, величину напряжения этого сигнала приходится снижать. Развивая мысль дальше, отметим, что схема должна еще и обеспечить этот ток, что для большинства классических схем становится непосильной задачей. Глобальное решение всех этих вопросов можно найти, применив цифровые микросхемы на основе эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ). Не вдаваясь в глубокий анализ, приведем полностью работоспособный вариант схемы:

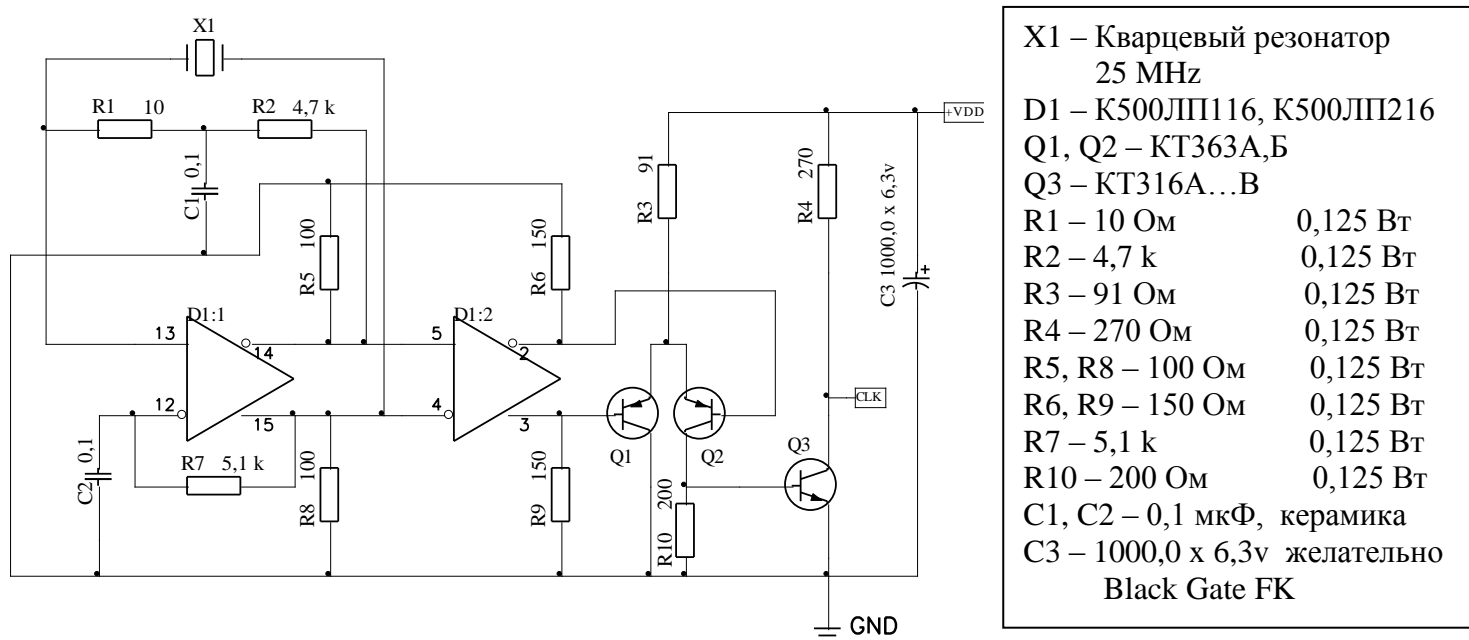


Рис. 6

Микросхема К500ЛП116 является дифференциальным приемником сигналов с линии и имеет низкий уровень аналогового шума. Элементы ЭСЛ работают с логическим сигналом величиной 0,9 V и обладают высокой нагрузочной способностью по току. Длительность фронта сигнала логики ЭСЛ имеет недостижимую для других логических серий малую величину. На основании этих факторов приведенную схему можно рассматривать как оптимальную для наших целей.

Неуказанные на схеме выводы 9,10,11 микросхемы D1 необходимо соединить между собой. Выводы 1,16 соединить с источником питания +VDD. Вывод 8 с общим проводом GND.

Все три логические элементы, входящие в состав микросхемы D1 (т.е. D1.1; D1.2 и неуказанный на схеме D1.3) являются абсолютно равноправными и взаимозаменяемыми. Данная схема взята из реальной конструкции и обозначенная на схеме цоколёвка обусловлена только трассировкой печатной платы. При сборке схемы в случае необходимости логические элементы микросхемы для оптимизации конструкции можно менять местами, подключая входы неиспользуемого логического элемента к выводу 11.

Все указанные на схеме резисторы и конденсаторы желательно использовать безвыводные, применяемые для поверхностного монтажа (SMD). В таком виде элементы имеют минимальные конструктивные паразитные емкости и индуктивности. Для удобства работы постарайтесь найти их в корпусе 1206, так как более мелкие корпуса (0805) требуют при работе с ними определенной сноровки и инструмента. При изготовлении конструкции в виде макета использование элементов SMD с наращенными выводами всё равно остается более предпочтительным, чем использование обычных габаритных элементов, большинство из которых обладает целым букетом паразитных параметров. Оптимальным вариантом можно считать использование пассивных элементов в корпусах типа 0612 или 0508, т.е. когда физическая длина элемента меньше его ширины. Паразитные параметры конструкции таких элементов сведены к минимуму, беда только в том, что такие комплектующие почему-то не являются широкодоступными, но знать об их существовании, по крайней мере, полезно.

В случае использования обычных выводных деталей, минимальная длина их выводов становится критичным фактором. Резисторы можно применить металлопленочные, типа МЛТ. Углеродистые (типа ВС, УЛИ) в данной схеме применять нежелательно, так как повышенный уровень аналогового шума, характерный для данных типов резисторов, может отрицательно сказаться на результатах, к которым мы так настойчиво стремимся. Для керамических конденсаторов С1,С2 диэлектрик с международным классификационным обозначением X7R более предпочтителен, чем Y5Z (заодно немного разберетесь в существующих типах; в следующих частях нашего цикла мы ещё будем затрагивать вопросы, связанные с выбором конденсаторов для цифровой части схемы, а вы уже будете к этому моменту иметь минимальный теоретический базис). В связи с широкой доступностью импортных керамических конденсаторов настоятельно не рекомендуем в данной части схемы применять отечественные аналоги.

Конденсатор С3 желательно применить высокого качества, что означает, в первую очередь, малые значения по параметру ESR. Хорошие результаты дает использование электролитов с неисправных материнских плат компьютеров. На других компьютерных комплектующих они могут стоять вперемежку с более дешевыми собратьями. В большинстве случаев ценные для нас конденсаторы визуально можно отличить по наличию стандартных маркировочных надписей, выполненных золотистым цветом, хотя это не может служить основополагающим правилом. Идеальными для наших целей можно считать конденсаторы Black Gate серии FK, обладающие, к тому же, рекордно малым уровнем собственных шумов, что для нас также является очень важным фактором. В этом случае достаточно ёмкости конденсатора в 100 мкФ, но большая емкость будет работать все-таки более эффективно. Для быстрой сборки на первое время вполне подойдет обычный электролит, параллельно которому необходимо будет включить керамический конденсатор 0,1 мкФ. Повторим, что использование танталовых конденсаторов в цепях питания нежелательно. Данные рекомендации справедливы и для всех электролитов, входящих в конструкцию нашего DAC'a

На элементе D1:1 (см. Рис.6) собран непосредственно кварцевый генератор, рабочая частота которого задается кварцем X1. Дифференциальный сигнал с выхода генератора поступает на промежуточный буфер, выполненный на входящем в эту же микросхему элементе D1:2. Буфер служит для минимизации влияния на генератор выходного каскада на транзисторах Q1...Q3. Выходной каскад, в свою очередь, выполняет функцию преобразователя дифференциального сигнала ЭСЛ в рабочий сигнал для КМОП. Дифференциальная схемотехника, используемая во всех каскадах нашего генератора, позволяет в значительной степени минимизировать влияние помех по шинам питания как со стороны схемы DAC'a на генератор, так и в обратном направлении.

Транзистор Q3 желательно подобрать со значением коэффициента передачи тока $h_{21э}$ не менее 80. При этом обеспечивается устойчивая работа выходного каскада в наиболее благоприятном режиме. В случае отсутствия возможности отборки транзистора может возникнуть необходимость в подборе

номинала резистора R4 по максимальной неискаженной амплитуде сигнала на выходе, контролируемой с помощью осциллографа с выносным делителем. Следует отметить, что на экране осциллографа сигнал будет иметь форму скорее синусоиды, чем прямоугольника, что связано с достаточно высоким значением рабочей частоты генератора, затрудняющей контроль реальной формы его сигнала большинством доступных измерительных приборов даже при использовании специальных выносных щупов.

Транзисторы Q1 и Q2 желательно подобрать с одинаковыми значениями $h_{21э}$. Даже при отсутствии этого условия каскад на Q1, Q2 работает устойчиво.

Частота нашего генератора никак не связана с частотами сигналов, для реклоинга которого он используется. Теоретически, чем выше его частота, определяемая кварцем X1, тем лучше. Данная схема работает только на первой гармонике задающего кварца, что ограничивает его рабочую частоту в пределах 30...40 MHz, в зависимости от того, какой кварц Вам удастся достать. Следует отметить, что минимальный уровень джиттера возможно достичь при максимально возможном токе, протекающем через кварц. Этот ток при фиксированном напряжении сигнала на выходе D1:1 будет определяться последовательно включенными в схеме внутренним динамическим сопротивлением кварца X1 и резистором R1, которые образуют делитель для сигнала обратной связи. Следовательно, выбор кварца с минимальным внутренним динамическим сопротивлением позволит добиться и минимального уровня джиттера. Однако осуществить такой выбор для кварца совсем не просто, так как доступные в широкой розничной продаже элементы не несут на себе никакой информации по этому поводу, а подавляющее большинство предлагающих их продавцов находятся в счастливом неведении относительно существования данного параметра. Единственным выходом из данной ситуации может быть покупка нескольких кварцев от разных производителей и последовательная их замена в реальной схеме с целью оценки их пригодности для наших целей. Следует отметить, что минимальным внутренним динамическим сопротивлением среди кварцев, работающих на первой гармонике, обладают элементы с рабочей частотой в районе 25 MHz, которая любезно отражена автором на схеме. Удачно подобранный по величине динамического сопротивления кварц устойчиво будет работать при указанной на схеме величине резистора R1. Если подобрать такой кварц Вам не удалось, или у Вас вообще нет желания возиться со всей этой процедурой, то схему можно запустить с любым кварцем путем увеличения номинала R1 до возникновения устойчивой генерации. Для тех же, кто стремится брать от жизни все по максимуму отметим, что минимизация джиттера путем такого подбора кварца оказывает на звук значительно более благотворное влияние, чем уменьшение ошибки реклоинга путем увеличения рабочей частоты генератора.

Хорошие результаты также дает применение для питания генератора отдельного стабилизатора, ещё лучшие – использование для него отдельного выпрямителя со своей вторичной обмоткой сетевого трансформатора, лучше даже отдельный сетевой трансформатор. Экстремальным решением можно считать питание генератора от аккумулятора. Эффект просто поразителен. Последовательно пройдя этот путь можно только дивиться: сколько же невидимых паразитных связей по цепям питания, подкармливающих джиттер, могут иметь подобные конструкции!

Что же мы получаем в результате? Положительных изменений в звуке просто не счесть. Звуковая сцена значительно расширилась как по фронту, так и по глубине. Значительно выросла разрешающая способность источника звука, добавилось больше "воздуха" и музыкальной информации, обеспечивающей эмоциональное воздействие на слушателя. На хорошо знакомых записях появилось множество дополнительных инструментов и особенностей исполнения, которые раньше были неразличимы. Исчезла "пластмассовая" окраска звучания, свойственная недорогим цифровым источникам. Тембр звучания приобрел богатство и насыщенность оттенков, что наиболее заметно в

области баса и нижней середины. Возникает непреодолимое желание достать и переслушать заново все свои старые CD...

Для того чтобы с чистой совестью считать наши исследования в этом вопросе законченными, можно вместо нашего генератора подключить что-нибудь из готовых интегральных генераторов, обычно достаточно широко представленных в прайсах торгующих радиодетальями организаций. Разница в звуке должна быть впечатляющей и на следующий день можно с гордым видом сообщить своим знакомым, что уж Вы то точно знаете, что такое джиттер и как он звучит.

Когда первые эмоции немного поулягутся, можно немного поэкспериментировать и спокойно поразмышлять. Наша конструкция теперь звучит на две головы лучше, чем раньше, что, бесспорно, свидетельствует о наших явных победах над джиттером. Однако смена CD транспорта или цифрового кабеля всё равно достаточно сильно влияет на звук, что говорит о далеко не полной и окончательной победе и наличии некоторой остаточной величины джиттера. Полностью уничтожить его никакими средствами не удастся, и косвенно оценить его присутствие всегда можно опять-таки путём смены CD транспорта или цифрового кабеля в составе хорошего звукового тракта. Делаем осторожный вывод: если в формате CD никакими средствами не удастся снизить величину джиттера ниже порога заметности, то что же можно говорить о новых звуковых форматах, где допустимая величина джиттера на много-много порядков должна быть ниже, чем у формата CD, и составлять просто фантастически малую величину?! Весь оптимизм маркетологов новых форматов можно считать нездоровым, а все их заявления о реальных преимуществах, мягко говоря, лукавыми. Поступило своевременное предложение: давайте получше разберемся с форматом CD, хотя бы на страницах нашего журнала, а там жизнь покажет...

Те любознательные читатели, которые аккуратно выполняют все наши рекомендации и последовательно соберут и проанализируют обе схемы реклоинга, имеют возможность самостоятельно убедиться в справедливости нижеизложенных достаточно любопытных выводов. Использование схемы на 74AC74, даже при использовании одного на всю конструкцию стабилизатора питания, обеспечивает уверенный выигрыш в звучании по сравнению со схемой на 74AC175. При наличии достаточного энтузиазма и хорошем знании английского, можно разобраться в технической документации на CS8412 (которая, кстати, представляет собой смесь кроссворда и компьютерной игры-бродилки) и заставить работать его выходные регистры от нашего генератора (кварц придется подыскать с некоторыми фиксированными значениями частот). Это можно рассматривать ещё одним вариантом реклоинга. Забегая вперёд, отметим, что этот шедевр по звуку будет на последнем месте. Не претендуя на истину в последней инстанции, осторожно отметим, что увеличение степени интеграции применяемых для цифровой обработки звука микросхем, пагубно сказывается на конечном результате, т.е. на звуке. Не здесь ли кроется разгадка заметного проигрыша цифровых устройств на современных ЧИПах удачным образцам совсем недалекого прошлого? В самом деле, предшественники современных BB1704, CS4390 и др. были значительно проще по своей внутренней архитектуре, а существующие тогда технологии награждали их корпусами DIP внушительных размеров, в которых все электронные внутренности чувствовали себя вольготно и не мешали друг другу работать своими электрическими полями. Современные микросхемы наряду с усложнением внутренней схемотехники (значительное увеличение взаимных помех между узлами по внутренним шинам питания микросхем) ещё и предельно миниатюризированы (стремительный рост проблем, связанных с увеличением внутренних паразитных емкостных связей между сигналами). Эта тенденция в значительной мере усиливается при проталкивании под солнце новых цифровых звуковых форматов. В результате, как всегда, складывается стандартная ситуация: реализация нового формата предъявляет повышенные требования к точности работы с цифровым сигналом, а его физическое воплощение не в состоянии оставить достигнутые параметры даже на прежнем уровне. Чудес на свете не бывает, бывают только

математические ошибки, амбициозными продолжениями которых можно считать все рекламируемые новые цифровые форматы.

Пределом качества цифрового звука можно считать старый добрый формат CD, полная реализация потенциала которого технически не представляется возможной, но максимальное приближение к которому можно достичь в домашних условиях, чему и посвящен наш цикл статей. Если всё это действительно так, то вскоре среди крупных производителей можно ожидать возврат к выпуску CD проигрывателей и, возможно, на новом, более качественном уровне.

Так то оно так, да кабы чего не вышло...

Почтальон Печкин.

Вышеизложенные утверждения следует рассматривать только как личное мнение автора данной статьи, который ни в коем случае не претендует на бесспорность своих взглядов и убеждений, а старается лишь по мере возможностей аргументировано поделиться ими с читателями. Продолжение нашего цикла будет посвящено дальнейшему развитию темы самостоятельного улучшения качества воспроизведения Ваших любимых CD, а также дальнейшему расширению кругозора в этих вопросах. Оставайтесь с нами!!!